

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК  
ФГОУ ВПО «КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФГБНУ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РИСА»

**А. Х. ШЕУДЖЕН, Т. Н. БОНДАРЕВА**

# **АГРОХИМИЯ**

**Часть 2.**

**МЕТОДИКА АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Допущено Министерством сельского хозяйства Российской Федерации  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение»

Краснодар – 2015

УДК 631.8(075.8)  
ББК 40.4я73  
Ш 52

**Рецензенты:**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
заслуженный деятель науки Российской Федерации  
академик РАН  
**В.Г. Минеев**  
г. Москва, МГУ

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
академик РАН  
**В.Г. Сычев**  
г. Москва, ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова

**Ш 52 Шеуджен, А.Х.** Агрохимия. Ч. 2. Методика агрохимических исследований: учеб. пособие / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Краснодар: КубГАУ, 2015. –703 с.

В учебном издании излагаются теория и практика лабораторного, вегетационного и полевого опыта, метода меченых атомов в исследованиях питания растений и применения удобрений. Рассматриваются основы планирования и методы статистической оценки результатов исследований – дисперсионный, корреляционный, регрессионный, ковариационный, кластерный и пробит анализы. Изложены теоретические положения математической статистики: даны понятия о выборочном методе, распределениях – нормальном, Стьюдента, Фишера, Пуассона, Пирсона, – являющихся исходными для выбора критериев, параметров распределения и их статистических оценках, доверительном интервале, проверки гипотез, об ошибках. Теоретический материал рассматривается и иллюстрируется на конкретном материале.

Написано в соответствии с образовательным стандартом высшего образования подготовки бакалавров – 35.03.03 и магистров – 35.04.03 по направлению «Агрохимия и агропочвоведение», а также может быть полезной для аспирантов и научных сотрудников в области агрономических специальностей, а также преподавателей высших учебных заведений.

**ISBN 978-5-7882-0245-7**

© Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., 2015

**ПОСВЯЩАЕТСЯ**  
*светлой памяти нашего учителя и  
наставника Героя Социалистического  
Труда, Героя труда Кубани, академика  
Трубилина Ивана Тимофеевича*

**ВВЕДЕНИЕ**

*Наука –  
Обмен неведенья, где лишь одно  
Незнание сменяется другим.*

**Байрон**

*От праха черного и до небесных тел,  
Я тайны разгадал мудрейших слов и дел.  
Коварства я избег, распутал все узлы,  
Лишь узел смерти я распутать не сумел.*

**Авиценна**

*Лишь переходя от фактов к фактам,  
можно прийти к великим открытиям.  
Надо подвигаться вперед, следуя за опы-  
том и никогда не предваряя его.*

**Гельвецкий**

В выполнении задач, стоящих перед агропромышленным комплексом Российской Федерации, особое место отводится внедрению в производство достижений агрохимической науки.

Применение минеральных удобрений – одно из важнейших направлений интенсивного развития земледелия во всем мире. Их народнохозяйственное значение исключительно велико. Они являются материальной основой плодородия почв, богатства и могущества государств. В странах с высокоразвитым сельским хозяйством не менее половины прироста растениеводческой продукции получают именно за счет внесения минеральных удобрений. Применение удобрений, по образному выражению Д.Н. Прянишникова, равнозначно открытию новых сельскохозяйственных континентов. Каждая их тонна при грамотном использовании, повышая урожай сельскохозяйственных культур, дает прибавку продукции, позволяющую удовлетворять годовую потребность, например, в хлебе – 40, молоке – 10, сахаре – 45, овощах – 70, растительном масле – 80 человек. Минеральные удобрения являются, и в обозримом будущем будут оставаться одним из главных рычагов повышения продуктивности растениеводства. В настоящее время их применению нет разумной альтернативы.

Применение удобрений, химических мелиорантов, регуляторов роста и других агрохимических средств требует от агрохимика-эколога не только соответствующей теоретической подготовки, но и знания современных методов агрохимических исследований. С учетом этого профессиональная подготовка бакалавров и магистров агрохимии и агропочвоведения предусматривает: умение разрабатывать и осуществлять планы по интегрированному применению агрохимических средств, проводить лабораторные, вегетационные и полевые эксперименты по изучению эффективности применяемых

удобрений, химических мелиорантов и регуляторов роста. Это предварительная и весьма трудная часть любого эксперимента, она требует от исследователя большой эрудиции и творческого воображения. Необходимо мысленно представить весь ход эксперимента и сопутствующих наблюдений.

Экспериментатор должен обладать рядом качеств: уметь преодолеть консерватизм и догматизм авторитетов, подходить ко всему с вопросом, развивать любознательность. Это необходимо для творческой деятельности, самостоятельного мышления, критического отношения к имеющимся данным. Главным в его работе является поиск новых факторов и путей воздействия на изучаемые процессы. Он должен уметь обосновать выбор метода исследования, анализировать явления и процессы, обобщать полученные результаты и объективно их оценивать, устанавливать достоверность экспериментальных данных; делать научно-обоснованные выводы, логически вытекающие из результатов исследований, и указывать область применения, составляя рекомендации для сельскохозяйственного производства.

«Человек, – писал основоположник агрохимической науки Юстус Либих, – дитя своего времени, и только тогда он может освободиться от общепринятых господствующих взглядов, когда под мощным давлением обстоятельств бывает вынужден напрячь все силы и сбросить с себя оковы заблуждений». Видный государственный деятель нашей страны И.В. Сталин еще конкретнее высказался по данному вопросу: «Наука поэтому и называется наукой, что она не признает фетишей, не боится поднять руку на отживающее, старое и чутко прислушивается к голосу опыта, практики. Если бы дело обстояло иначе, у нас не было бы вообще науки, не было бы, скажем, астрономии и мы все еще пробавлялись бы обветшалой системой Птолемея, у нас не было бы биологии и мы все еще утешались бы легендой о сотворении человека, у нас не было бы химии и мы все еще пробавлялись бы прорицаниями алхимиков». Как остроумно подметил Леонардо да Винчи, «знания, не рожденные опытом, матерью всякой достоверности, бесплодны и полны ошибок». «В любой науке, в любом искусстве лучший учитель – опыт», – писал испанский писатель Мигель де Сервантес.

В учебном издании излагаются теория и практика лабораторного, вегетационного и полевого опыта, метода меченых атомов в исследованиях питания растений и применения удобрений. Рассматриваются основы планирования и методы статистической оценки результатов исследований – дисперсионный, корреляционный, регрессионный, ковариационный, кластерный и пробит анализы. Изложены теоретические положения математической статистики: даны понятия о выборочном методе, распределениях – нормальном, Стьюдента, Фишера, Пуассона, Пирсона, – являющихся исходными для выбора критериев, параметров распределения и их статистических оценках, доверительном интервале, проверки гипотез, об ошибках. Теоретический материал рассматривается и иллюстрируется на конкретном материале.

Данная книга написана в соответствии с образовательным стандартом высшего профессионального образования подготовки бакалавров и магистров по направлению «Агрохимия и агропочвоведение», а также может быть полезной для всех исследователей в области агрохимии, научных работников и преподавателей сельскохозяйственных высших учебных заведений.

Заранее хотим предупредить тех, кто относится к данному учебному пособию как к поваренной книге, что она, прежде всего, рассчитана не на случайные справки, а на систематическое ознакомление с предметом. Тем, кто хочет обратить повышенное внимание лишь на недостатки книги, нелишне будет напомнить слова нашего знаменитого соотечественника Д.И. Менделеева: «Критическая способность у многих из нас развилась таким образом, что часто налегает на одни недостатки, вовсе умалчивая о достоинствах. Она показывает, что русскому критику все хорошее кажется естественным, как естественно, например, иметь волосы на голове. Оттого об этом и не упоминается».

К написанию отдельных подразделов книги были привлечены специалисты, обладающие большим опытом проведения соответствующих исследований. Так, «Кластерный анализ» написан д.б.н. Щегловым С.Н., «Агрохимическое обследование почв и составление картограмм» – совместно с к.т.н. Тенековым А.А., «Метод меченых атомов» – совместно с к.с.-х.н. Суетовым В.П., за что им всем глубоко признательны. Авторы благодарят к.с.-х.н. Онищенко Л.М. и д-ра Axel Behrendt (Паулинену, Германия) за предоставленные фотографии, а также рецензентов издания академиков РАН Минеева В.Г. и Сычева В.Г. за полезные замечания и советы по работе. Считаю приятным долгом выразить благодарность своим учителям – доцентам кафедры земледелия Кубанского сельскохозяйственного института Захару Сергеевичу Кувике и Лидии Ивановне Глуховской, познакомившим нас с методикой опытного дела и статистической оценкой результатов исследований. Прошло много лет с тех пор. Их уже давно нет среди нас, но добрая память о них жива. Им удалось вызвать интерес у нас студентов трехкурсников агрофака к дисциплине «Методика опытного дела», за что с теплотой и признательностью мы их вспоминаем.

# 1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, ВИДЫ И УРОВНИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Наука потому и называется наукой, что она не признает фетишей, не боится поднять руку на отживающее, старое и чутко прислушивается к голосу опыта, практики.*

**И.В. Сталин**

## 1.1. Методологические основы научного познания

*Знание – орудие, а не цель.*

**А.Н. Толстой**

*В знанье – величие и краса,  
Знанье дороже, чем клад жемчужин:  
Время любой уничтожит клад,  
Мудрый и знающий вечно нужен.*

**Ас-Самарканди**

Движение мысли от незнания к знанию руководствуется методологией. *Методология* – учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности, т. е. учение о наиболее общих принципах и методах познания. Основной функцией методологического познания является внутренняя организация и регулирование процесса познания или практического преобразования объекта.

*Знание* – идеальное выражение в языковой форме обобщенных представлений о закономерных связях объективного мира. Функциями знания являются обобщение разрозненных представлений о закономерностях природы общества и мышления; хранение в обобщенных представлениях всего того, что может быть передано в качестве устойчивой основы практических действий.

Знание является продуктом общественной деятельности людей, направленной на преобразование действительности. Процесс движения человеческой мысли от незнания к знанию называют *познанием*, в основе которого лежит отражение объективной действительности в сознании человека в процессе его общественной, производственной и научной деятельности, именуемой практикой. Потребности практики выступают основной и движущей силой развития познания, его целью. Познание вырастает из практики, но затем само направляется на практическое овладение действительностью. От практики к теории и от теории к практике, от действия к мысли и от мысли к действию – такова общая закономерность отношений человека в окружающей действительности. Практика является началом, исходным пунктом и одновременно естественным завершением процесса познания, которая включает в себя два уровня: чувственный и рациональный. Чувственное познание формирует эмпирическое (основанное на опыте) знание, а рациональное – теоретическое.

*Чувственное познание* обеспечивает непосредственную связь человека с окружающей действительностью. Элементами чувственного познания являются ощущение, восприятие, представление и воображение. *Ощущение* – это отражения мозгом человека свойств предметов или явлений объективного мира, которые действуют на его органы чувств. *Восприятие*

– отражения мозгом человека предметов или явлений в целом, причем таких, которые действуют на органы чувств в данный момент времени. Восприятие – это первичный чувственный образ предмета или явления. *Представление* – вторичный образ предмета или явления, которые в данный момент времени не действуют на органы чувств человека, но обязательно действовали в прошлом. *Воображение* – это соединение и преобразование различных представлений в целую картину новых образов.

*Рациональное познание* дополняет и опережает чувственное, способствует осознанию сущности процессов, вскрывает закономерность развития. Формой рационального познания является абстрактное мышление. *Мышление* – процесс отражения объективной действительности, составляющего высшую ступень человеческого познания. Основным инструментом мышления – логические распределения человека, структурными элементами которых являются понятия, суждения, умозаключения. *Понятие* – мысль, фиксирующая существенные свойства, связи и отношения предметов и явлений. Понятия могут быть общими, единичными, собирательными, абстрактными и конкретными, абсолютными и относительными. Понятия фиксируются в тех или иных языковых формах и составляют смысл соответствующих выражений языка. *Суждение* – мысль, выраженная в форме предложения, в котором нечто утверждается об объектах, и являющаяся объективно либо истинной, либо ложной. К суждению о предмете или явлении человек может прийти или путем непосредственного наблюдения какого-либо факта, или опосредованным путем с помощью умозаключения. *Умозаключение* – процесс мышления, составляющий последовательность двух или нескольких суждений, в результате которых выводится новое суждение. Умозаключения делятся на две категории: дедуктивные и индуктивные. *Дедуктивные умозаключения* представляют собой выведение частного случая из какого-нибудь общего положения. В *индуктивных умозаключениях* на основании частных случаев приходят к общему положению.

В процессе научного исследования различают следующие этапы: 1) возникновение идеи; 2) анализ существующей информации по исследуемому вопросу; 3) формирование понятий, суждений; 4) выдвижение гипотез и их теоретический анализ; 5) планирование, организация и проведение опыта; 6) анализ и обобщение научных фактов; 7) доказательство правильности исходных гипотез; 8) формирование новых закономерностей и законов; 9) формирование предложений производству (для прикладных исследований).

*Научная идея* – интуитивное объяснение явления без промежуточной аргументации, без осознания всей совокупности связей, на основании которой делается вывод. Она базируется на уже имеющемся знании, но вскрывает ранее не замеченные закономерности. Свою специфическую материализацию идея находит в гипотезе.

*Гипотеза* – научное предположение, выдвигаемое для объяснения какого либо явления и требующее проверки на опыте и теоретического обоснования для того, чтобы стать достоверной научной теорией. Вообще, гипотеза – предположение, требующее экспериментального подтверждения. Строго говоря, любое научное исследование начинается с выдвижения рабочей гипотезы. Гипотеза выдвигается на основе уже известных знаний. Например, у растений риса поражаются точки роста, более моло-

дые верхние листья становятся бледно-зелеными, окраска жилок листа приобретает светлый оттенок. На основании имеющихся знаний выдвигается гипотеза, что растения испытывают недостаток серы. Это рабочая гипотеза, для проверки которой планируется эксперимент.

Основные правила выдвижения и проверки гипотез следующие: 1) гипотеза должна находиться в согласии или, по меньшей мере, быть совместимой со всеми фактами, которых она касается; 2) из множества противостоящих друг другу гипотез, выдвинутых для объяснения серии фактов, предпочтительнее та, которая единообразно объясняет большее их число; 3) для объяснения связи серии фактов нужно выдвигать возможно меньше различных гипотез, и их связь должна быть более тесной; 4) при выдвижении гипотезы необходимо осознавать вероятностный характер ее выводов; 5) гипотезы, противоречащие друг другу, не могут быть вместе истинными, за исключением того случая, когда они объясняют различные стороны и связи одного того же объекта.

*Теория* – учение, система научных принципов, идей в той или в иной отрасли знания; форма научного знания, дающая целостное представление о закономерностях и существенных связях действительности. Принцип – это правило, возникающее в результате субъективно осмысленного опыта людей. Под принципом в научной теории понимается самое абстрактное определение идеи (начальная форма систематизации знаний). Исходные положения научной теории называются аксиомами или постулатами.

*Аксиома* – исходное положение, принимаемое без логического доказательства в силу безусловной убедительности; истинное исходное положение теории. *Постулат* – 1) утверждение (суждение), принимаемое в рамках какой либо научной теории за истинное, хотя и не доказуемое ее средствами, и поэтому играющее в ней роль аксиомы; 2) общее наименование для аксиом и правил вывода какого-либо исчисления.

Сердцевину научной теории составляют законы. *Закон* – внутренняя существенная и устойчивая связь явлений, обуславливающая их упорядоченное изменение. На основе знания закона возможно достоверное предвидение течения процесса. Понятие закон близко к понятию *закономерности*, которая представляет собой совокупность взаимосвязанных по содержанию законов, обеспечивающих устойчивую тенденцию или направленность в изменениях системы. Вместе с тем закон выражает одну из сторон сущности, познание которой в теории совпадает с переходом от эмпирических фактов к формулировке законов изучаемых процессов. В структуре теории принято выделять следующие основные компоненты: 1) исходную эмпирическую основу, которая включает множество зафиксированных в данной области знания фактов, достигнутых в ходе экспериментов и требующих теоретического объяснения; 2) исходную теоретическую основу – множество первичных допущений, постулатов, аксиом, общих законов теории, в совокупности описывающих идеализированный объект теории; 3) логику теории – множество допустимых в рамках теории правил логического вывода и доказательства; 4) совокупность выведенных в теорию утверждений с их доказательствами, составляющую основной массив теоретического знания. Примером теории, как метода исследований в агрохимии, являются теория минерального питания растений.

*Методология* – понятие философское, получающее конкретное содержание в разных науках. Например, в геологии – это принцип актуализма, установленный Чарлзом Лайелем (1797–1875), в биологии – принцип эволюционизма Чарлза Дарвина (1809–1882), в почвоведении – генетический принцип Василия Васильевича Докучаева (1846–1903), в агрохимии – принцип диалектической взаимосвязи системы «почва – удобрение – растение», обоснованный Дмитрием Николаевичем Прянишниковым (1865–1948). Методология науки дает характеристику компонентов научного исследования – его объекта, предмета анализа, задачи исследования, совокупности исследовательских средств, необходимых для решения задачи данного типа, а также формирует представление о последовательности движения исследователя в процессе решения задачи. Наиболее важными точками приложения методологии являются постановка проблемы, выбор предмета исследования и построение научной теории, а также проверка полученного результата с точки зрения его истинности, т. е. соответствия объекту изучения.

## 1.2. Выбор направления научных исследований

*О вы, счастливые науки!  
Прилежно простирайте руки  
И взор до самых дальних мест.  
Пройдите землю и пучину  
И землю и глубокий лес.  
И нутр Рифейский, и вершину,  
И саму высоту небес.  
Везде исследуйте всечасно,  
Чего еще не видел свет.*

**М.В. Ломоносов**

*О, сколько нам открытий чудных  
Готовят просвещенья дух  
И опыт, сын ошибок трудных.  
И гений парадоксов друг,  
И случай, бог изобретатель.*

**А.С. Пушкин**

*Научные исследования* – это процесс изучения конкретного объекта, явления или предмета с целью раскрытия закономерностей их возникновения и развития, а также преобразования в интересах общества.

*Объектом* научного исследования является материальная или идеальная система. *Предмет* – это структура системы, закономерности взаимодействия элементов внутри системы и вне ее, закономерности развития, различные свойства, качества, исследуемые с определенной целью в данных условиях и обстоятельствах. Основу научных исследований составляют объективность, репрезентативность, возможность воспроизведения результатов, их доказательность и точность.

Научные исследования классифицируются: 1) по видам связи с общественным производством и степени важности для народного хозяйства; 2) целевому назначению; 3) источникам финансирования; 4) продолжительности ведения исследования.

*По видам связи с общественным производством* научные исследования подразделяются на работы, направленные на создание новых технологических процессов, машин, конструкций, повышение эффективно-

сти производства, улучшение условий труда, развитие личности человека. По целевому назначению выделяют три вида научных исследований: фундаментальные, прикладные и разработки. В процессе *фундаментальных* исследований изучаются новые явления и открываются законы природы, расширяются знания об окружающем мире. Фундаментальные исследования являются основой всех научных работ. Их целью является расширение научного знания общества, установление того, что может быть использовано в практической деятельности человека. Такие исследования ведутся на границе известного и не известного, обладают наибольшей степенью неопределенности. *Прикладные* исследования направлены на изучение частных проблем. Такое деление весьма условно, т. к. на определенных этапах фундаментальные исследования могут переходить в прикладные и наоборот. Конечной целью всех прикладных исследований является внедрение их результатов в практику. Применительно к агрохимии фундаментальными исследованиями можно считать изучение фотосинтетической деятельности растений, а прикладными – установление оптимальных норм, форм, способов и сроков внесения удобрений, обеспечивающих максимальную продуктивность фотосинтеза.

Прикладные исследования подразделяются на поисковые, научно-исследовательские и опытно-конструкторские.

*Поисковые* исследования направлены на установление факторов, влияющих на объект, отыскание путей создания новых технологий и техники на основе способов, предложенных в результате фундаментальных исследований. В результате *научно-исследовательских работ* создаются новые технологии, опытные установки, приборы. Целью *опытно-конструкторских работ* является подбор конструктивных характеристик, определяющих логическую основу конструкции. В фундаментальных и прикладных исследованиях формируется новая научная и научно-техническая информация. Целенаправленный процесс преобразования такой информации в форму, пригодную для освоения в промышленном или агропромышленном комплексе, обычно называется *разработкой*. Она направлена на создание новой техники, материалов, технологии или совершенствование существующих. Конечной целью разработки является подготовка материалов прикладных исследований к внедрению.

По значимости для народного хозяйства научные исследования подразделяются на работы, выполняемые по: 1) по специальным постановлениям Правительства Российской Федерации; 2) заданиям отраслевых министерств и ведомств; 3) инициативе и планам научно-исследовательских организаций.

В зависимости от источника финансирования научные исследования делятся на: 1) государственные; 2) хоздоговорные; 3) не финансируемые.

Каждую научно-исследовательскую работу можно отнести к определенному направлению. Под *научным направлением* понимается наука или комплекс наук, в области которых ведутся исследования. В связи с этим различают: технические, биологические, сельскохозяйственные, социальные, физико-технические, исторические и прочие направления с возможной последующей детализацией.

### 1.3. Уровни научных исследований

*Мы не довольствуемся страдательной ролью наблюдателя, а вступаем в борьбу с ней, причем экспериментальное искусство предлагает к нашим услугам целый строй снарядов и приемов. Растение немо, оно не отвечает нам, так мы заставляем его писать; оно не может говорить – так мы его заставляем звонить, но так или иначе добиваемся ответа на предложенный ему вопрос.*

**К.А. Тимирязев**

*Ценность любой рабочей теории основана на той совокупности экспериментальных фактов, которые она может объяснить, и на ее способности предложить новые направления исследований.*

**Эрнест Резерфорд**

Принято выделять три взаимосвязанных и взаимообусловленных уровня исследований: *описательный, экспериментальный (эмпирический) и теоретический.*

*Описательный уровень* характерен для периода первоначального накопления знаний об изучаемом объекте. При этом фиксируются (описываются) наблюдения за изучаемым объектом и сопутствующими явлениями вне постановки эксперимента, т. е. без воздействия на объект. На основании таких исследований можно получить сведения о росте и развитии растений в период засухи или избыточного увлажнения, низкой или высокой температуры в отдельные периоды вегетации, выращивания в различных почвенно-климатических условиях.

Для *экспериментального уровня* исследований характерна постановка опытов, на основании которых накапливаются данные. Эти данные анализируются, обобщаются и на их основе делаются практические выводы, а также планируются новые эксперименты, которые позволяют уточнить отдельные выводы и получить новые сведения. Например, было установлено увеличение продуктивности растений при внесении в почву гипса. При этом причина этого положительного воздействия оказалась за рамками эксперимента. Для ее выяснения необходимо провести целый ряд экспериментов как с почвой, так и растениями. В частности, требуется установить, на каких типах почв и у каких культур наблюдается рост продуктивности, в каких количествах необходимо вносить гипс, какие процессы происходят при этом в почве и растениях и так далее. По мере накопления сведений, они обобщаются, анализируются и на их основе строится теория.

Термин «*теория*» в зависимости от уровня обобщения трактуется как: 1) обобщение опыта, общественной практики, отражающее объективные закономерности развития природы и общества; 2) совокупность обобщенных положений, образующих какую-либо науку или раздел ее, а также правил в области какого-либо мастерства, искусства; 3) совокупность научных положений, учение о каких-либо явлениях, фактах; 4) система взглядов по какому либо вопросу.

На теоретическом уровне исследований синтезируются знания, формируются общие закономерности в определенной области знаний. Основой для этой деятельности являются результаты экспериментов. Однако, теория это не механическая сумма данных множества экспериментов, а качественно новая ступень познания, объясняющая взаимосвязь и взаимообусловленность отдельных процессов. Например, теория минерального питания объясняет причинно-следственные связи процессов трансформации элементов питания в почве, их поступление, превращение и передвижение в растениях, а также участие в синтетических процессах. На уровне формирования теории выдвигаются гипотезы о процессах, экспериментальные данные по которым отсутствуют. Для подтверждения теоретических положений необходимо провести эксперимент. Следовательно, экспериментальный и теоретический уровень познания объектов, процессов и явлений тесно взаимосвязаны. Теория используется для более глубокого понимания результатов эксперимента, а эксперимент в свою очередь служит исходным материалом для создания теории.

#### 1.4. Методы научных исследований

*Один опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений, рожденных только воображением.*

**М.В. Ломоносов**

*Метод важнее открытия, ибо правильный метод исследования приводит к новым, еще более ценным открытиям.*

**Л.Д. Ландау**

*Метод исследования* – это способ познания явлений природы. Различают следующие методы исследований: *всеобщий, общенаучные и специальные (конкретно-научные)*, т. е. *частные*.

*Всеобщий метод* научного исследования применяется на всех трех уровнях исследований: описательно-обобщающем, экспериментальном и теоретическом. Он требует изучения явлений, объектов, предметов и результатов исследований в их связи, взаимодействии и взаимообусловленности, в движении и изменении во времени и пространстве. *Общенаучные методы исследований* – методы, используемые независимо от области исследований. Такими методами являются: выдвижение рабочих гипотез, постановка эксперимента, наблюдение, измерение, счет, обобщение, анализ, синтез, индукция, дедукция, абстрагирование, конкретизация, аналогия, ранжирование, моделирование, формализация, создание теории. *Конкретно-научные (частные) методы исследования* – специальные методы исследования. Например, в агрохимии к ним относятся биологические и математические методы. К *биологическим методам исследований* относятся лабораторный, вегетационный, лизиметрический, вегетационно-полевой, полевой, экспедиционный. *Математические методы* используются для объективного планирования опытов, подготовки экспериментальных данных к статистической оценке, определения достоверности опыта и его точности, а также для выявления зависимости между учитываемыми в эксперименте показателями.

*Наблюдение* – это количественная или качественная регистрация интересующих исследователя сторон развития явления, констатация наличия того или иного его состояния, признака или свойства. Примеры наблюдений: регистрация даты наступления фенофаз, фиксирование повреждений болезнями и вредителями, наблюдения за динамикой пищевого и водного режимов почвы, ростом растений, засоренностью посевов. При наблюдениях учитывается как наступление события, например появление всходов, так и его количественная оценка – учет числа растений на единице посевной площади.

Для наблюдения и регистрации тех или иных свойств или состояний явлений применяют разнообразные средства измерений. Все учеты и наблюдения необходимо проводить по специальным методикам в соответствии с государственными стандартами. Для наблюдений необходимо использовать весы, термометры, колориметры и другие приборы, которые раз в году проверяются в Центрах стандартизации и метрологии. По результатам проверки на приборах ставится клеймо, либо выдается свидетельство о проверке.

Наблюдение дает экспериментатору количественную или качественную характеристику явлений, но не вскрывает его сущности. В ряде случаев этого вполне достаточно для установления связи между отдельными явлениями, признаками или свойствами и позволяет предвидеть эти явления, а следовательно, оказывать на них определенное влияние. Кроме того, сопутствующие наблюдения в опыте позволяют сделать более обоснованные выводы.

Наблюдение может использоваться и как самостоятельный метод исследования. Наиболее широко им пользуются на метеорологических станциях, где ведутся систематические наблюдения за явлениями природы: температурой воздуха и почвы, количеством осадков и высотой снежного покрова, скоростью ветра.

*Сравнение* – сопоставление объектов с целью выявления черт сходства или черт различия между ними или того или другого вместе. Является важной предпосылкой обобщения; играет большую роль в умозаключениях по аналогии. Суждения, выражающие результат сравнения, служат цели раскрытия содержания понятий о сравниваемых объектах; в этом отношении сравнение используется в качестве приема дополняющего, а иногда и заменяющего определение.

*Счет* – это нахождение числа, определяющего количественное соотношение однотипных объектов или их параметров, характеризующих те или иные свойства.

*Измерение* – это физический процесс определения численного значения некоторой величины путем сравнения ее с эталоном.

*Обобщение* – определение общего понятия, в котором находит отражение главное, основное, характеризующее объекты данного класса. Это средство для образования новых научных понятий, формирования законов и теорий.

*Эксперимент* – научно поставленный опыт, наблюдение исследуемого явления в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за ходом явления и многократно воспроизводить его результаты при повторении этих условий. Под экспериментом понимают целенаправленное воздействие исследователя на изучаемый объект в соответствии с целями опыта. При этом

изучаемый объект ставится в различные, заранее запланированные условия. В одном опыте можно изучать одно или несколько явлений, расчлняя их в процессе проведения опыта и анализа результатов. Эксперимент является основным методом агрохимических исследований. В процессе проведения эксперимента исследователь обязательно проводит наблюдения.

По сравнению с наблюдением эксперимент имеет большее преимущество. Главным его преимуществом, благодаря которому он стал господствующим методом исследования во всех естественных науках, является возможность воссоздавать явление, не дожидаясь, когда оно наступит в природе, воздействовать на него в нужном исследователю направлении, явление можно расчлнять (анализ) и вновь объединять его (синтез), создавать запланированные сопутствующие условия эксперимента, которые позволят глубже изучать явление.

При получении экспериментальных данных и их интерпретации используют метод *анализа, синтеза, индукции* и *дедукции*.

*Анализ* – метод исследования, с помощью которого изучаемый предмет мысленно или практически расчлняется на составные части для более детального изучения. Так, при изучении роста растений их расчлняют на отдельные органы – корни, стебли (побеги), листья, цветы, плоды; при анализе урожая зерновых культур – различают ее структуру (число растений на площади, продуктивную кустистость, длину колоса (метелки), число колосков, массу зерна с колоса (метелки) и растения, массу 1000 зерен. Анализ как метод исследования используется только в связи с синтезом.

*Синтез* – метод научного исследования какого-либо предмета или явления, состоящий в познании его как единого целого, в единстве и взаимной связи его частей; синтез в процессе научного познания связан с анализом. Иными словами, это объединение расчлненных и проанализированных частей в единое целое с целью получения более полных выводов и подробных обобщений. Например, объединив данные по изменению роста корней и стеблей под влиянием азотных удобрений, приходим к выводу о росте растений в целом; влияние уровня азотного питания на продуктивность растений рассматривается в неразрывной связи с почвенно-климатическими условиями; после анализа каждого варианта их объединяют в единый опыт, по которому делают выводы, обобщения и как конечный синтез дают рекомендации производству. Таким образом, анализ и синтез как диалектическое единство и противоположность способствуют более полному изучению эффективности агроприемов и явлений.

*Индукция* – логическое умозаключение от частных, единичных случаев к общему выводу, от отдельных фактов к обобщениям. Это метод, с помощью которого рассуждения ведутся от фактов к конкретным выводам. Так, если листья на растениях увядают, то на основании этого факта делают вывод о недостатке влаги; при пожелтении листьев делают вывод о нарушении минерального питания, а если в одном из вариантов опыта получена наиболее высокая урожайность и качество продукции, то делают выводы и предложения о внедрении параметров (например, норм и форм удобрения) этого варианта в производство. Это и есть использование метода индукции в исследованиях.

*Дедукция* – логическое умозаключение от общего к частному; от общих суждений к частным или другим общим выводам. Посредством дедукции ведутся рассуждения от общих положений к выводам. Например, при гибели растений в посевах можно предположить, что она произошла вследствие: низких температур, дефицита влаги, недостатка элементов питания, повреждения болезнями и вредителями, засоленности почвы и т. д. Последовательно проверяя наши предположения, исключают те, которые не отличаются от средне-многолетних параметров, делают вывод о причинах гибели растений.

*Абстракция* – мысленное отвлечение от ряда свойств предметов и отношений между ними. Иными словами *абстрагирование* – это теоретическое обобщение результатов опыта или мысленное выделение главного, наиболее существенных связей при отвлечении от всех остальных. Используются два типа абстракций: изолирование – для выделения главного; отождествление – для образования понятий о системе, классах. Примером абстракции-отождествления может служить систематика, а абстракции-изолирования в принципе любой эксперимент, когда из множества взаимосвязей в изучаемой системе или организме выделяется главная. В частности, при установлении причин низкой продуктивности растений из множества факторов, влияющих на ее формирование, выделяют главный – в зависимости от условий произрастания. Это может быть низкое плодородие почвы или ее засоленность, низкие температуры воздуха и т. д. Только изолированное изучение их воздействия на продуктивность растений позволит выяснить, который из них является лимитирующим в данных условиях, а также установить их совместное воздействие. Обобщение опыта в почвоведении и растениеводстве приводит к созданию теории почвообразовательных процессов, а обобщения науки и практики агрохимии и физиологии путем абстрагирования способствовали появлению теории минерального питания растений.

Следует особо подчеркнуть, что практически каждое исследование начинается с построения абстрактного идеального образа объекта или явления, не существующих в реальном мире. При этом свойства мысленно изучаемого предмета или явления доводятся до оптимальных значений. Так, при разработке технологии выращивания сельскохозяйственных культур идеальным является полная реализация потенциальной продуктивности.

*Конкретизация* – метод исследования, с помощью которого от абстрактного переходят к конкретному. Например, установив, что причиной низкой продуктивности посевов риса является засоленность почвы, исследователь мысленно снова возвращается к системе взаимодействий почва-растение и конкретизирует связь засоления почвы с продуктивностью растения – снижает ли присутствие засоряющих ионов доступность элементов питания, или же чрезмерное поступление их в растения отрицательно сказывается на его жизнедеятельности, и далее, какие именно процессы в почве и растениях претерпевают изменения. Таким образом, методы абстрагирования и конкретизации весьма тесно взаимосвязаны, взаимно дополняют друг друга и должны использоваться исследователем аналогично таким методам, как анализ и синтез, индукция и дедукция.

*Аналогия* – метод научного познания, посредством которого знания о неизвестных предметах и явлениях получают на основании того, что они имеют сходство с другими, уже изученными. Например, если известно, что сорт риса Кулон с вегетационным периодом 135 дней на Кубани не созревает, то можно предположить, что все сорта, имеющие такой вегетационный период, не подлежат интродукции.

*Формализация* – отображение объекта или явления в знаковой форме какого-либо искусственного языка (химии, математики и т.д.) и обеспечение возможности исследования реальных объектов и их свойств через формальное исследование соответствующих знаков. Это может быть формула, описывающая объект. Например, изучается площадь листьев растения риса(S). Для этого линейкой измеряют ширину (Ш) и длину (Д) листовой пластинки. Полученное значение используется для вычисления площади листа по формуле  $S = 0,67 \cdot Д \cdot Ш$ . Использование этой и других формул составляет сущность метода формализации.

Для изучения сложных процессов пользуются методом *моделирования*, в основу которого положен принцип аналогии. Сущность *моделирования* заключается в замене трудно изучаемого предмета или явления специально созданным аналогом, удобной моделью, которую потом исследуют. Для эффективности этих исследований каждая модель должна содержать существенные черты оригинала. Если модель сохраняет физическую природу оригинала, например, модель почвы, растительной клетки, органа, то она является физической. Если модель физически не создается, а ее оригинал лишь описывается соответственными уравнениями, то модель является математической. Например, применяют математическое описание урожайности конкретного сорта сельскохозяйственных культур в зависимости от факторов жизни. Моделированием является также составление схемы опыта, вычерчивание размера и формы делянки, изображение на плане метода размещения вариантов.

### 1.5. Планирование и организация эксперимента

*Понятие есть итог, идея – результат опыта: чтобы подвести первый, нужен рассудок, чтобы понять второй, – разум... Задачей научного исследования в будущем должно стать исследование, не для чего быку рога, а как они у него появились.*

**Гете**

*Гипотезы уступают место точным теориям; методы непрерывно совершенствуются; огромная масса фактов и наблюдений сводится в стройную систему.*

**В.В. Докучаев**

Любой опыт должен планироваться и выполняться в рамках определенных теоретических концепций. *Концепциями* в науке называются идеи или обобщенные понятия в определенном направлении.

*Планирование исследований* – составление плана исследования, которое включает несколько этапов: 1) выбор темы, подтемы, исходя их об-

щей проблемы научного исследования; 2) определение цели, задач и объектов исследования; 3) изучение и критический анализ истории и современного состояния вопроса; 4) создание рабочей гипотезы; 5) составление программы, схемы опыта и методики исследования.

*Проблема* – теоретический или практический вопрос, требующий изучения.

*Тема* – задание, решение которого позволяет раскрыть определенный проблемный вопрос или часть общей проблемы. Тема исследования должна быть конкретной, четко сформулированной, соответствовать сущности исследования и отвечать потребностям производства настоящего и будущего. Тему, в зависимости от проблемы исследуемого вопроса, можно разбить на разделы.

*Цель исследования* – выделение в процессе синтеза знаний существенных связей между исследуемым объектом и окружающей средой, объяснение и обобщение результатов эмпирического исследования, выявление общих закономерностей и их формализация. Иными словами, цель исследования – это установление того, как можно использовать научные знания, полученные в результате фундаментальных исследований в практической деятельности человека. Она должна быть сформулирована одним предложением, независимо от объема и сложности исследований.

*Задачами исследования* являются: обобщение результатов эксперимента, нахождение общих закономерностей путем оценки интерпретации опытных данных; расширение результатов исследования на ряд подобных объектов, без повторения всего объема исследований; изучения объекта, недоступного для непосредственного исследования; повышение надежности экспериментального исследования объекта, т. е. обоснование параметров и условий наблюдения, точности измерений. Задачи исследования должны отражать сопутствующие наблюдения, обеспечивающие достижение цели.

*Изучение литературы.* Изучение и критический анализ научной литературы являются предпосылкой правильного определения цели исследований. Это необходимо и для исключения повторения ранее проведенных исследований, а также установленных наукой фактов. Знание литературы по изучаемой теме дает возможность создать рабочую гипотезу, обосновать актуальность, научную новизну исследований, разработать программу и методику эксперимента.

В *актуальности* следует показать степень изученности темы и отметить вопросы, которые требуют исследования в решении указанных задач.

В *научной новизне* нужно указать, какие новые сведения предполагается получить в процессе исследований. В этом разделе отмечают основные результаты исследования, имеющие новизну.

*Практическая значимость* эксперимента указывает на то, что даст производству разработка темы данного исследования.

*Рабочая программа* – рабочий план намеченного пути эксперимента. Она включает в себя все экспериментальные и теоретические аспекты исследования, соответствующие поставленной цели и задачам эксперимента. Программа должна быть хорошо продумана, в ней должны быть разработаны схема и условия проведения опыта и наблюдений, методика и элементы техники закладки и проведения эксперимента, фенологических наблюдений,

аналитических работ в лаборатории и планируемый анализ полученных данных соответствующими заключениями и выводами. Программа исследования не является окончательным планом действия экспериментатора, в процессе работы ее нередко дополняют или частично изменяют, т.к. предвидеть все детали будущего исследования практически невозможно.

*Схема опыта* – совокупность всех вариантов, входящих в опыт и сравниваемых между собой. Одни варианты включают изучаемые факторы, другие (контроль, стандарт) берут для сравнения с ними.

### 1.6. Законы научного земледелия

*Разум – это зажигательное стекло, которое, воспламеняя, само остается холодным.*

**Р. Декарт**

*Законы земледелия определяют взаимодействие факторов жизни растений на общебиологическом уровне. В земледелии действие этих законов проявляется в научно обоснованных системах земледелия через плодородие почвы.*

**А.М. Лыков, 1991**

Растения в течение всей своей жизни находятся во взаимодействии с внешней средой. Они нуждаются в постоянном притоке космических (свет, тепло) и земных (вода, воздух, элементы питания) факторов жизни. Несоответствие условий среды потребностям растений вызывает нарушения в метаболизме и снижает их продуктивность. Напротив, удовлетворение потребности растений всеми факторами жизни позволяет полностью использовать биологические возможности их для получения максимального урожая. Эти требования определяются генетической наследственностью растений и различны не только для каждого вида, но и для каждого сорта (гибрида) той или иной культуры. Познание этих требований растений дает возможность лучше удовлетворять их факторами жизни и составляет *первую основу* научного земледелия. *Вторую основу* научного земледелия составляет учение о плодородии почвы. Как природное свойство, оно зависит от накопленных в процессе почвообразования элементов питания, физических и водно-физических свойств почвы, а также климатических условий.

Взаимодействие факторов жизни растений в процессе их роста и развития, формирования урожая и его качества, сложное и многообразное. Результаты многочисленных исследований почвоведов, агрохимиков, физиологов, биологов, обработка и логический анализ этих результатов позволили сформулировать закономерности действия факторов жизни растений в процессе создания урожая. Эти закономерности в агрономической науке известны как *законы земледелия*. Законы научного земледелия позволяют вскрыть причины, сдерживающие рост урожая культуры и наметить пути его повышения.

*Закон автотрофности зеленых растений:* «Зеленые растения, используя энергию солнечного света и поглощая из воздуха углекислый газ, а из почвы воду и минеральные соединения, синтезируют все необходимые им органические вещества в количествах, обеспечивающих полное

развитие и высокую урожайность растений». По времени открытия и общей значимости в биологии и агрономии этому закону следует отвести первое место, – он объединил теории фотосинтеза и минерального питания растений. В соответствии с этим законом, одним из основополагающих принципов при формировании урожая должно быть быстрое образование оптимальной площади листьев, способной в наибольшей степени усваивать солнечную энергию для синтеза сахаров, аминокислот, белков, ферментов и других соединений, из которых создаются новые клетки, протоплазма, ткани и органы растений.

*Закон минимума* впервые сформулирован Ю.Либихом в 1840 г.: «Продуктивность поля находится в прямой зависимости от необходимой составной части пищи растения, содержащейся в почве в самом минимальном количестве». Это означает, что если из всех факторов жизни один находится в наименьшем необходимом для растений количестве, то он и определяет величину конечного урожая. В практике земледелия значение закона минимума огромно. Если на каком-то конкретном поле получают низкий урожай, то необходимо установить фактор или элемент минерального питания, который находится в минимальном количестве. Увеличив содержание этого элемента путем внесения удобрений, удастся повысить урожай культуры до некоторого уровня. Но для последующего повышения его необходимо снова выявить фактор, оказавшийся в минимуме.

*Закон толерантности* впервые был сформулирован В. Шефолдом (1913, 1934): «Ограничивающее влияние на урожай оказывает не только недостаток, но и избыток каких-либо факторов». По сути, это закон расширяет и дополняет «закон минимума». Само понятие «толерантность» означает выносливость организма по отношению к колебаниям какого-либо экологического фактора. При этом диапазон между экологическим минимумом и максимумом фактора составляет так называемый «предел толерантности» – величину выносливости организма к данному фактору.

Биологический и агрономический смысл закона толерантности заключается в том, что для роста и развития растений характерен как экологический минимум, так и максимум. Данный закон был дополнен Ю.Н. Одумом (1975) следующими принципиальными положениями:

- величина диапазона толерантности организмов к различным факторам неодинакова. Так, растения нормально развиваются в более широком диапазоне концентраций в почве фосфора, чем азота;

- если условия по одному экологическому фактору не оптимальны для данного вида растений, то может сузиться и диапазон толерантности к другим факторам. Так, с изменением температуры воздуха изменяется диапазон толерантности к увлажнению;

- часто условия, найденные как оптимальные в краткосрочных лабораторных или вегетационных опытах для данного растения, оказываются неоптимальными в полевых условиях. В данном случае несовпадение оптимальности факторов связано с тем, что вегетационный сосуд как физическая модель не подобен по ряду критериев полю;

- пределы толерантности к какому-либо фактору не постоянны в течение онтогенеза. Существуют критические периоды, в которые многие факторы

являются лимитирующими. Так, проростки люцерны погибают при таком значении рН среды, при котором взрослые растения способны развиваться.

*Закон минимума, оптимума и максимума* был впервые сформулирован Ю. Саксом: «...Наиболее высокий урожай может быть получен при оптимальном наличии фактора, а по мере увеличения или уменьшения последнего урожай последовательно снижается». Если снижение урожая с уменьшением фактора очевидно, то падение урожая при чрезмерном увеличении фактора часто обуславливается его депрессивным влиянием на культуру или антагонизмом к другому фактору.

*Закон равнозначности и незаменимости факторов жизни растений* был сформулирован В.Р. Вильямсом: «Все факторы жизни растений абсолютно равнозначны и незаменимы; ни один из факторов жизни не может быть заменен другим». Согласно этому закону, для роста и развития растений должен быть обеспечен приток всех факторов жизни растений – космических и земных. Важно подчеркнуть, что этот закон имеет в виду не количественную, а качественную физиологическую равнозначность факторов жизни. Растение может нуждаться как в больших, так и в ничтожно малых количествах факторов, однако отсутствие любого из них ведет к резкому снижению урожая и даже гибели растений. Ни один фактор нельзя заменить другим. На практике получить максимально высокий урожай возможно лишь при бесперебойном снабжении растений всеми факторами в оптимальном количестве. Однако в конкретных условиях производства закон равнозначности и незаменимости факторов жизни растений приобретает относительное значение вследствие неодинаковых затрат на обеспечение растений разными факторами. Это связано как с абсолютной потребностью растений в факторе, так и с его наличием в данной почве, в данном регионе и материально-техническими возможностями производства.

Закон равнозначности и незаменимости факторов жизни растений подчеркивает материальность земледельческого производства, не позволяет надеяться на «чудодейственные» рецепты получения урожая без материальных затрат или затрат в «гомеопатических дозах».

*Закон совокупного действия факторов жизни растений* был установлен в 1909 г. А. Митчерлихом (закон эффективности факторов, или закон физиологических взаимосвязей): «Все факторы жизни растений действуют совокупно, не изолированно друг от друга, взаимодействуют в процессе роста и развития растений».

Г. Люндегорд и Г. Либшер показали, что в связи с законом совокупного действия факторов жизни растений, действие отдельного фактора, находящегося в минимуме, тем интенсивнее, чем большее число других факторов находится в оптимуме. Г. Люндегорд установил также «интерференцию» факторов, находящихся в минимуме, совмещение их отрицательного действия на рост и развитие растений: «В природе наблюдается взаимодействие и интерференция многих факторов. Естественное проявление жизни всегда есть результат этих действий, но редко их можно принять как простое суммирование».

Б. Бауле (1918), подробно разрабатывавший идею совместности действия факторов среды, назвал это законом совокупного действия (или зако-

ном совместного действия факторов). Позже А. Митчерлих выразил закон совокупного действия факторов жизни растений в математической форме:

$$\frac{dy}{dx} = c \cdot (A - y)$$

где:  $y$  – фактически полученный урожай;  
 $x$  – количество внесенных факторов роста, включая содержание его в почве;  
 $A$  – максимально возможный урожай;  
 $c$  – константа, характеризующая коэффициент действия переменного фактора  $x$ ;  
 $(A - y)$  – разница между максимальным и фактически полученным урожаем.

Закон совокупного действия факторов жизни растений в современной трактовке А. Митчерлиха гласит, что «прибавка урожая зависит от каждого фактора роста и его интенсивности, она пропорциональна разнице между возможным максимальным и действительно полученным урожаем».

Исследованиями А. Тинемана установлено, что предложенной А. Митчерлихом математической формулой невозможно в полной мере описать сложные биологические процессы формирования урожая. Однако, несмотря на эти трудности, закон имеет огромное значение для практики земледелия.

Совокупное действие факторов жизни растений отличается от суммарного действия каждого из них в отдельности, т. к. изменение одного фактора влечет изменение других, и при оптимальном сочетании эффективность их действия возрастает. Растения не только приспосабливаются к факторам окружающей среды, но и сами активно влияют на них. Соблюдение требований закона совокупного действия факторов жизни растений имеет важное значение не только для получения высоких и стабильных урожаев хорошего качества, но и для воспроизводства плодородия почвы. Формула Митчерлиха, несмотря на имеющиеся ограничения, была первым математическим выражением явления взаимодействия факторов, а работы его и последователей стимулировали изучение многофакторных зависимостей в экологии, сельском хозяйстве и смежных дисциплинах.

*Закон возврата* на основе анализа многих исторических факторов был обоснован Ю. Либихом в книге «Химия в приложении к земледелию и физиологии» (1840): «Причина возникновения и падения наций лежит в одном и том же. Расхищение плодородия почвы обуславливает их гибель, поддержание этого плодородия – их жизнь, богатство и могущество». Отсюда сущность закона возврата состоит в следующем: все элементы минерального питания, используемые сельскохозяйственными растениями из почвы и потому отчуждаемые с урожаем, необходимо полностью возвращать с вносимыми удобрениями.

Земледелие как отрасль производства материально по своей природе. Урожай как материальная субстанция создается из материальных составных частей, определенная часть его – за счет веществ и энергии, получаемых растениями из почвы. Кроме того, почва – своеобразный посредник растений в обеспечении факторами жизни, среда их произрастания. При компенсации выноса веществ и энергии из почвы последняя сохраняет свое плодородие; при компенсации веществ и энергии с определенной степенью превышения происходит улучшение почвы, «расширенное воспроизводство» ее плодородия.

Применение удобрений – важное средство сохранения и воспроизводства плодородия почвы и увеличения продуктивности агроценоза. Поступающие в почву с удобрениями элементы питания помогают растениям эффективнее использовать влагу, солнечную энергию и другие экологические факторы, тем самым полнее реализовать свои потенциальные возможности. Результаты исследований круговорота и баланса элементов питания в земледелии дают четкое представление об агрохимическом состоянии почв и необходимых количествах и составе удобрений. Это позволяет поддерживать в почве бездефицитный баланс элементов питания.

*Закон соответствия культуры земледелия уровню социально-экономического развития общества* сформулирован нами (Шеуджен А.Х., 2001): «Культура земледелия определяется уровнем социально-экономического развития общества и является функцией научно-технического прогресса и социальных отношений».

Мировой опыт развития систем земледелия – от древних примитивных систем до современных интенсивных технологий – свидетельствует о том, что уровень культуры земледелия, в конечном счете, определяется степенью развития человеческой цивилизации, являясь своего рода функцией научно-технического прогресса. Так, довольно-таки высокий уровень земледельческой культуры в Древней Греции и Риме во многом определялся высоким уровнем античной цивилизации, давшей миру десятки и сотни выдающихся умов философов, писателей, поэтов, историков и, что для нас особо важно, – ученых-аграрников. Бесконечные войны и всплеск религиозного фанатизма, мракобесие инквизиции в эпоху средневековья заметно затормозили развитие человеческой цивилизации; соответственно, и земледелие вернулось чуть ли ни к первобытному состоянию. В свою очередь, XIX и особенно XX столетия характеризовались поистине революционными открытиями энергии пара, электричества, расщепленного атомного ядра; появились, и стали широко использоваться двигатели внутреннего сгорания. Эти столетия, явившиеся своеобразным «венцом» технократической цивилизации современности, обусловили и резкий подъем земледельческой культуры: внедрение научно обоснованных систем земледелия, создание разнообразного парка земледельческих машин, работающих на принципиально новых источниках энергии, интенсивное и плодотворное развитие аграрных наук. С этой точки зрения несомненный интерес представляет весьма образное и вместе с тем методологически четко сформулированное высказывание К.А. Тимирязева: «Культура поля всегда шла об руку с культурой человека». Этот тезис развивает Л.О. Карпачевский (1983): «Повышение урожайности сельскохозяйственных культур требует повышения энерговооруженности хозяйства, развития химического производства, машиностроения. Высокая культура сельскохозяйственного производства требует также соответствующего уровня развития сельскохозяйственной науки, в том числе мелиорации, почвоведения и агрохимии».

*Закон плодосмена:* «Любое агротехническое мероприятие более эффективно при плодосмене, чем при бессменном посеве».

В основе указанного закона лежит общебиологический закон единства и взаимосвязи растительных организмов и условий среды. Необходи-

мость чередования различных культур на полях обуславливается тем, что различные культуры по-разному оказывают влияние на свойства почвы и на окружающую среду. По-разному изменяются агрофизические свойства почвы, водный, воздушный, тепловой и пищевой режимы. Каждая культура или группы культур имеют свои биологические особенности по влиянию на состав почвенной микрофлоры и интенсивность развития отдельных физиологических групп микроорганизмов. Именно на основе этого закона разрабатываются принципы построения современных севооборотов.

*Закон антагонизма ионов* впервые сформулировал в середине XIX в. скандинавский ученый Оскар Лев: «Отдельные химические элементы, находясь в почве или в водном растворе в избытке, препятствуют поглощению растениями других элементов». Вывод, который следует из данного закона: соотношение элементов в почве должно быть оптимальным, в противном случае находящиеся в избытке те или иные химические элементы могут препятствовать поглощению растениями других элементов. Поэтому при неправильном соотношении элементов в почве их поступление в растение может значительно затрудниться.

*Закон возрастания плодородия почвы* был сформулирован В.Д. Панниковым (1972): «В самой природе почвообразовательного процесса, совершающегося при ведущей роли живых организмов, способных размножаться во все возрастающих размерах и захватывать все большее количество лучистой солнечной энергии и питательных веществ из окружающей среды, а затем их концентрировать в зоне своего обитания, заложено возрастание во времени плодородия почвы. И чем активнее протекают биологические процессы, тем быстрее нарастает ее плодородие». Исходя из этого закона земледелия, в практике сельского хозяйства применяют такие средства и правила, которые способствовали бы активизации полезных биологических процессов в почве, ускорению роста ее плодородия и достижению высоких и устойчивых урожаев.

Сельскохозяйственное производство и распашка земель нарушают естественный процесс почвообразования. Негативное влияние производственной деятельности человека на свойства почв можно существенно ослабить, если в практике земледелия осуществлять мероприятия по повышению плодородия почв и улучшению условий жизни возделываемых культур. Однако, при правильной научно обоснованной системе земледелия, основанной на широком использовании результатов научно-технического прогресса, плодородие почвы не только не снижается, а, наоборот, со временем повышается и может достигнуть высокого уровня. В самой природе заложены силы, при правильном использовании которых на основе достижений генетики и селекции, физиологии растений и агрохимии, почвоведения и земледелия, климатологии и метеорологии, гидрологии и общей геологии, механики и электромеханики, автоматике и электроники и т.д. имеется полная возможность получать высокие и прогрессивно возрастающие урожаи.

### Вопросы

1. Дайте определение понятия «Метод исследования».
2. Охарактеризуйте методы исследований: всеобщий, общенаучный, частный.

3. Что такое актуальность и новизна исследований?
4. Как определить цель исследования?
5. Как сформулировать задачи исследования?
6. Как построить рабочую гипотезу? Методы ее проверки.
7. Что входит в рабочую программу и какое ее значение?
8. Какие основные методические требования необходимо соблюдать при составлении схемы опыта?
9. Дайте определение понятиям: «эксперимент», «наблюдение», «анализ», «синтез», «индукция», «дедукция», «абстракция», «конкретизация», «аналогия», «обобщение», «сравнение», «счет», «аксиома», «теория» и «формализация».
10. В чем заключается сущность метода моделирования?
11. Дайте определение понятию «контрольный вариант» и осветите значение его в схеме опыта.
12. Что необходимо для планирования и проведения опытов?
13. Что такое научные исследования, и какие этапы они включают?
14. Чем отличается теоретический уровень исследования от экспериментального?
15. Каковы различия между фундаментальными и прикладными исследованиями?
16. Чем отличаются специальные методы исследования от всеобщих и общенаучных?
17. Что представляет собой гипотеза и эксперимент?
18. Охарактеризуйте понятия «закон» и «теория».
19. Сформулируйте законы: автотрофности зеленых растений; толерантности; минимума, оптимума и максимума; равнозначности и незаменимости факторов жизни растений; совокупности действия факторов жизни растений; возврата; соответствия культуры земледелия уровню социально-экономического развития общества; плодосмена; антагонизма ионов и возрастания плодородия почвы. На примерах поясните их содержание.

## 2 МЕТОДИКА АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Овладение методом важнее, чем запоминание чужих выводов.*

**А.Ф. Фортунатов**

*Движение науки вперед выдвигает все новые и новые вопросы, требующие всестороннего обсуждения. Отсюда и споры. Без споров в науке истина не добивается. Важно лишь, чтобы споры велись не ради споров, а ради познания истины.*

**Т. Д. Лысенко**

### 2.1. Лабораторный эксперимент

*Результаты лабораторных исследований могут способствовать пониманию фактов, устанавливаемых полевым опытом, и служить исходным пунктом при постановке новых опытов.*

**Д.Н. Прянишников**

*Лабораторный эксперимент – исследование, которое проводят в лабораторных помещениях, как в обычных неконтролируемых (комнатных), так и в строго контролируемых условиях (климатические камеры, термостаты, боксы), которые позволяют регулировать в необходимых пределах различные факторы среды.*

**С.С. Литвинов**

*Лабораторный эксперимент (опыт) – исследование, осуществляемое в лабораторной обстановке с целью установления действия и взаимодействия факторов на изучаемые объекты. Лабораторные эксперименты проводят как в обычных помещениях, так и искусственных – в термостатах, боксах, климатических камерах, где строго контролируются условия с применением типовых приборов, специальных моделирующих установок, стендов, оборудования. Чаще всего в лабораторном эксперименте изучается не сам объект, а его образец. Этот эксперимент позволяет с требуемой повторностью изучить влияние одних характеристик при варьировании других, получить хорошую научную информацию с минимальными затратами времени и ресурсов. В лабораторном эксперименте устанавливают обычно влияние одного или небольшого числа факторов. Большим преимуществом этого метода является выделение отдельных факторов. К главному недостатку таких исследований относится исключение из влияющих факторов внешней среды, воздействие которой в полевых экспериментах описывается дисперсией  $E$  (экологической) или  $\sigma_{\text{ошибки}}$ . С одной стороны, в лабораторном опыте легче вычленить влияние отдельного фактора, с другой – для рекомендаций производству результаты этих исследований мало пригодны, т. к. не учитывают влияние внешних условий, которое может быть определяющим. Именно поэтому лабораторные эксперименты, проводимые в лабораторных условиях, носят рекогносцировочный характер.*

Небольшая продолжительность лабораторного опыта не позволяет выявить многие закономерности, связанные с физиологией целостной системы организма. Вместе с тем следует отметить, что многие процессы можно изучать исключительно в лабораторном эксперименте. В них изучают трансформацию удобрений и биологическую активность почвы, определяют влияние элементов питания на энергию, скорость и дружность прорастания, а также всхожесть и силу роста семян; изучают поступление воды, макро- и микроэлементов в семена и растения; физиолого-биохимические процессы в прорастающих семенах, рассматривают вопросы методики обработки семян: сроки, концентрации рабочих растворов и продолжительность обработки. В лабораторном опыте процессы и явления изучаются на клеточном, тканевом и органном уровнях. Для проведения лабораторных экспериментов используются удобрения и химически чистые, сухие и хорошо растворимые соли микро- и макроэлементов. Растворы готовят с использованием дистиллированной воды. Лабораторные эксперименты выполняют в чашках Петри на фильтровальной бумаге или в растильнях, на 2/3 объема наполненных кварцевым песком или почвой. Песок, предназначенный для лабораторных опытов, предварительно просеивают через сито с отверстиями 0,5-0,8 мм и промывают концентрированной соляной кислотой. Кислоту наливают в стеклянные сосуды до половины объема, затем засыпают песок, закрывают сосуды стеклами и оставляют на 2-3 суток, периодически перемешивая стеклянной палочкой. Затем сифоном сливают кислоту и промывают водопроводной водой до полного удаления соляной кислоты (проба на лакмус) и дистиллированной водой – до отсутствия реакции на хлор, которую проводят азотнокислым серебром. Песок высушивают и прокаливают на железных противнях при температуре 400°C.

## 2.2. Вегетационный опыт

*Вегетационный опыт – исследование растений, осуществляемое в искусственной обстановке в специальных сосудах в вегетационном домике на открытых или закрытых сеткой площадках, в теплицах, фитотронах, оранжереях или климатических камерах.*

### З.И. Журбицкий

*Что предпочтительно – вегетационный метод или полевой, – этот вопрос потерял теперь всякий смысл, т. к. задачи этих методов различны; и точно так же как недопустимо, например, выпускать «в поле» новые удобрения ... не испытыв их в вегетационном опыте, так недопустимо ограничиваться вегетационным опытом и не испытывать в полевом опыте те удобрения, которые были уже изучены в вегетационном опыте и оказались имеющими положительное значение.*

### Д.Н. Прянишников

Слово «вегетационный» происходит от латинского «vegetatio», что означает «произрастание». В научной литературе термин «вегетационный метод» укрепился за опытами, проведенными с растениями, выращиваемыми

мыми в вегетационных сосудах, специальных домиках или под сеткой, защищающих растения от различных неблагоприятных условий, в теплицах, оранжереях, климатических камерах, фитотронах и других специальных сооружениях, т. е. *вегетационный опыт* – исследование, осуществляемое в строго контролируемых условиях с целью установления различий между вариантами эксперимента и количественной оценки действия и взаимодействия изучаемых факторов на урожай растений и его качество. В зависимости от цели и задач эксперимента длительность выращивания растений в вегетационном опыте может продолжаться от нескольких дней и до завершения онтогенеза, для многолетних культур – в течение ряда лет.

Обязательным условием для вегетационного опыта, в отличие от лабораторного, является *наличие опытного растения*. Сущность вегетационного метода исследования состоит в выращивании растений в вегетационных сосудах, в агрономически обоснованной обстановке, регулируемой экспериментатором. Вегетационный метод является необходимым звеном в изучении и теоретическом обосновании приемов повышения урожая и его качества. Он позволяет детально выявлять значение отдельных факторов роста и развития растений, поддерживать в относительно постоянных и более благоприятных границах различные параметры выращивания: в первую очередь, одинаковое обеспечение растений водой, выровненное корневое питание и одинаковые для всех растений условия освещенности и температуры.

Вегетационный метод в опытах с удобрениями дает возможность лучше изучить требования растений к элементам питания, позволяет сравнить эффективность различных форм удобрений, а также изучить физические, физико-химические, агрохимические показатели и биологическую активность почвы. Иначе говоря, с помощью вегетационного метода глубоко вскрываются процессы круговорота веществ в земледелии и увязываются в единый комплекс питание растений, свойства почвы и удобрения. В вегетационном опыте растениям создают оптимальные условия или оптимальный фон. В результате эффект от удобрений при изучении их действия заметнее, чем в полевых условиях.

Вегетационный метод позволяет моделировать различные условия среды и выявлять лучшие из них для выращиваемых растений. Однако при анализе результатов и переносе выводов на конкретные почвенно-климатические условия необходимо помнить, что в вегетационном опыте не учитываются сложные взаимодействия в системе погода–почва–растение.

Условия произрастания, уход, использование элементов питания в вегетационных опытах существенно отличаются от почвенно-климатических условий роста и развития растений в поле. Поэтому вегетационный опыт не в состоянии дать ответ на то, какое влияние могут оказать на изучаемый фактор природные условия с их изменчивостью, не поддающейся регулированию экспериментатора. Количественную зависимость между формами, дозами, сроками и способами применения удобрений и урожаем в окончательном выражении устанавливают на основании данных полевых опытов. С помощью вегетационного опыта нельзя также решить вопросы размещения удобрений в севообороте, сочетания различных удобрений с системой обработки почвы и другими агротехническими приемами,

которые можно изучить только в полевых опытах. Именно по этой причине Д.Н. Прянишников писал, что «вегетационный опыт более точный, но менее реальный для непосредственного внедрения его результатов в производство, а полевой опыт – менее точный, но более реальный».

Не противопоставляя полевой опыт вегетационному, необходимо отметить, что ряд основополагающих вопросов агрохимии, таких как определение необходимых для растений элементов, выяснение значения симбиоза клубеньковых бактерий с бобовыми культурами в фиксации атмосферного азота, сравнение нитратного и аммонийного азота в питании растений, можно успешно разрешить только с помощью вегетационного метода исследования. В практике агрохимических исследований вегетационный и полевой методы взаимно дополняют друг друга. При этом в полевом опыте не только проверяются выявленные в вегетационном эксперименте закономерности, но и, наоборот, некоторые четко не проявляющиеся из-за множества действующих факторов в полевом опыте закономерности уточняются в вегетационном опыте.

В агрохимических исследованиях вегетационный эксперимент чаще всего применяется для изучения закономерностей питания, роста и развития растений в легко управляемых, строго сопоставимых условиях, позволяющих четко выделить действие отдельных факторов или различных их сочетаний. По определению основоположника отечественной агрохимии Д.Н. Прянишникова, «задачей вегетационного метода является вскрытие существа процессов и уяснение значения отдельных факторов, прежде всего учет роли растения, почвы и удобрения в условиях, наиболее благоприятных для выявления этой роли; когда влияние того или иного фактора, наличность того или иного явления констатированы, тогда можно и полевому опыту поставить вопрос о размерах проявления соответствующих различий в реальной обстановке».

В программе вегетационного опыта должны быть схема эксперимента, методика и основные элементы его закладки и проведения. Схема опыта определяется темой и задачами эксперимента. При разработке схем необходимо выдержать: а) принцип факториальности; б) правильно выбрать контрольный вариант и определить сопутствующие условия эксперимента (фон); в) правильно установить основной уровень (центр эксперимента) и границы варьирования изучаемых факторов.

Принцип факториальности означает такое построение схемы многофакторного опыта, которое предусматривает испытание всех возможных сочетаний изучаемых факторов. Для однофакторного опыта следует так составить схему, чтобы на основании экспериментальных данных можно было в двумерном пространстве построить график, который будет характеризовать зависимость результативного признака ( $y$ ) от варьбельности изучаемого фактора ( $x$ ) (рис. 1).

Обычно достаточно иметь 6–8 уровней изучаемого фактора ( $x$ ). При этом важно так установить основной уровень, т. е. ту центральную точку на кривой отклика, чтобы по мере движения к экстремальным значениям опыт охватывал бы лимитирующую, стационарную и ингибирующую области этой кривой.

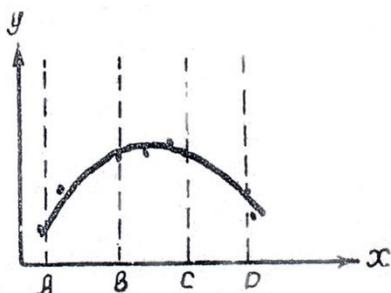


Рис. 1. Типичная форма кривой однофакторной зависимости; АВ – лимитирующая область, ВС – стационарная область, СД – ингибирующая область

При составлении схемы следует соблюдать основное методическое требование – принцип единственного различия, т. е. чтобы изучаемый фактор был единственным дифференциальным фактором. Схема опыта представляет собой определенную совокупность всех вариантов, которые входят в опыт и сравниваются между собой. Одни варианты включают изучаемый фактор (факторы), другие являются контрольными. При составлении схемы опыта помимо соблюдения принципа единственного различия между отдельными вариантами, большое значение имеет правильный выбор соответствующих поставленным задачам вариантов, что в значительной степени определяет успех эксперимента. Методически очень важно при разработке схемы опыта правильно наметить контрольные варианты.

Для изучения влияния видов минеральных удобрений на урожайность какой-либо культуры может быть рекомендована восьмивариантная схема Ж. Вилля: 1) 0; 2) N; 3) P; 4) K; 5) NP; 6) NK; 7) PK; 8) NPK или укороченная схема П. Вагнера: 1) 0; 2) NP; 3) NK; 4) PK; 5) NPK.

При изучении влияния форм азотных удобрений схема опыта должна включать все формы на фоне фосфорных и калийных удобрений: 1) 0; 2) PK (фон); 3) фон + N<sub>м</sub>; 4) фон + N<sub>аа</sub>; 5) фон + N<sub>а</sub>; 6) фон + N<sub>с</sub>.

В опытах со сложными удобрениями часто применяется следующая схема: 1) контроль (без удобрений), 2) сложное удобрение, 3) простые (стандартные) удобрения в эквивалентных по д. в. количествах сложному удобрению (вариант 2), 4) простые удобрения в нормальных дозах (рассчитанных по выносу или установленные по рекомендациям); 5) сложное удобрение (как в варианте 2) + простые удобрения для получения нормальных доз, в сумме эквивалентные д. в. 4 варианта. Такая схема позволяет сравнить эффективность сложного удобрения с простыми и установить целесообразность имеющегося в удобрении соотношения питательных веществ.

В опытах с известкованием почвы применяются нормы известки с учетом гидролитической кислотности, определяемой при помощи 1 н раствора CH<sub>3</sub>COONa с рН 8,2. Для почв влажных субтропиков норма известки устанавливается по обменной кислотности, определяемой в вытяжках 1н раствора KCl, имеющего рН 5,5–6,0.

Полученную величину кислотности в ммоль-экв./кг почвы для пересчета в граммы CaCO<sub>3</sub> на 1 кг почвы делят на коэффициент 20. Нормы известки выбираются достаточно отличающимися одна от другой.

Известковые удобрения могут испытываться как на почве без удобрений, так и на фоне N, P, K или NPK. Примерная схема опыта:

- 1) 0;
- 2) CaCO<sub>3</sub> по 0,25 кислотности;
- 3) CaCO<sub>3</sub> по 0,50 кислотности;
- 4) CaCO<sub>3</sub> по 1,0 кислотности;
- 5) NPK;
- 6) NPK + 0,25 CaCO<sub>3</sub>;
- 7) NPK + 0,50 CaCO<sub>3</sub>;
- 8) NPK + 1,0 CaCO<sub>3</sub>;
- 9–12) повторение вариантов 5–8 с фоном РК;
- 13–16) повторение вариантов 5–8 с фоном НК;
- 17–20) повторение вариантов 5–8 с фоном НР.

При построении схем с определением потребности растений в том или ином микроэлементе следует вводить в схему не одну, а две-три и больше доз микроэлемента, т.к. оптимальная доза лежит в очень узком интервале. Кроме того, следует помнить, что доступность микроэлементов зависит от реакции среды. Подвижность и доступность Мо, например, возрастает при нейтральных значениях рН, а Mn, Zn, Со, В, наоборот, при подкислении почв. В связи с этим, эффективность последних микроудобрений наиболее отчетливо проявляется при нейтральных значениях рН среды. В почвенных культурах обеспеченность растений Mn, Zn, В, Со следует изучать на кислых почвах на фоне двух-трех доз извести. Для Мо, Си и др. это требование снимается. В опытах с нейтральными почвами известкование не требуется. Введение в схему опытов извести позволит судить об эффективности микроудобрений на кислой почве при ее окультуривании, когда рН среды приближается к нейтральной (Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Волобуева В.Ф., Янишевская О.Л., 2002).

Изучение отзывчивости культурных растений на внесение различных видов микроэлементов в вегетационном опыте с почвенной культурой целесообразно проводить по следующим схемам:

Обработка семян:

Контроль – вода

В 0,001 – 0,005 – 0,05 – 0,1 – 0,5 – 1,0 %

Со 0,001 – 0,005 – 0,05 – 0,1 – 0,5 – 1,0 %

Mn 0,1 – 0,5 – 1,0 – 1,5 %

Си 0,001 – 0,005 – 0,05 – 0,1 – 0,5 – 1,0 %

Мо 0,001 – 0,005 – 0,05 – 0,1 – 0,5 – 1,0 %

Zn 0,005 – 0,05 – 0,1 – 0,5 – 1,0 – 1,5 %

Некорневая подкормка вегетирующих растений:

Контроль – вода

В 0,05 – 0,1 – 0,5 %

Со 0,005 – 0,01 – 0,05 – 0,1 – 0,5 %

Mn 0,05 – 0,1 – 0,5 %

Си 0,05 – 0,1 – 0,5 %

Мо 0,005 – 0,01 – 0,05 – 0,1 – 0,5 %

Zn 0,05 – 0,1 – 0,5 %

Внесение в почву:

1. Контроль (без микроэлементов)
2. В 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 – 2,5 – 3,0 мг/кг
3. Со 0,05 – 0,1 – 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 мг/кг
4. Мп 2 – 4 – 6 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16 – 18 – 20 мг/кг
5. Cu 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 – 2,5 – 3 – 3,5 – 4,0 – 4,5 – 5,0 – 5,5 – 6,0 мг/кг
6. Мо 0,1 – 0,5 – 1,0 – 1,5 мг/кг
7. Zn 0,1 – 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 – 2,5 – 3,0 мг/кг

Наличие в опыте правильно выбранных вариантов обуславливает достоверность проведения опыта по существу. Кроме того, для повышения точности и достоверности опыта необходимо вводить в каждом варианте несколько параллельных сосудов (повторностей). Правильно построенная схема позволяет получить прямой ответ на изучаемый вопрос, при неправильном построении схемы, в которой не учтены те или иные обстоятельства, опыт может оказаться совершенно непригодным. В связи с этим, при составлении схемы опыта, помимо соблюдения требования принципа единственного различия, необходимо соблюдать фактор обстоятельности схемы опыта, что позволит выяснить действительно возможные зависимости между факторами роста растений. Например, при сравнительном изучении фосфорных удобрений в почвенных культурах необходимо правильно выбрать фон. Хорошо известно, что фосфорные удобрения отличаются между собой по степени доступности фосфора для растений. Суперфосфаты содержат ионы фосфора, хорошо растворимые в воде, преципитат – в слабых кислотах, фосфоритная мука – в сильных кислотах. Доступность фосфора растениям этих удобрений зависит от взаимодействия с почвой, от способности почвы растворять фосфат. Если в качестве азотного фона взять  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , то его физиологическая кислотность окажется дополнительным фактором растворения фосфатов, если  $\text{NaNO}_3$  – будет противоположное действие, вследствие физиологической щелочности данного удобрения. Поэтому в качестве фона целесообразно вносить  $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{KNO}_3$ , которые в почвенных условиях практически являются физиологически нейтральными удобрениями. Кроме того, чтобы определить эффективность фосфорных удобрений на данной почве под данную культуру, нужно чтобы растения в этом опыте реагировали на внесение фосфора, т. е. класс почвы по содержанию этого элемента не превышал среднюю градацию обеспеченности им для исследуемой культуры.

Для постановки вегетационных опытов наиболее приемлемы сосуды вместимостью от 1 до 50 дм<sup>3</sup>. В качестве наполнителя сосудов применяют почву, песок, гравий, воду. В зависимости от наполнителя вегетационные опыты называют почвенной, песчаной, водной или водно-гравийной культурой. Тема исследования и разработанная схема опыта определяют выбор методики вегетационного опыта: почвенная, песчаная, водная или другие модификации.

### 2.2.1. Почвенные культуры

*Почвенная культура – разновидность вегетационного опыта, в котором субстратом служит почва; используют для выявления различий в действии удобрений на различных почвах при внесении их под разные культуры.*

**А.В. Соколов, А.И. Ахромейко,  
В.Н. Панфилов**

*Для того чтобы с успехом применять вегетационные опыты в агрохимическом исследовании, надо обращать серьезное внимание на методику и технику их выполнения, а с другой стороны, уметь правильно оценить полученные результаты.*

**Д.Н. Прянишников**

Почвенные культуры являются одной из самых распространенных модификаций вегетационного метода и наиболее близко стоят по условиям выращивания к полевым опытам. Это наиболее простая модификация вегетационного метода, где растения выращивают в сосудах с почвой, что позволяет исследователю выяснить роль растения, почвы и удобрения в их взаимодействии. В связи с этим почвенные культуры по сравнению с другими модификациями ближе всего к естественным условиям, т. е. более приближаются к полевому опыту. Данный метод позволяет установить не только доступность растениям тех или иных элементов питания на данной почве, но и изучить способность растений к использованию различных форм удобрений и влияние изучаемых условий на действие первых и последних. В почвенных культурах объектом исследования наряду с растениями является почва, изменения ее физико-химических свойств и биологической активности под влиянием самого растения, удобрений, а также влияния растений и почвы на удобрения.

Преимущества вегетационного опыта с почвенными культурами по сравнению с полевым опытом заключаются в возможности: 1) достижения путем перемешивания полной однородности почвы во всех сосудах, что позволяет избежать значительного расхождения между повторностями, которые в полевом опыте часто встречаются в связи с пестротой почвенного плодородия; 2) устранить влияние на результаты эксперимента неблагоприятных погодных условий; 3) поддерживать одинаковую влажность почвы во всех вариантах и повторностях опыта.

Проведение вегетационных опытов с почвенной культурой позволяет глубоко изучить естественное и искусственное плодородие почвы, дать сравнительную оценку плодородия разных типов, подтипов и разновидностей почв, изучить эффективность видов и форм удобрений в зависимости от почвенных условий. В то же время, опыты с почвенными культурами, в отличие от полевого опыта, дают лишь качественную оценку изучаемых закономерностей и не позволяют оценить их количественно. Кроме того, ряд вопросов по действию удобрений нельзя решить с помощью вегетационного метода исследований с почвенной культурой. К ним относятся размещение удобрений в севообороте, изучение сочетания удобрения с систе-

мой обработки почвы, уходом за растениями и другими агротехническими приемами, которые необходимо изучать только в полевых опытах.

Существует три принципиальных отличия вегетационного опыта с почвенной культурой от полевого в использовании элементов питания. Во-первых, в вегетационном опыте, как правило, используют элементы питания только одного генетического слоя профиля почвы. Во-вторых, выращивание растений в стеклянных домиках, теплицах, климатических камерах и других контролируемых помещениях способствует более интенсивной, чем в полевых опытах, мобилизации элементов питания из почвы. В-третьих, сам процесс мобилизации элементов питания в вегетационном опыте с почвенной культурой отличается от такового в полевых условиях. Полное разрешение вопросов питания растений и удобрения требуют сочетания полевого и вегетационного методов.

Закладку вегетационных опытов с почвенной культурой проводят в такой последовательности: 1) подготовка вегетационных сооружений и сосудов к закладке опытов; 2) тарирование сосудов; 3) подготовка семян, почвы, удобрений; 4) подготовка дренажа, фильтровальной бумаги, марли, стеклянных трубок для полива; 5) набивка сосудов; 6) посев; 7) полив, уход за растениями, фенологические наблюдения и биометрические измерения в течение вегетационного периода; 8) уборка и учет урожая; 9) отбор почвенных и растительных образцов; 10) статистическая оценка результатов опыта и составление отчетов.

*Подготовка вегетационных сооружений.* До закладки эксперимента вегетационные сооружения, предназначенные для его проведения, тщательно очищают от прошлогодних остатков растений и почвы, выносят сосуды, если они были оставлены здесь на зимнее хранение. Все стеллажи вегетационного домика моют и высушивают. После этого их красят светлой краской и нумеруют.

*Выбор и подготовка сосудов.* При постановке опытов с почвенными культурами обычно используют два типа сосудов, различающихся по способу полива – сосуды с отверстием в дне (Митчерлиха) и сосуды без отверстия в дне (Вагнера), последние обычно применяют для более точных опытов. Сосуды Вагнера поливают только по массе, в них более точно поддерживается нужный водный режим и они предохраняются от попадания дождевой воды. Сосуды Митчерлиха обычно помещают на стеллажи под сетку, при этом под каждым сосудом обязательно должен быть поддон, в котором собирается вода, просочившаяся через сосуд (дождевая, поливная). Собранную воду в поддонах с растворенными в ней элементами питания, вымытыми из почвы и удобрений, используют для полива этих же сосудов.

Для вегетационных опытов применяют металлические, стеклянные, гончарные, эмалированные и пластмассовые сосуды вместимостью не менее 4 кг воздушно-сухой почвы (рис. 2; Онищенко Л.М., 2005).

В настоящее время стеклянные сосуды практически не используют при постановке почвенных культур, т.к. они хрупки, требуют большой осторожности при работе с ними. Кроме того, для защиты почвы от света, в целях предохранения от сильного нагревания на солнце на них надевают двойные чехлы из плотной ткани, нижний – темного цвета, верхний – белого, или из плотного картона.



Рис. 2. Вегетационный опыт с рисом в пластмассовых сосудах.

Сосуды, пригодные для проведения эксперимента, моют внутри и снаружи водопроводной водой и расставляют на просушивание. Металлические сосуды перед набивкой покрывают белой эмалевой или масляной краской, а внутри битумным лаком или вставляют в него полиэтиленовые мешки. Для каждого опыта необходимо подобрать партию одинаковых сосудов.

Размеры сосудов могут быть самыми разнообразными. Наиболее употребительные цилиндрические сосуды следующих размеров (в см) – стеклянные или пластмассовые: диаметр×высота – 15×20; 20×20; 25×20; 30×25, металлические: соответственно 20×20; 30×25; 30×30.

Выбор размера сосудов зависит от выращиваемой культуры и от целей опыта (табл. 1). Для зерновых (пшеница, овес, ячмень, рожь) достаточны сосуды высотой 20 см и диаметром 20 см, вмещающие 4–6 кг почвы; для сахарной свеклы, картофеля, хлопчатника необходимы сосуды большего размера, содержащие 15–30 кг и более почвы.

При выборе размера сосудов необходимо учитывать и потребность выращиваемых растений в элементах питания: чем меньше сосуд, тем меньше удобрений можно внести в него. Доза удобрений N; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O по 0,1 г/кг почвы приемлема для культур, чувствительных к концентрации почвенного раствора. Если почва богата илистыми частицами и органическим веществом, для более выносливых культур можно вносить по 0,2 г действующего вещества на кг почвы. Дозы по 0,3 г действующего вещества уже могут оказаться вредными для большинства культур (Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Волобуева В.Ф., Янишевская О.Л., 2002). Сосуды после просушки тарируют, проставляют на них лаком или черной краской номера.

При проведении опытов с почвенными культурами в сосудах Митчерлиха, помимо сосудов, готовят поддоны, гребешки или гравий, марлевые круги. В опытах с сосудами Вагнера необходимо подобрать стеклянные трубки, подготовить дренаж, марлевые кружки.

Таблица 1 – Размеры вегетационных сосудов для разных культур, см

Культура	Почвенные культуры	Песчаные культуры	Вместимость сосудов для водных культур, л
Зерновые	20×20	20×20	3–5
	15×30	15×20	
Бобовые	30×15	20×20	4–5
	20×20	15×20	
Многолетние травы	30×20	20×20	3–5
	30×15	20×15	
Картофель	35×30	35×30	7–8
Сахарная свекла	25×30	25×30	6–8
	28×33	28×33	
Капуста	30×25	30×30	6–8
	33×30	25×30	
Огурец	25×30	25×25	5–6
Лук	25×20	20×20	4–5
Редис	25×20	20×20	4–5
Морковь	25×20	22×22	5–6

Примечания. 1. Первая цифра означает диаметр, вторая – высоту сосуда.

2. Сосуд 20×20 вмещает 4–6 кг, 25×25 – 15–18, 30×30 – 22–26 кг дерново-подзолистой почвы.

Дренажом служит битое стекло, которое помещают на дно сосуда, покрыв им примерно 2/3 дна под углом 30°. Количество стекла зависит от размера сосуда; обычно достаточно взять 200–350 г. Дренажное стекло предварительно несколько дней выдерживают в стеклянных сосудах с одной из кислот – серной, соляной, азотной или двуххромовокислым калием и затем промывают струей водопроводной воды и в конце, если необходимо, споласкивают дистиллированной водой; перед использованием стекло сушат на солнце или в сушильном шкафу. Для отделения битого стекла от почвы употребляют марлевые круги диаметром на 5–8 см больше диаметра сосудов. На марлю, помещенную на дренаж сверху, там, где нет стекла, насыпают небольшое количество песка, который обеспечивает равномерное увлажнение почвы около дна сосуда. Кварцевый песок, обычно используемый для этой цели, отделяют от глинистых частиц отмучиванием и сушат. Стеклоянная трубка, применяемая для полива растений снизу, должна иметь диаметр 1,2–1,7 см в зависимости от размера сосудов и длину на 2–4 см больше высоты сосуда. Подобранные таким образом трубки моют так же, как и сосуды.

Тарирование сосудов заключается в подборе по высоте и доведении их до одинаковой массы. По массе сосуды одного опыта не должны отличаться более чем на 100 г, по высоте и диаметру – более чем на 0,5 см. Уравновешивание сосудов осуществляют с помощью песка и частично битого стекла. Тарирование сосудов кварцевым песком, который насыпают на марлю, проводят после того, как в сосуд положено дренажное стекло, по-

крытое марлей, и в него через отверстие в марле вставлена трубка для полива, последняя должна отстоять от стенки сосуда не менее чем на 2 см.

*Подготовка почвы.* При постановке вегетационных опытов с почвенной культурой важно уделять внимание почве и ее подготовке. Для закладки опыта берут почву, типичную для данной зоны. Необходимо при этом точно знать тип, разновидность, гранулометрический состав, физико-химические и агрохимические показатели почвы. В зависимости от темы и задач опыта может быть использована целинная, а также окультуренная почва. Для культурных почв обязательно изучить историю участка, с которого она взята, за последние 3–5 лет, т. е. необходимо иметь данные о составе культур, их урожаях, характере обработки почвы, о внесении удобрений (их количестве, формах, дозах, составе). Недопустимо брать почву с полей, где вносили органические удобрения, проводили известкование, фосфорирование. Почва для вегетационного опыта может быть взята с контрольных делянок полевого опыта или его запольных участков. Иногда вегетационные опыты ставят с целью изучения плодородия почвы, созданного в результате длительного применения удобрений. В таком случае почву с различной окультуренностью или разным содержанием элементов питания можно отбирать непосредственно с делянок. Если вегетационный опыт ставят самостоятельно, независимо от полевого опыта, экспериментатор должен заложить почвенный разрез, определить полное название почвы, описать морфологические особенности горизонтов, провести агрохимический анализ пахотного слоя и подпахотных горизонтов.

Таким образом, место взятия почвы должно быть тщательно выбрано в соответствии с задачами исследования. Для набивки вегетационных сосудов используют верхний пахотный горизонт, но соответственно задачам опыта может быть взят любой горизонт.

При изучении сравнительной эффективности разных форм удобрений необходимо выбирать почву бедную в отношении питательного элемента, содержащегося в изучаемом виде удобрений. Например, для опытов с фосфорными удобрениями Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.Ф. Волобуева и О.Л. Янишевская (2002) рекомендуют взять почву на делянках полевых опытов с недостатком по фосфору, на которых вносились НК-удобрения, для опытов с калийными удобрениями – на делянках с NP. Почву берут весной перед закладкой вегетационных опытов с такой влажностью, когда она не мажется, а комки ее при растирании легко разрушаются. Количество почвы, необходимое для закладки опытов, определяется с учетом числа сосудов и их вместимости. Почву обычно заготавливают на 30 % больше расчетного количества для покрытия потерь при транспортировке и подготовке почвы.

На поле почву берут лопатами с пахотного слоя, а на целинных участках – с дернового горизонта. Перевозят ее к вегетационному домику навалом в тракторной тележке или в кузове автомобиля, подложив под нее полиэтиленовую пленку, бумагу или брезентовый полог. Сверху почву укрывают таким же материалом. Если же почву берут с делянок и она имеет разную агрохимическую характеристику, то ее помешают в чистые бумажные, полиэтиленовые или матерчатые мешки. Нельзя насыпать почву в мешки из-под удобрений и пестицидов, т. к. небольшое количе-

ство оставшихся в них этих веществ может попасть с почвой в сосуды и исказить результаты опыта. С опытных делянок почву берут из разных мест небольшими порциями так, чтобы не нарушить строение пахотного слоя делянки и не образовать ям и западин. Недопустимо брать почву с делянок, на которые удобрения были внесены недавно. Брать ее можно по истечении двух месяцев после внесения и если удобрения хорошо перемешаны в пахотном слое. В мешки кладут этикетки с обозначением номера делянки и агрохимических показателей.

Привезенную почву просеивают через грохот с отверстиями в 3 мм. Грохот устанавливают на брезент или полиэтиленовую пленку под углом не менее 45° и лопатами подают почву на верхнюю часть грохота, причем комки разминают так, чтобы вся почва полностью прошла через него, удаляя при этом камни, палки, крупные корневые и пожнивные остатки. Для целинных почв корневые и пожнивные остатки, которые остаются на грохоте, желательно измельчить и затем присоединить к общей массе почвы. Для достижения полной ее однородности во всем объеме почву тщательно перемешивают, затем ее сверху закрывают или перемещают в плотные лари и как можно скорее используют для набивки сосудов.

За день-два до набивки сосудов берут пробы почвы для определения влажности, влагоемкости, а также для химического анализа.

*Определение влажности почвы.* Влажность почвы обычно определяют гравиметрическим методом. Для этого в тарированном бюксе отвешивают с точностью до 0,001 около 5 г воздушно-сухой почвы и сушат в термостате 5 ч при температуре 105°C. Затем боксы с почвой охлаждают в эксикаторе и взвешивают. По потере в массе вычисляют содержание воды во взятой навеске почвы, что позволяет определить содержание воды в исследуемом образце. Так, если потеря массы при высушивании равна А, а масса сухой почвы – В, то исходная влажность равна  $W_0 = (A/B) \cdot 100 \%$ . При массовых анализах удобно пользоваться коэффициентом перевода данных анализа воздушно-сухой почвы на высушенную при температуре 105°C. Коэффициент этот равен отношению 100 к 100 минус процент воды в данной почве. Например, если воздушно-сухая масса почвы содержит 5 % влаги, то получают следующий коэффициент:  $100/(100-5) = 100/95 = 1,052$ .

*Определение полной влагоемкости почвы.* Полную влагоемкость почвы, подготовленной для набивки сосудов, определяют в специальных металлических цилиндрах с сетчатым дном или в стеклянных трубках, обвязанных с одного конца марлей. Диаметр трубки 5–6 см, высота 15–18 см. На сетчатое дно накладывают кружок фильтровальной бумаги, который затем смачивают водой. После того как из смоченной бумаги стечет излишек воды, трубку взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. Трубку (или цилиндр) наполняют на 3/4 высоты воздушно-сухой почвой. Почву вносят небольшими порциями, каждый раз уплотняя ее осторожным постукиванием трубки. После этого цилиндр снова взвешивают и ставят, прикрыв сверху стеклом, в сосуд с водой, так чтобы уровень почвы в трубке был выше уровня воды в сосуде. Через сутки цилиндр вынимают, дают стечь воде, обтирают его фильтровальной бумагой и взвешивают. Полную влагоемкость ( $W$ , % воздушно-сухой почвы) рассчитывают по формуле:

$$W = \frac{c - b}{b - a} \cdot 100,$$

где:  $(c - b)$  – масса поглощенной воды;  
 $(b - a)$  – масса навеска почвы.

*Определение максимальной гигроскопичности почвы.* В высушенные и взвешенные на аналитических весах с точностью до 0,001 г бюксы с притертыми крышками насыпают 10 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с диаметром отверстий 1 мм. После взвешивания бюксы с почвой ставят вместе с крышками в эксикатор, на дне которого находится 200–300 мл 10%-ного раствора  $H_2SO_4$ , плотностью 1,067 (устанавливать ареометром). При этом влажность воздуха в эксикаторе равна 96–98 %. Бюксы выдерживают до тех пор, пока почва перестанет поглощать воду. Это достигается обычно не менее чем через 20 дней. На протяжении указанного срока бюксы, как правило, 3–4 раза взвешивают, каждый раз сменяя 10%-ный раствор  $H_2SO_4$ . Вместо серной кислоты можно использовать насыщенный раствор  $K_2SO_4$  (100 г соли растворяют в 1 дм<sup>3</sup> дистиллированной воды), насыщенность которого устанавливают по наличию кристаллов соли в растворе. По достижении постоянной массы почву в бюксах высушивают в сушильном шкафу при температуре 100–105° С. Максимальную гигроскопичность (МГ) вычисляют по формуле:

$$МГ = \frac{100 \cdot (B - C)}{C - A} \%,$$

где:  $A$  – масса пустого бюкса;  
 $B$  – масса бюкса с почвой после насыщения;  
 $C$  – масса бюкса с почвой после высушивания.

*Удобрения.* В качестве удобрений используют промышленные азотные, фосфорные и калийные. Если же проводятся опыты по определению обеспеченности почвы питательными элементами или опыты, где N, P, K служат фоном, целесообразно применять чистые соли, т. к. они не содержат балластных элементов. Они используются и в опытах по изучению эффективности разных форм удобрений. Чистые соли, используемые в вегетационных опытах, должны по возможности содержать только ионы, поглощаемые растениями в качестве элементов питания:  $NH_4NO_3$ ,  $KNO_3$ ,  $KH_2PO_4$ ,  $K_2HPO_4$ ,  $NH_4H_2PO_4$ ,  $(NH_4)_2HPO_4$ . В тех случаях, когда N, P, K вносят в качестве фона, желательно, чтобы они минимально влияли на реакцию почвенного раствора и его концентрацию. В опытах на кислых почвах (подзолистые, красноземы) в качестве азотного удобрения можно рекомендовать  $NH_4NO_3$  или  $CO(NH_2)_2$ , а также смесь, состоящую на 2/3 из  $NH_4NO_3$  и на 1/3 из  $Ca(NO_3)_2$ . В качестве двойного азотно-калийного удобрения лучше вносить  $KNO_3$ , добавляя недостающее количество азота в виде азотнокислого аммония.

Фосфорно-калийные удобрения вносят в форме  $KH_2PO_4$  и  $K_2HPO_4$ , а на черноземах азотно-фосфорный фон создается внесением  $NH_4NO_3$  и  $(NH_4)_2HPO_4$ .

В вегетационных опытах принято вносить удобрения из расчета: 0,35–0,75 г N; 0,3–0,5 –  $P_2O_5$  и 0,3–0,5 г  $K_2O$  на сосуд вместимостью 5–8 кг

почвы. Они значительно выше средних норм удобрений, применяемых в полевых условиях. Нормы можно рассчитать также исходя из массы почвы в сосуде. Так, в опытах с зерновыми культурами на 1 кг почвы вносят 0,15 г N; 0,1 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0,1 г K<sub>2</sub>O (табл. 2; Журбицкий З.И., 1968).

Таблица 2 – Дозы удобрений в вегетационных опытах с почвенными культурами, г/кг почвы

Культуры	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Зерновые	0,15	0,10	0,10
Бобовые	0,04–0,10	0,10–0,15	0,10–0,15
Лен	0,05–0,07	0,10–0,12	0,06–0,10
Картофель	0,12	0,20	0,28
Конопля	0,20–0,30	0,20–0,30	0,20–0,30
Сахарная свекла	0,15	0,22	0,22
Хлопчатник	0,24	0,36	0,06–0,09
Табак	0,20–0,30	0,10–0,20	0,20–0,30
Овощные	0,10–0,20	0,10–0,25	0,15–0,30

Если почва односторонне богата каким-то элементом, доза соответствующего элемента снижается. Например, если почва богата калием, особенно на черноземных почвах, доза его уменьшается до 0,0–0,02 г K<sub>2</sub>O на 1 кг почвы или 0,25–0,10 г K<sub>2</sub>O на сосуд.

Приведенные в таблице 2 нормы удобрений можно считать средними, поэтому в опытах с дозами удобрений в схему необходимо вводить более высокие и более низкие нормы. Если в качестве источников N, P и K используются промышленные удобрения, то их норма рассчитывается на основании содержания в них питательных веществ. Ниже приводим пример расчета доз удобрений, заимствованный из книги Б.А Ягодина, Ю.П. Жукова, В.Ф. Волобуевой и О.Л. Янишевской (2002).

*Пример.* При закладке опытов с ячменем исходные нормы элементов питания (NPK) в граммах действующего вещества берутся из таблицы 2 и составляют следующие величины: 0,15 г N; 0,1 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 0,1 г K<sub>2</sub>O. Размер сосуда для ячменя составляет 20×20 см, вмещает 5 кг сухой почвы (при набивке сосуда масса почвы будет зависеть от влажности почвы и ее гранулометрического состава). Доза NPK на 5,0 кг почвы или на 1 сосуд будет составлять: 0,15·5,0 = 0,75 г N; 0,10·5,0 = 0,50 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0,1·5, = 0,50 г K<sub>2</sub>O. Таким образом получены дозы NPK для расчета внесения азотных, фосфорных и калийных удобрений. Допустим, в нашем случае мы используем аммонийную селитру с содержанием 35 % N, гранулированный простой суперфосфат с содержанием 20 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и хлористый калий, содержащий 60 % K<sub>2</sub>O. Рассчитываем дозу каждого удобрения на сосуд. Составляем пропорцию:

в 100 г NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> содержится 35,0 г N, следовательно,  
с x г NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> требуется внести 0,75 г N;  
отсюда  $x = (0,75 \cdot 100) : 35 = 2,14$  г аммонийной селитры необходимо внести на сосуд.

Аналогично рассчитываем дозы гранулированного суперфосфата –  $(0,50 \cdot 100) : 20 = 2,5$  г удобрения; хлористого калия –  $(0,50 \cdot 100) : 60 = 0,83$  г на сосуд.

Имеются некоторые особенности расчета доз комплексных удобрений. При использовании комплексных удобрений недопустимо складывать содержащиеся в них элементы питания, за основу принимается какой-то один элемент. Например, для почв Нечерноземной зоны таким элементом будет азот, а в отдельных случаях – калий; для черноземных почв лимитирующим элементом питания является фосфор, поэтому все расчеты доз удобрений начинают с этого элемента. И по выбранному за основу элементу рассчитывается физическая масса удобрения (г/сосуд). Во-вторых, расчет доз удобрений начинают всегда с используемых в опытах комплексных удобрений. При этом выбирают один из следующих 2-х вариантов расчетов. Первый вариант: использование комплексных удобрений с примерно равным содержанием основных элементов питания – это нитрофоски (НФК), нитроаммофоски (НАФК), карбоаммофоски (КАФК) и подобные им удобрения. Предположим, что в исследованиях будет использована НАФК с соотношением и содержанием  $N:P_2O_5:K_2O$ , равным 16:16:16. Условия задачи остаются прежними: выращиваем ячмень в сосудах вместимостью 5,0 кг сухой почвы при дозах 0,75 г N, 0,50 г  $P_2O_5$  и 0,50 г  $K_2O$ . Потребность ячменя в N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  различна, а содержание их в нитроаммофоске одинаковое. Поэтому расчет начинаем с наименее потребляемого ячменем элемента питания. Это будет или фосфор, или калий (они требуются в одинаковом количестве растениям ячменя). Рассчитывают точно так же, как показано ранее для простых удобрений:

100 г НАФК — 16 г  $P_2O_5$  ( $K_2O$ )

с x г НАФК требуется внести 0,5 г  $P_2O_5(K_2O)$

$x = (0,5 \cdot 100) : 16 = 3,1$  г нитроаммофоски.

Такое количество нитроаммофоски удовлетворит полностью потребность ячменя в фосфоре и калии и на 0,5 г д. в. в азоте. А по условию задачи требуется внести на сосуд 0,75 г N. Значит,  $0,75 - 0,50 = 0,25$  г. азота требуется добавить в виде любого простого азотного удобрения, например сульфата аммония (20,5 % N). Для установления его количества производим следующий расчет:  $x = (0,25 \cdot 100) : 20,5 = 1,2$  г сульфата аммония.

*Примечание.* В случае равенства требуемых доз N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  (допустим , 0,5 г N, 0,5 г  $P_2O_5$  и  $K_2O$ ) требуется внести 3,1 НАФК  $(0,5 \cdot 100) : 16$ , чтобы покрыть потребность в элементах питания.

Второй вариант; использование комплексных удобрений с различным содержанием элементов питания – это аммофос, диаммофос, калийная селитра, мета- и полифосфаты. Условия задачи остаются прежними, т. е. под ячмень надо внести 0,75 г N, 0,5 г  $P_2O_5$  и 0,5 г  $K_2O$ . В опытах применяется аммофос –  $NH_4H_2PO_4$  с содержанием 10,0 % N и 50,0 %  $P_2O_5$ . В этом случае следует начинать расчет доз с элемента, который находится в наибольшем количестве в удобрении (соли), т. е. с фосфора:

100 г  $NH_4H_2PO_4$  — 50,0 г  $P_2O_5$

с x г  $NH_4H_2PO_4$  требуется внести 0,5 г  $P_2O_5$

$x = (0,5 \cdot 100) : 50 = 1,0$  г аммофоса на сосуд.

Столько аммофоса нужно будет внести, чтобы покрыть потребность растений в фосфоре. Но в аммофосе, кроме фосфора, содержится еще 10,0 % азота. Далее рассчитываем так:

100 г  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  — 10,0 г N

1 г  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  (внесли, чтобы покрыть потребность в  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) содержит  $x$  г N, т. е. определяем, какое количество граммов азота поступает с 1,0 г аммофоса, и находим:  $(1 \cdot 10):100=0,1$  г N. А по условию требуется внести на сосуд 0,75 г N. т. е. необходимо внести дополнительно  $0,75-0,10=0,65$  г азота в виде какого-то азотного удобрения.

*Примечание.* Если начать расчет с элемента, содержащегося в удобрении в наименьшем количестве (N), получим следующее:

100 г  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  — 10,0 г N

$x$  г  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  — 0,75 г N

$x = (0,75 \cdot 100):10=7,5$  г аммофоса.

Потребность растений в азоте будет удовлетворена. Но вместе с азотом аммофоса вносится и фосфор:

100 г  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  — 50,0 г  $\text{P}_2\text{O}_5$

7,5  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  —  $x$  г  $\text{P}_2\text{O}_5$

$x = (7,5 \cdot 50):100=3,75$  г  $\text{P}_2\text{O}_5$  д. в., тогда как на сосуд требуется 0,5 г  $\text{P}_2\text{O}_5$ , т. е. мы получаем в 7,5 раз больше, чем требуется внести. Калий вносится в виде любого простого удобрения, пересчитав дозу 0,5 г  $\text{K}_2\text{O}$  по д. в. на физическую массу удобрения.

В опытах по известкованию кислых почв или с внесением извести в качестве фона дозу извести вычисляют по гидролитической кислотности. Известно, что на единицу (1 мг-экв.) Нг на 100 г необходимо 50 мг  $\text{CaCO}_3$  или 28 мг CaO.

Например, в опыте с почвой, имеющей Нг – 5 мг-экв. на 100 г, надо внести известь в дозе, соответствующей 0,5 Нг. Известковое удобрение содержит 96 %  $\text{CaCO}_3$ . На 100 г почвы необходимо внести  $0,5 \cdot 5 \cdot 50=125$  мг чистого  $\text{CaCO}_3$ , на 1 кг почвы – 1250 мг или 1,25 г  $\text{CaCO}_3$ , если сосуд вмещает 5 кг почвы, то доза известкового удобрения будет:  $(1,25 \cdot 5 \cdot 100):96=6,51$  г.

Если в опыте в качестве источника элементов питания используют химически чистые соли, расчет их количества на сосуд производят следующим образом: как указывалось выше в опыте с ячменем, доза N на сосуд составляет 0,75 г, используем в данном случае химически чистую соль  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

Молекулярная масса  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  – 80,05 г

80,05 г  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  содержит 28 г N

с  $x$  г  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  необходимо внести 0,75 г N

$x = (0,75 \cdot 80,05):28=2,14$  г  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на сосуд.

Таким же образом рассчитывают другие соли, которые применяют в опыте.

Водорастворимые удобрения и соли можно вносить в виде растворов. Небольшая нерастворимая примесь в удобрениях, например, в аммонийной селитре и хлористом калии, может быть отфильтрована при приготовлении растворов (за исключением тех случаев, когда примеси учитывают в опыте).

Навески сухих удобрений берут не раньше 1–2 дней до набивки сосудов в пакетики из пергаментной бумаги, на них указывают вариант схемы, вид и форму удобрения, массу в граммах. Число отвешенных пакетиков с удобрениями должно соответствовать числу сосудов с удобряемой

почвой. Если же удобрения вносят в виде раствора, то брать навески в пакеты нет необходимости. В лаборатории взвешивают одну общую навеску, по массе равную сумме однозначных вариантов, и растворяют в небольшом объеме воды. Удобно иметь растворы, содержащие в 100 мл раствора 1 г данного питательного вещества. При оптимальной влажности тяжелосуглинистых и глинистых почв на один сосуд бывает достаточно 30–50 мл раствора удобрения, для песчаных и супесчаных – 15–20 мл. Навески с азотными и калийными удобрениями могут быть растворены в одном объеме воды и внесены в один прием. В почву без удобрений вносят дистиллированную воду, равную по объему вносимому раствору удобрений в изучаемых вариантах. Для расчета нормы питательного элемента удобно пользоваться таблицей 3.

Таблица 3 – Навески солей, содержащие 1 г питательного вещества

Соли	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	2,86	–	–
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,72	–	–
NaNO <sub>3</sub>	6,07	–	–
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	8,44	–	–
KNO <sub>3</sub>	7,22	–	2,15
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	–	–	1,85
KCl	–	–	1,58
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	8,21	1,62	–
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4,72	1,87	–
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	–	1,92	2,89
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	–	2,46	3,70
Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	–	1,78	–

«Для удобрений, хорошо растворимых, в воде, – пишут Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.Ф. Волобуева, О.Л. Янишевская (2002), – удобнее готовить растворы 1–2 %-ной концентрации, в пересчете на действующее начало, при этом рассчитанное количество удобрений вносят в определенном объеме, например 50 мл, 100 мл.

Пример: На сосуд требуется 2,14 г аммонийной селитры, вносим это количество в 50 мл. В опыте 40 сосудов, расчет производим с запасом, т. е. на 50 сосудов. Общее количество удобрения будет составлять  $2,14 \cdot 50 = 107$  г, которые растворяем в 2500 мл ( $50 \cdot 50 = 2,5$  л).

Проверка: 2500 мл содержит 107 г NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>  
 50 мл содержит  $x$  г NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>  
 $x = (50 \cdot 107) : 2500 = 2,14$  г аммонийной селитры вносим на сосуд.

Удобрения и соли, которые не образуют в растворе нерастворимых соединений, т. е. не образуют осадка, можно вносить в одном объеме раствора. Например, на сосуд, как указывалось выше, необходимо внести 2,14 г аммиачной селитры и 0,83 г хлористого калия, объем раствора на сосуд 100 мл, на 50 сосудов –  $2,14 \cdot 50 = 107$  г NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> и  $0,83 \cdot 50 = 41,5$  г

KCl, в сумме на 50 сосудов –  $107+41,5=148,5$  г ( $\text{NH}_4\text{NO}_3+\text{KCl}$ ). Объем раствора на сосуд 100 мл, на 50 сосудов – 5000 мл, в которых растворяем 148,5 г ( $\text{NH}_4\text{NO}_3+\text{KCl}$ ).

Проверка: 5000 мл содержит 107 г  $\text{NH}_4\text{NO}_3$   
100 мл содержит  $x$  г  $\text{NH}_4\text{NO}_3$   
 $x = (107 \cdot 100) : 5000 = 2,14$  г  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на сосуд  
5000 мл содержит 41,5 г KCl».

Кроме азота, фосфора и калия в вегетационных опытах с почвенными культурами вносят мезо- и микроэлементы.

Микроэлементы чаще всего используют в виде чистых солей  $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (22,8 % Mn),  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (22,8 % Zn),  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (25,5 % Cu),  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (21,0 % Co),  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (54,3 % Mo) и  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (17,5 % B). В качестве источника магния в вегетационных опытах применяется  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , содержащий 16,4 % MgO. Источником серы является  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  или  $\text{CaSO}_4$ . Железо целесообразно вносить в виде хелатов Fe–ЭДТА или Fe–НЭДТА».

Недостаточная обеспеченность растений железом на той или иной почве, которая проявляется в виде хлороза растений, зависит не от недостатка данного элемента в почве, а от условий реакции почвы (pH) или величины окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и влажности почвы. При pH 8 и выше железо находится в нерастворимой и недоступной для растений форме гидроокиси; кроме того при высоких значениях Eh и достаточной влажности железо переходит в окисную ( $\text{Fe}^{3+}$ ) форму, которая растворима лишь в сильно кислой среде. В связи с этим, внесение в почву таких солей, как  $\text{FeCl}_3$  или  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  может создать дефицит железа для растений, т. к. при неблагоприятных условиях эти Fe-удобрения окажутся недоступными для растений. В этом случае следует использовать хелаты железа, в которых Fe связано в виде комплекса и остается доступным растениям. Независимо от pH и Eh почвенного раствора (Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Волобуева В.Ф., Янишевская О.Л., 2002).

Дозы удобрений в вегетационных опытах с почвенными культурами (Н, мг/кг) можно определить исходя из их количеств, рекомендованных для полевых опытов. Пересчет производят по формуле:

$$H = \frac{D}{10 \cdot P \cdot h \cdot \rho},$$

где: D – доза элемента минерального питания, вносимого в почву в полевых условиях, кг/га;

P – содержание действующего вещества в удобрении, %;

h – средняя толщина удобряемого в полевых условиях слоя почвы, см;

$\rho$  – плотность почвы, г/см<sup>3</sup>;

10 – постоянная величина, полученная при выведении формулы.

Однако необходимо учесть, что в вегетационных опытах растения имеют лучшие условия освещения и снабжения углекислотой из атмосферы, не испытывают конкуренции со стороны сорняков, т. е. находятся в условиях более интенсивного вовлечения элементов питания в обмен веществ. Поэтому для вегетационных опытов удобрения, вносимые исходя

из доз, рекомендованных для полевого опыта, как правило, оказываются несколько заниженными.

*Техника набивки сосудов.* После подготовки почвы, когда она просеяна и в ней определены влажность, влагоемкость, агрохимические показатели, подготовлены сосуды, растворы или навески удобрений, приступают к набивке сосудов. Техника набивки вегетационных сосудов почвой требует определенных навыков. Очень важно, чтобы каждую серию сосудов одной схемы набивал один человек, т. к. при этом достигается равномерность уплотнения почвы в сосуде. Первым этапом работы по набивке является определение массы почвы в сосуде, для чего делают пробную набивку и взвешивают почву. Предположим, масса почвы для набивки 6,0 кг при исходной влажности 15 %, что соответствует 5217 г абсолютно сухой почвы –  $(6000 \cdot 100) : 115$ . Оптимальной влажностью почвы для набивки является 40–50 % от полной влагоемкости. Определив, что исходная влажность почвы равна 15 %, а полная влагоемкость 40%, следовательно, влажность почвы для набивки должна быть 20 %, т. е. на каждый килограмм почвы необходимо добавить  $50 \text{ см}^3$  воды, а на 6 кг –  $300 \text{ см}^3$ . Вследствие этого количество воды и растворов удобрений в сумме должно быть одинаковым во всех сосудах и составляет в данном случае  $300 \text{ см}^3$ . В дальнейшем берут навеску почвы, помещают ее в эмалированный таз, вносят необходимые удобрения, перемешивают и высыпают в предварительно подготовленные сосуды с периодическим равномерным уплотнением руками.

При правильно выбранной навеске и технике набивки уровень почвы в сосуде должен быть ниже верхнего края сосуда на 2–3,5 см (в опытах с рисом на 8–10 см). Если уровень почвы оказывается выше или ниже этого уровня, надо соответственно изменить навеску.

До посева сосуды с почвой накрывают плотной бумагой, чтобы не пересох верхний слой.

Набивать сосуды начинают с контрольных вариантов, т. е. с тех, в которые не вносят удобрения. Если варианты отличаются видами, формами, нормами удобрений, то, приступая к набивке новой серии сосудов, следует тщательно очищать тазик и мыть руки. Перемешивание почвы с удобрениями надо проводить в течение 3–5 мин. Чем тяжелее почва по гранулометрическому составу, тем продолжительнее перемешивание.

*Подготовка семян и посев.* Посев необходимо произвести на следующий день после набивки сосудов, поэтому посевной материал готовят заблаговременно.

При посеве сухими семенами необходимо предварительно установить их лабораторную всхожесть. Для посева годятся тщательно отобранные по величине элитные семена.

Для ускоренного получения всходов семена предварительно намачивают в дистиллированной воде путем их полного погружения. Продолжительность намачивания зависит от свойств семян: семена крестоцветных растений намачивают на 2 ч, семена с тонкими оболочками большинства овощных культур – 4 ч, семена с плотными оболочками типа моркови, свеклы – 12 ч, семена зерновых и крупяных культур – 24 ч.

Проращивание семян ведут в противнях (растильнях), в которые тонким слоем ( $2/3$  высоты) насыпают кварцевый песок, предварительно

промытый в концентрированной соляной кислоте, прокаленный для обеззараживания и просеянный через сито с отверстиями диаметром 1 мм; сверху него кладут фильтровальную бумагу в два слоя. Песок и бумагу увлажняют дистиллированной водой до 60 % полной их влагоемкости и равномерно на некотором расстоянии друг от друга укладывают семена.

Влагоемкость песка определяют заранее и высчитывают количество воды (в см<sup>3</sup>), необходимое для увлажнения 100 г сухого песка до 60 % полной влагоемкости. В дальнейшем пользуются однажды установленными величинами (если песок не заменяют) и для удобства песок не взвешивают, а измеряют посудой определенного объема с заранее известной массой песка. Правильное увлажнение ложа имеет большое значение при выращивании семян. От недостатка влаги задерживается набухание семян и их прорастание. Избыток воды препятствует нормальному доступу воздуха, отчего также задерживается прорастание и возможно загнивание семян.

После раскладки семена прикрывают фильтровальной бумагой. Чтобы ограничить испарение воды, растительные сосуды сверху накрывают стеклом и для ускорения прорастания семян ставят в термостат, где поддерживается температура около 30°C. Для поддержания в термостате относительной влажности на уровне 90–95 % на дно ставят противень с водой.

Если для опыта требуется небольшое количество семян, для проращивания можно использовать чашки Петри. В качестве ложа для проращивания семян в данном случае используют влажную фильтровальную бумагу, которую в виде кружков помещают в чашки Петри. Бумагу увлажняют до полной влагоемкости, для чего ее опускают в чашку с водой, а затем дают стечь избытку воды. Как и при проращивании на песке, периодическое увлажнение ложа применяют и при проращивании семян на фильтровальной бумаге.

Посев производят, когда семена «наклюнутся». Перед посевом поверхность почвы выравнивают, слегка поливают из «промывалки», затем делают лунки, в которые укладывают семена. Лунки (гнезда) для семян удобно делать специально приготовленным маркером. Он представляет собой деревянный или пластмассовый круг с шипами (зубьями), его диаметр на 0,5–1 см меньше диаметра сосуда. При надавливании маркера на поверхность почвы, а затем поднятии его шипы оставляют нужной глубины лунки. Лунки можно делать и стеклянной палочкой; в этом случае на поверхность накладывают картонный шаблон с соответствующим числом дырочек и лунки в почве выдавливают стеклянной палочкой с резиновым кольцом, надетым на нее на высоте, равной глубине посадки семян. Крупные семена при посадке заделывают на глубину 1,5–2,0 см, при посеве льна лунки делают глубиной 1 см, при посеве мелкосеменных трав 0,5 см. Если почва мажется, то полезно посыпать ее тонким слоем кварцевого песка.

При посеве проросшими семенами пинцетом отбирают одинаково проросшие, которые укладывают в лунки по одному корешком книзу. Заделка семян производится предварительно выбранной из сосуда почвой. После этого поверхность почвы засыпают песком из расчета 200 г на сосуд.

После посева сосуды закрывают листами бумаги, а если они остаются под открытым небом, дополнительно полиэтиленовой пленкой, что-

бы избежать промачивания дождями. Листы бумаги и пленку снимают после появления первых всходов.

Если опыт ставится в стеклянных сосудах, необходимо до посева или сразу после появления всходов обернуть сосуды белым картоном – «надеть чехлы». На чехол наклеивают этикетку с указанием особенностей варианта опыта и номера сосуда; последний надписывают и непосредственно на чехле. Чехол должен быть надет плотно, но так чтобы можно было его поднимать для наблюдений за увлажнением почвы и ростом корней.

В сосуде диаметром 15–20 см оставляют: 20–25 растений клевера, люцерны; 15–20 – зерновых; 10–15 – гороха, люпина, 3–5 – редиса, огурца, 1 – картофеля. Количество семян, высеваемое в сосуд, должно быть на 5–10 шт. больше оставляемого числа растений. Через 2–3 дня после появления всходов, когда они окрепнут, лишние удаляют пинцетом и оставляют в каждом сосуде одинаковое число растений. Удаляемые растения вместе с семенами и корнями помещают в пронумерованные пакеты, сушат, взвешивают и могут быть использованы для анализа, например, для учета поступления питательных веществ в начальный период роста.

Если схемой опыта предусмотрено внесение удобрений в период вегетации, то их применяют в виде жидкой подкормки.

Достоверные данные для злаковых культур и льна можно получить при 3-кратной, для бобовых и масличных культур – 4–5-кратной, а для корне- и клубнеплодов – 5–6-кратной повторности опыта. Если программой предусмотрено проведение анализов растений и почвы в период вегетации, то повторность может быть увеличена до 8–10-кратной, при этом в назначенные сроки проводят удаление одного сосуда, т. е. исключение одной повторности.

Растения у прикорневой шейки срезают ножницами, кладут в пакет и высушивают в подвешенном состоянии в вегетационном домике, на стеллажах сушильного сарая или в сушильных шкафах. Почву из сосуда высыпают на лист бумаги, фанеру, полиэтиленовую пленку, перемешивают, раскладывают тонким слоем, после чего методом квартования берут средний образец массой 300–500 г.

Для предохранения растений от полегания и поломки в сосуды вставляют проволочные каркасы или тонкие рейки. Высота каркаса из реек для зерновых, зернобобовых, многолетних трав 40–50 см, по четыре штуки на сосуд. Между ними натягивают нитки, которые создают опору лежащим растениям.

*Уход за посевами.* Уход за растениями в вегетационном опыте включает полив, удаление сорняков и проведение подкормок, если это запланировано программой исследований.

Потребность сельскохозяйственных культур в воде в период вегетации и величина нижнего предела оптимальной влажности почвы в значительной степени изменяются в зависимости от фаз роста и развития растений. Максимум водопотребления у злаковых культур приходится на период колошения (выметывания) – налива зерна. Яровая пшеница потребляет влагу в таких соотношениях: всходы – кущение – 3 %, кущение – трубкование – 22, трубкование – начало налива зерновок – 40, налив зерновок – 33, созревание 2 %. Следовательно, водопотребление копирует кривую накопления сухого

вещества, а большая часть воды расходуется растениями в период наибольшего роста. Иные закономерности водопотребления у культур, формирующих продуктивные вегетативные органы. Так, у капусты оно нарастает вплоть до уборочной спелости, у свеклы – от начала вегетации до окончания роста корнеплода и снижается во время интенсивного накопления сахара.

На степень доступности почвенной влаги для растений оказывают влияние гранулометрический состав почвы, ее адсорбционная активность и водоудерживающая способность. При одинаковой степени увлажнения на почвах различного гранулометрического состава водный режим растений складывается по-разному (табл. 4; Пискунов А.С., 2004).

Таблица 4 – Полная влагоемкость дерново-подзолистых почв

Почва	Горизонт	Полная влагоемкость почв, %	
		с ненарушенным строением	с нарушенным строением ( $A_{\text{max}}$ )
Глинистая	A <sub>1</sub>	40–42	48–55
	A <sub>2</sub>	28–31	30–35
	C	31–34	33–35
Тяжелосуглинистая	A <sub>1</sub>	38–40	46–50
	A <sub>2</sub>	28–30	30–35
	C	30–32	33–37
Среднесуглинистая	A <sub>1</sub>	28–32	38–42
	A <sub>2</sub>	24–26	25–28
	B <sub>2</sub>	28–32	30–33
Легкосуглинистая	A <sub>1</sub>	26–30	30–34
	A <sub>2</sub>	22–26	24–28
	B <sub>2</sub>	20–23	27–30

Иначе говоря, режим полива необходимо дифференцировать в зависимости от гранулометрического состава почвы, ее водопоглощающей и водоудерживающей способности. На почвах более тяжелого гранулометрического состава, характеризующихся повышенной поглощающей и водоудерживающей способностью, водный режим растений в сосудах наиболее благоприятно будет складываться при таком режиме полива, когда периоды обильного увлажнения будут чередоваться с периодами, характеризующимися наличием некоторого дефицита воды у растений. На почвах легкого гранулометрического состава, отличающихся пониженной поглощающей и водоудерживающей способностью, водный режим растений складывается более благоприятно при более частом и дробном снабжении их водой.

Поливы должны обеспечивать бесперебойное снабжение растений водой в течение всего периода вегетации, но особенно недопустимо ущемление влагой в наиболее ответственные периоды роста и развития – в так называемые критические периоды.

В опытах с минеральными удобрениями полив всех сосудов проводят до одинаковой влажности почвы, за исключением случаев, когда изучают действие удобрений при разной влажности.

Разработано множество методов определения срока полива:

1. Метод биофизических коэффициентов. Для определения срока очередного полива опытным путем по фазам вегетации растений устанавливают биофизические коэффициенты, т. е. расход воды на 1°С в дм<sup>3</sup>/сосуд. Зная исходный запас воды в почве и имея прогноз среднесуточных температур воздуха для данного периода, заблаговременно определяют срок полива по формуле:

$$T = \frac{m}{K \cdot t},$$

где:  $T$  – время, в течение которого может быть израсходована допустимая норма воды на испарение, сут;  
 $m$  – запас допустимой нормы расходования воды на испарение, дм<sup>3</sup>/сосуд;  
 $K$  – расход воды на 1°С для данного периода развития растений;  
 $t$  – среднесуточная температура (по прогнозу).

2. Метод биоклиматических показателей. Основан на связи между показателями водного режима растений и внешней среды – температурой, влажностью воздуха и радиацией. Срок очередного полива устанавливают на тот период, когда запасы воды в почве достигнут нижнего порога предполивной влажности;

3. Назначение полива по морфологическим признакам растений. Визуально, по изменению в окраске или частичному увяданию листьев в дневные часы, по ослаблению тургора в растущих частях растений определяют момент, когда необходимо приступить к поливу;

4. Назначение полива по фазам роста и развития растений. Метод основан на неодинаковой чувствительности растений к понижению влажности почвы в различные периоды роста и развития и на изменениях среднесуточного водопотребления;

5. Назначение полива по физиологическим показателям. Метод позволяет с большой точностью регулировать водный режим почвы в соответствии с потребностью растений. Установить сроки полива можно на основе определения сосущей силы клеток листьев и концентрации сухих веществ в отжатом соке листа. В этом случае поливная норма имеет корреляционную связь с физиологическими показателями растений и влажностью почвы. В большинстве случаев допустимые физиологические показатели наступают при влажности почвы, соответствующей 70–80 % НВ. Содержание сухих веществ в клеточном соке определяют портативным рефрактометром непосредственно на вегетационной площадке;

6. Назначение поливов по влажности почвы. Это единственный метод, получивший широкое распространение в вегетационных опытах с почвенной культурой.

Установить оптимальную влажность почвы можно, лишь зная водные свойства почвы: ее максимальную гигроскопичность, наибольшую влагоемкость и влажность во время набивки (табл. 5; Долгов С.И., 1948).

Максимальную гигроскопичность необходимо знать для определения коэффициента завядания растений. Под коэффициентом завядания понимается количество влаги в почве, выраженное в процентах от ее су-

хой массы, при котором растения впервые обнаруживают признаки устойчивого завядания. Под устойчивым или длительным завяданием подразумевается степень увядания растений, при которой они уже не могут оправиться даже после перенесения их в атмосферу, насыщенную водяными парами. Понятие устойчивого завядания было введено, чтобы исключить при определении все случаи завядания, которые вызываются лишь временным превышением транспирации над поступлением влаги в растение и могут иметь место при относительно влажной почве, но сильном сухом ветре или сильной инсоляции. Практически наиболее легко выполнимым способом определения коэффициента завядания (или влажности завядания) является определение его по максимальной гигроскопичности почвы (Федоровский Д.В., 1960).

Таблица 5 – Водные константы различных почв, % на абсолютно сухую почву

Тип почвы	Полная влагоемкость	Предельная полевая влагоемкость	Гигроскопическая влажность	Максимальная гигроскопическая влажность	Влажность завядания
Чернозем	56,6	36,3	6,47	10,66	17,5
Темно-каштановая	52,3	31,0	7,57	10,90	15,1
Серозем	40,1	23,9	1,68	4,59	7,8

Величина максимальной гигроскопической влажности зависит от гранулометрического состава почвы: при содержании в ней крупных и малосвязанных частиц (песок) эта величина незначительна – около 1 %; при наличии мелких связанных частиц глинистой почвы она во много раз выше – около 8–10 %. Глинистая почва отличается высокой влагоемкостью, поэтому она всегда может содержать в запасе воды гораздо больше, на таких почвах растения обеспечиваются влагой на более длительный период. Влажность завядания для большинства почв равна примерно полуторной максимальной гигроскопической влажности, все, что выше этого, относится к влажности, доступной растениям.

С.М. Богданов предложил считать полезной влагоемкостью почвы ее наибольшую влагоемкость за вычетом коэффициента завядания, т. к. влажность почвы меньше коэффициента завядания если и не является абсолютно неусвояемой, то практически представляет мертвый запас влаги. Полив растений следует производить до 60% полезной влагоемкости почвы. Тогда влажность почвы, до которой поливают сосуды, будет равна:

$$\left[ \frac{\left( \left( \begin{array}{c} \text{наибольшая} \\ \text{влагоемкость} \end{array} \right) - 1,5 \left( \begin{array}{c} \text{максимальная} \\ \text{гигроскопичность} \end{array} \right) \right) \cdot 60}{100} + 1,5 \left( \begin{array}{c} \text{максимальная} \\ \text{гигроскопичность} \end{array} \right) \right] = 0,6 \left[ \left( \begin{array}{c} \text{наибольшая} \\ \text{влагоемкость} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{максимальная} \\ \text{гигроскопичность} \end{array} \right) \right]$$

Однако для ряда почв и некоторых культур эта влажность недостаточна и увеличение ее до 70–80 % от полной влагоемкости влечет за собой повышение урожая. К таким относятся тяжелосуглинистые и богатые

органическим веществом почвы, у которых мертвый запас воды равен 1,5 максимальной гигроскопичности, а также легкие песчаные почвы, имеющие малую влагоемкость. В зависимости от возраста и вида растений, температуры атмосферного воздуха потребность в воде растет, следовательно, и количество воды на сосуд бывает различным. Как правило, во время созревания воды расходуется меньше, чем в фазе цветения или трубкования зерновых и зернобобовых культур, меньше воды требуется для полива в период созревания овощных культур. Следует помнить, что влажность почвы в сосудах оказывает большое влияние на отзывчивость растений на удобрения, например, при более низкой влажности отмечается усиление потребности растений в фосфоре. В прохладные летние дни полив сосудов проводят один раз в день рано утром. В жаркие дни сосуды поливают дважды: утром и вечером.

Сосуды Митчерлиха поливают без учета полной влагоемкости почвы, до пролива. При очередном поливе необходимо вылить воду из поддона в сосуд, чтобы исключить потери элементов питания. Поливная масса сосуда при постановке опытов в сосудах Вагнера складывается из следующих масс: 1) тары сосуда (с дренажем и стеклянной трубкой); 2) абсолютно сухой почвы; 3) воды; 4) песка; 5) каркаса (деревянных палочек); 6) чехла (при использовании стеклянных сосудов).

Массу, до которой надо поливать сосуды, рассчитывают так. Допустим, что полная влагоемкость почвы – 50 %, максимальная гигроскопичность – 8 %; поливать предполагают до 60% от полезной влагоемкости. Тогда влажность почвы, до которой проводят полив, будет равна:  $(50+8) \cdot 0,6 = 34,8$  %. Сосуды были набиты 5 кг сырой почвы, влажность которой составляла 15,0 %. Масса тары до набивки (масса пустого сосуда + масса битого стекла, трубки, марли и кварцевого песка) равнялась 2000 г. Масса картонного чехла, палочек и песка, покрывающего почву сверху (60 г + 40 г + 200 г) – 300 г. Масса сосуда без массы воды и почвы – 2300 г; масса абсолютно сухой почвы в сосуде – 4348, масса воды (34,8 % от 4250) – 1479 г. Следовательно, сосуд следует поливать до массы 8150 г ( $2300 + 4348 + 1479 = 8127$ ). При проведении опытов с картофелем, томатом, подсолнечником, кукурузой, у которых образуется большая вегетативная масса, при поливе делают поправку на массу самих растений.

Для полива используют дистиллированную или водопроводную воду, последнюю набирают накануне в емкости, чтобы не поливать растения слишком холодной водой. Водопроводную воду, имеющую обычно рН 7 и содержащую различное количество солей (прежде всего солей кальция), не следует применять для полива почвенных культур в тех случаях, когда рН почвы (или содержание в ней кальция) является существенным фактором в решении вопросов опыта (например, в опытах с известкованием; с азотными удобрениями, имеющими разную физиологическую реакцию; с малорастворимыми фосфорными удобрениями). Особенно важно воздерживаться от применения водопроводной воды для полива сосудов с малобуферными почвами. Однако надо отметить, что в различных географических пунктах состав водопроводной воды резко различен, поэтому при решении вопроса о возможности использования воды в вегетационных опытах следует учитывать рН (Журбицкий З.И., 1968).

Обычно полив растений производят, давая половину воды сверху и половину – снизу через трубку. Полив сосудов по массе производят 1 раз в день. В жаркие дни поливать сосуды приходится 2 и даже 3 раза в день, в этом случае 1 раз поливают сосуды по массе и другой – по объему, давая на каждый сосуд определенное количество воды. При поливе сосуды ставят на весы и приливают столько воды, сколько требуется до установления поливной массы. Так как потребление растениями и испарение воды во всех сосудах с удобрениями примерно одинаковое, то иногда полив можно проводить по объему. Для этого, поливая по массе несколько сосудов, устанавливают средний объем расхода воды в миллилитрах на один сосуд, а затем такой объем ее вносят во все остальные сосуды. Однако этим методом поливать сосуды во все фазы развития растений нельзя. К фазе трубкования зерновых культур испарение и потребление воды в сосудах без удобрений бывает значительно меньше, чем с удобрениями, поэтому для полива последних воды требуется значительно больше.

Для выравнивания условий освещения и нагревания сосудов при поливе проводят перестановку их местами: средние выставляют на края, а крайние ставят в середину. Для удобства наблюдений сосуды следует размещать с учетом повторностей вариантов, желательно, чтобы в одном ряду находились все сосуды одного варианта. В сухие солнечные дни вагонетки с сосудами нужно выкатывать из вегетационного домика на открытую площадку. Во избежание повреждения растений птицами площадка должна быть ограждена со всех сторон сеткой.

Если задачей опыта предусмотрено внесение удобрений в период вегетации, то их вносят в виде жидкой подкормки с поливной водой.

При появлении болезней и вредителей обработку растений пестицидами проводят одновременно во всех сосудах, включая и те сосуды, в которых повреждения не обнаружены. В течение вегетации за растениями ведутся наблюдения, результаты которых записывают в рабочую тетрадь. Для каждого сосуда в отдельности отмечают даты наступления фаз вегетации и морфологические изменения растений. Параллельно определяют агрохимические показатели и биологическую активность почвы.

*Уборку* производят при полном созревании растений (в зависимости от цели и задач эксперимента можно и в другие фазы вегетации). Если на разных вариантах спелость наступает не одновременно, то уборку проводят по мере созревания растений. Дни уборки и учета урожайности отмечают в журнале. Отставание в созревании возможно при применении высоких доз азотных удобрений на низком фоне фосфорно-калийных, а также при неблагоприятных погодных условиях (низкая температура почвы и воздуха, избыточное увлажнение). Злаковые, зернобобовые, многолетние и однолетние травы срезают на расстоянии 1–2 см от поверхности почвы, подсчитывают и записывают в журнал число продуктивных и непродуктивных растений, стеблей, колосьев (стручков, метелок), измеряют высоту срезаемых растений, длину колосьев (метелок, стручков) линейкой с точностью до 0,1 см. После чего у зерновых отрезают колосья (метелки), у клевера и льна – головки и помещают их в отдельный пакет, а стебли и листья в другой. На пакетах указывают вариант, номер сосуда.

Урожай взвешивают после сушки его в сушильном шкафу или в термостате при температуре 60°C до постоянной массы. После обмолота определяют массу зерна и соломы. Кроме надземной массы путем отмычки корней от почвы в тазах водопроводной водой на ситах с диаметром ячеек 0,5 мм можно определить их массу.

При уборке корнеплодов (или клубнеплодов) учет урожая ботвы и корнеплодов производится отдельно. Растение вместе с корнеплодом извлекается из сосуда, ботва срезается и взвешивается, корнеплод тщательно очищается (при сильном загрязнении обмывается водой и высушивается) от прилипших частиц почвы и тоже взвешивается с точностью 0,1 г.

Уборку огурцов, перцев, томатов, дынь, арбузов проводят по мере созревания, т. е. несколько раз за сезон. Общую урожайность с варианта подсчитывают суммированием урожайности, учтенной в разное время. В растениях могут быть определены показатели качества, содержание питательных веществ, а на основании учета урожая и содержания элементов питания – вынос и коэффициенты их использования из удобрений и почвы. Если в задачу вегетационных опытов входило изучение структуры урожая различных культур, то эту работу выполняют в период уборки.

Во время уборки урожая проводят отбор средних проб почвы для агрохимического анализа. Данные по урожаю оценивают дисперсионным методом, определяют относительную ошибку и достоверность полученных результатов. При больших абсолютных урожаях допускается расхождение между парными сосудами не более чем на 5–20 %; при малых – это расхождение не должно превышать 25 %.

### 2.2.2. Песчаные культуры

*Ты – родник, коль на поиск рубина идешь,  
Ты – любим, коль надеждой свиданья живешь.  
Вникни в суть этих слов – и нехитрых, и мудрых:  
Все, что ищешь, в себе непременно найдешь!*

**Омар Хайям**

*Песчаная культура – разновидность вегетационного опыта, где в качестве субстрата используется чистый кварцевый песок, в котором внесены необходимые элементы питания в известных количествах и соотношениях. Применяют для изучения питания растений, доступности различных форм соединений элементов и установления физиологических особенностей культуры.*

**Э. Хьюитт**

Почва как среда мало пригодна для создания строго контролируемых условий питания растений. Для этих целей лучше подходит песчаная культура – метод выращивания растений в сосудах с чистым кварцевым песком с прибавлением растворов в питательных смесях. Ее широко используют для изучения: 1) действия отдельных элементов питания на обмен веществ, рост и развитие растений; 2) явления аддитивности, антагонизма и синергизма между элементами питания; 3) взаимодействия различных факторов жизни растения и их влияния на поглощение элементов

корнями; 4) взаимодействия корневых выделений растений с труднорастворимыми соединениями элементов минерального питания; 5) влияния концентраций и соотношений элементов питания растений на фотосинтетическую активность и продукционные процессы; 6) затрат элементов питания на биосинтез органического вещества; 7) энергетики усвоения и выноса элементов питания растениями; 8) взаимодействия между корневой системой и питательным раствором; 9) реакции среды на жизнедеятельность растений; 10) биологической азотфиксации; 11) устойчивости растений к вредителям, болезням и неблагоприятным условиям среды.

Усвоение растениями элементов питания из удобрений в почвенной и песчаной культурах существенно различается, что обусловлено различным распределением питательных веществ в почве и песке. В песчаных культурах складываются более благоприятные условия использования растениями питательных веществ: они равномерно распределяются по всему объему сосуда, теснее соприкасаются с корневой системой растений и не вступают в обменные реакции с песком.

Неравномерное распределение удобрений в почве, химическое, биологическое и физико-химическое поглощения затрудняют поступление элементов питания, поэтому коэффициенты использования их растениями из удобрений в песчаной культуре выше, чем в почвенной. Следовательно, основное отличие песчаных культур от почвенных заключается в равномерном распределении элементов питания, слабой абсорбционной способности и незначительной химической активности субстрата. К различиям следует отнести и тот факт, что при постановке опытов с песчаной культурой нет и не может быть чистого варианта без удобрений, ибо в отличие от почвенной культуры растения в нулевом варианте не развиваются и гибнут из-за недостатка элементов питания, не завершив свой жизненный цикл.

Субстратом в песчаной культуре служит мелкий кварцевый или белый речной песок, отмытый от органических и илистых примесей. Он должен обладать хорошими физическими свойствами, позволяющими корням растений расти, как в почве. Для этого песок должен иметь размер частиц от 0,2 до 0,4 мм в диаметре, а также быть свободным от посторонних примесей.

Химический состав кварцевого песка в значительной степени зависит от его месторождения (табл. 6; Кузнецов А.В., 1977). Независимо от происхождения, в песке преобладает оксид кремния. Содержание оксида железа не превышает 1 %, а оксида алюминия 1–5 %. В небольшом количестве присутствуют оксиды калия, кальция, магния и фосфора.

«При изучении питания растений в *искусственной среде* – в *водной* или *песчаной культуре*, – пишет Д.Н. Прянишников (1934), – имеет значение выбор той или другой комбинации минеральных веществ, необходимых для питания растений. Такая комбинация солей, которая содержит в достаточном количестве (и в должном соотношении) необходимые для нормального развития растений элементы, получила название *нормальной питательной смеси*.

Питательные смеси создавались в связи с исследованием вопроса о том, какие элементы необходимы растениям, в виде каких солей и в каких количествах они должны быть даны растению, чтобы обеспечить нормальное его развитие. Но и до настоящего времени вопрос о составе питательных

смесей не потерял своего значения, поскольку при изучении питания растений приходится обращаться к опытам в песчаных или водных культурах».

Несмотря на большое количество существующих питательных смесей для растений, дальнейшая корректировка их и разработка новых весьма актуальны, т. к. в искусственной среде многие параметры легко регулируются, а объем знаний о потребностях растений в питании постоянно расширяется. Как справедливо отмечено З.И. Журбицким (1968), «сейчас уже нельзя ставить задачу создания какого-то «нормального» состава питательной смеси, пригодного для всех культур и для всех условий выращивания, который всегда будет обеспечивать наилучшие результаты».

Таблица 6 – Химический состав кварцевого песка

Вид песка	Содержание, % на прокаленную навеску						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Флювиогляциальный	92,44	4,16	0,17	0,72	0,23	1,52	0,02
Озерно-аллювиальный	94,19	2,88	0,71	0,71	0,19	0,87	0,04
Аллювиальный	96,43	1,67	0,54	0,38	0,24	0,51	0,02

Питательные смеси отличаются одна от другой по следующим показателям.

1. *Набор элементов питания.* Питательная смесь должна включать все необходимые растению элементы в количестве и соотношении, обеспечивающих наиболее полную реализацию потенциальной продуктивности растений. Если какой-либо питательный элемент будет отсутствовать, то ввиду незаменимости одного элемента другим такая питательная смесь не обеспечит нормального развития растений.

2. *Соли, в виде которых применяются элементы питания,* должны быть даны в усвояемой форме. Формы солей, в которых вносятся те или другие элементы, имеют существенное значение, здесь имеет значение устойчивость реакции питательного раствора и состав сопутствующих ионов, также оказывающих влияние на растения. Наибольшее значение имеют формы азота. Применение нитратных или аммонийных форм азота сильно меняет свойства питательного раствора. Из азотнокислых солей растения значительно быстрее усваивают анион NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, чем сопутствующий ему катион Na<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup> и даже K<sup>+</sup>, поэтому питательный раствор быстро подщелачивается. Из солей аммония ион аммония NH<sub>4</sub><sup>+</sup> быстрее усваивается растениями, чем сопутствующие ему анионы Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup> а нередко даже и NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, поэтому раствор подкисляется.

Азот может быть дан в форме HNO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub>, NaNO<sub>3</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и NH<sub>4</sub>Cl. Лучшими из них являются KNO<sub>3</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. Все соли азотной кислоты, кроме NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, во время роста растений подщелачивают реакцию питательного раствора, все соли аммония подкисляют раствор, слабее других в этом отношении действует NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. При выборе солей для приготовления питательных смесей надо учитывать свойства этих солей и отношение к ним выращиваемого растения.

Внесение нитратного азота обычно дает лучшие результаты при значениях рН, обеспечивающих наибольшую скорость поглощения (4,5–5,0). Оптимум рН для аммонийного азота лежит при рН 6,0–6,5. Ценность нитратного питания возрастает также в постоянных культурах, где раствор сменяют лишь периодически. От методов смены раствора (сменяется ли он непрерывно или время от времени) зависит и область оптимальных значений рН. Так, в текучих культурах наиболее выгодно использовать нитратный азот при рН 5–6, в постоянной же культуре эта величина сдвигается в сторону более низких значений (4–5); вместе с тем оптимальные значения рН при использовании в условиях этой же культуры аммонийного азота находятся в пределах 7–8. Давая сравнительную оценку двум основным источникам азота при использовании их для выращивания растений в вегетационном опыте, Э. Хьюитт сводит все имеющиеся по этому вопросу данные к следующим положениям:

- нитратный азот повышает рН; при более низких значениях рН он легче поглощается растениями и лучше влияет на их рост, чем аммонийный азот;

- использование нитратного азота по сравнению с аммонийным требует более высокого содержания железа и молибдена, чем меди и марганца. Аммонийный азот подавляет поглощение кальция;

- аммонийный азот усиливает необходимость аэрации растворов.

На использование того или иного источника азота влияют возраст и вид растения, время года, рН и скорость смены раствора.

Все эти факторы в меньшей степени сказываются на росте растений в тех случаях, когда применяется нитратный азот.

Относительные урожаи и оптимальная величина рН для нитратного и аммонийного источника зависят от времени года, главным образом от изменения длительности и интенсивности освещения – факторов, которые влияют на накопление и сохранение этих источников азота. При рН 6,0 нитратный азот по своему действию превосходит аммонийный в период с октября по май; противоположная картина имеет место в июне. Аммонийные соединения не рекомендуется использовать при низкой интенсивности света.

Использование того или иного источника азота в вегетационном опыте значительно влияет на отзывчивость растений к микроэлементам и поглощение макроэлементов. В условиях аммонийного питания может быть подавлено усвоение Са, Mg и К. Особенно четко выражены различия во влиянии аммонийных и нитратных форм азота на использование растениями железа. Из литературы известны многочисленные примеры благоприятного влияния аммонийного азота на поглощение растениями этого элемента. Очевидно, подобное действие аммония связано прежде всего с отсутствием в этих условиях хлороза. При использовании этого источника азота значительно возрастает эффективность использования растениями железа.

Соединения фосфора, используемые для составления питательных растворов, отличаются по сопутствующим катионам и по растворимости. Фосфор можно применять в виде солей ортофосфорной кислоты с  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и в виде свободной  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , каждая из этих солей может быть одно-, двух- или трехзамещенной. Однозамещенные соли имеют кислую ре-

акцию, двух- и трехзамещенные – сильнощелочную реакцию. Как правило, используются растворимые однозамещенные соли  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ . При применении двухзамещенных солей К и Na фосфорной кислоты раствор сразу становится сильнощелочным, неблагоприятным для роста растений. Двухзамещенный фосфат кальция слабо растворим.

В питательной смеси Прянишникова взято сочетание слабощелочной соли  $\text{CaHPO}_4$  и слабо физиологически кислой соли  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Эта пара солей довольно устойчиво поддерживает слабокислую реакцию среды в пределах рН 6,5–5,8, но она применима только для песчаных культур, где может быть обеспечен непосредственный местный контакт корня растения с преципитатом и азотнокислым аммонием. В момент поглощения корнем  $\text{NH}_4^+$  освобождается  $\text{NO}_3^-$ , который облегчает растворение преципитата, переводя его в однозамещенную соль кальция. В водных культурах осадок преципитата не растворяется теми небольшими количествами  $\text{HNO}_3$ , которые образуются при поглощении иона  $\text{NH}_4$  растениями из аммиачной селитры, т. к. в этих условиях на преципитат действует крайне низкая концентрация  $\text{HNO}_3$ . Иногда в питательных смесях для песчаных культур используются трехзамещенные фосфаты кальция и магния, очень трудно усваиваемые растениями. Их используют обычно для предохранения питательного раствора от подкисления.

Из калийных солей чаще используются КСI или  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Вторая соль предпочтительнее, т. к. при этом обеспечивается одновременно питание растений серой и не вводится ион СI, оказывающий неблагоприятное воздействие на многие растения. В исключительных случаях, когда это вытекает из задач исследования, применяют бикарбонат калия –  $\text{KHCO}_3$ , сильно подщелачивающий реакцию питательного раствора.

Кальций, если он не внесен в форме нитратов, обычно добавляется в виде гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , внесения  $\text{CaCl}_2$  обычно избегают. Одни фосфаты кальция и даже применение нитрата кальция обычно не обеспечивают хорошего соотношений между двухвалентными и одновалентными катионами в растворе.

Магний вносят в виде  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ . Серу в виде определенных солей обычно не вносят, т. к. она вносится вместе с солями калия, натрия, кальция, магния, железа. Нельзя вводить в питательную смесь сернистые соединения в качестве источника серы. Однако при составлении питательной смеси необходимо обращать внимание на обеспеченность растений данным элементом.

В водных и песчаных культурах растение может получать железо в виде различных соединений. Этот элемент вносят как в виде нерастворимых соединений –  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{FePO}_4$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , так и более или менее растворимых солей –  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . Общий недостаток почти всех перечисленных соединений железа – их легкая гидролизуемость, вследствие чего растение слабо использует выпавшее в осадок железо. Частично лишены этого недостатка  $\text{FePO}_4$  и  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ . Благодаря относительно низкой растворимости этих солей возникает большой, устойчивый, доступный для растений резерв элемента.

В последние годы в вегетационных и полевых опытах стали применять железо в сочетании с полиаминокарбоновыми кислотами. Сейчас

наибольшее распространение получили комплексные соединения железа с этилендиаминтетрауксусной кислотой (ЭДТА) или ее производными. Эти соединения обладают рядом преимуществ перед неорганическими солями: они хорошо растворимы, легко усваиваются растениями, устойчивы к гидролизу и не осаждаются под влиянием почвенных коллоидов; многие из них служат хорошими источниками доступного железа в широком интервале рН.

Для получения Fe·ЭДТА 26,1 мг этилендиаминтетрауксусной кислоты растворяют в 268 мл 1 н КОН, постепенно приливая раствор до полного растворения. К раствору добавляют 24,9 г  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и доводят водой до 1 л. Раствор в стакане продувают воздухом в течение ночи. Полученный раствор Fe·ЭДТА содержит 5 мг железа на 1 л смеси.

Обычно в питательный раствор вносят какую-либо неорганическую соль железа, например,  $\text{FeCl}_3$  и двунариевую соль ЭДТА. Эти два соединения, реагируя друг с другом, образуют хелатный комплекс, содержащий железо и хелатный агент в экв.молярных количествах. Часто желаемый эффект может быть получен, если молярное отношение между количеством вносимых в раствор комплексона и железа меньше единицы, например, равно 0,75; 0,5 и даже 0,25. Это отношение обычно подбирают экспериментально в зависимости от вида опытного растения, условий и задачи эксперимента. В тех случаях, когда отношение выше единицы, у растений могут появиться признаки недостаточности. В этом случае хелатный агент будет препятствовать поступлению железа в корни растений.

Микроэлементы в питательных растворах чаще всего используют в виде соответствующих солей – сульфатов, хлоридов, нитратов в дозах: 0,1–1,0 мг Mn и B; 0,01–0,1 мг Cu, Co и Mo; 0,02–0,2 мг Zn на 1 кг песка или 1 л раствора.

Дозу питательных элементов и концентрацию раствора выражают в мг/л или мг-экв./л, что позволяет вычислить соотношение элементов питания в растворе в виде N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O.

Растворы солей, содержащих кристаллизационную воду, например  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и другие, готовят по удельной плотности. Сначала готовят раствор немного более высокой концентрации, а затем с помощью ареометра по плотности готовят раствор необходимой концентрации, разбавляя его водой. При отсутствии ареометра плотность раствора определяют весовым методом путем взвешивания массы известного объема раствора в мерном цилиндре (например, если масса 500 см<sup>3</sup> раствора равна 625 г, то его плотность составит 1,25 г/см<sup>3</sup>). Растворы солей с непостоянным составом кристаллизационной воды готовят из расчета на безводные соли 4–6 %-ной концентрации, а растворы  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , KCl и другие – 1–3 %-ной концентрации. Растворы солей предварительно готовят более высокой концентрации, а затем перед внесением разбавляют и вносят в каждый сосуд по объему от 5 до 100 см<sup>3</sup> пипеткой или мерным цилиндром. Более удобно пользоваться растворами с известной концентрацией элемента питания, выраженной в г/л или мг/см<sup>3</sup> (например, 20 мг/см<sup>3</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Малорастворимые соли ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  и др.) вносят в виде навесок, рассчитанных на каждый сосуд. Необходимо также учитывать, что объем растворов всех солей, которые надо внести в

сосуд, должен быть меньше количества воды, необходимой для внесения в сосуд при доведении влажности песка до оптимальной.

3. *Реакция питательного раствора (pH)*. Реакция среды должна быть оптимальной или близкой к оптимальной в течение всего периода вегетации растений. Диапазон оптимальных для роста значений pH у различных видов растений неодинаков (табл. 7).

Таблица 7 – Отношение различных растений к pH среды

Растения	Интервал pH, благоприятный для роста*	Растения	Интервал pH, благоприятный для роста
<b>Зерновые</b>		Конопля	7,1–7,4
Овес	5,0–7,7	Хлопчатник	6,5–7,3
Рожь	5,5–7,5	Лен	5,9–6,5
Пшеница яровая	6,0–7,5	Подсолнечник	6,0–6,8
Пшеница озимая	6,3–7,6	Табак	5,0–5,7
Ячмень	6,8–7,5	Мак	6,8–7,5
Кукуруза	6,0–7,0	Чай	4,5–6,0
Рис	6,5–6,8	<b>Травы</b>	
<b>Зернобобовые</b>		Люцерна	7,0–8,0
Горох	6,0–7,0	Клевер	6,0–7,0
Фасоль	6,4–7,1	Люпин	4,5–6,0
Соя	6,5–7,1	<b>Овощные</b>	
<b>Крупяные</b>		Капуста	6,7–7,4
Просо	5,5–7,5	Свекла столовая	6,8–7,5
Гречиха	4,7–7,5	Томаты	6,3–6,7
<b>Корне- и клубне-плоды</b>		Редис, репа	5,5 и более
Кормовая свекла	6,2–7,5	Морковь	5,5–7,0
Картофель	5,0–5,5	Огурцы	6,0–7,9
Турнепс, брюква	6,0–6,5	Салат	6,0–7,0
<b>Технические</b>		Лук	6,4–7,5
Сахарная свекла	7,0–7,5		
Горчица	7,0		

\* Интервал оптимальной реакции зависит от: буферной способности почв, содержания в них кальция, форм азота

Исходная реакция питательного раствора определяется соотношением сильных и слабых кислот и оснований в солях, входящих в состав питательных смесей. Так, исходная реакция смеси Гельригеля равна pH 3,6 вследствие того, что в смесь входят кислая одноосновная соль калия ортофосфорной кислоты ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), дающая  $\text{pH} < 4,9$ , и хлорное железо ( $\text{FeCl}$ ), также подкисляющее питательный раствор, поскольку в его состав входят сильная кислота и слабое основание. Исходное pH смеси Прянишникова равно 6,5, что в основном обуславливается применением двуосновной соли кальция ортофосфорной кислоты  $\text{CaHPO}_4$ .

Большинство питательных растворов, используемых в вегетационном методе, имеет pH 4,5–6,0. При этих значениях обычно наблюдается нормальный рост многих растений. Лишь при pH 4,0 и ниже отмечается повреждение

корней, ослабление роста и поглощения основных элементов питания. Верхний предел рН, по достижении которого появляются признаки угнетения у большинства растений, близок к 9,0. В этих условиях резко снижается доступность фосфора, кальция, железа и ряда микроэлементов, например марганца, вследствие перехода элементов в труднорастворимые соединения.

При выращивании растений на питательных смесях их реакция постепенно изменяется вследствие неодинакового поглощения растениями катионов и анионов солей и выделения углекислоты при дыхании корневых систем. Подобранные химически нейтральные соли в процессе питания могут становиться физиологически кислыми или физиологически щелочными. Подкисление раствора, особенно в песчаных культурах, может происходить в результате нитрификации аммонийных форм азотных удобрений, под воздействием различных микроорганизмов, в том числе аммонификаторов и нитрификаторов. Заметно влияют на оптимальные значения рН среды содержание в ней кальция, источники железа и форма соединений азота. Реакция среды в значительной степени зависит от наличия и соотношения нитратной и аммонийной формы азота.

В растворах, содержащих одну какую-либо форму азота, очень трудно поддерживать величину рН, близкую к постоянной. В нитратном типе раствора реакция среды обычно сдвигается в щелочную сторону. При использовании аммонийных соединений рН среды иногда снижается до 3–2,8, что отрицательно влияет на растения. Действие аммонийной формы азота можно устранить, используя для выращивания растений текучие культуры. Было показано, что в водной культуре при большой скорости смены раствора величина рН в смеси аммонийного типа изменяется незначительно.

Различное влияние аммонийного и нитратного азота на рН среды было использовано для создания питательных смесей с заданной реакцией среды. В смесях Цинцадзе постоянные значения рН были получены путем регулирования относительных количеств аммонийного и нитратного азота, вносимых на фоне фосфатов кальция и железа. Того же эффекта можно достигнуть, регулируя отношение  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .

При составлении питательных смесей для поддержания реакции среды, близкой к оптимальной, основное значение имеет подбор солей. Так, исходная реакция (рН) питательного раствора Д.Н. Прянишникова равна 6,5 благодаря присутствию  $\text{CaHPO}_4$ , а Кнопа и Гельригеля достигает 7 благодаря совместному использованию  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Необходимая величина рН может быть достигнута также добавлением необходимых количеств серной кислоты или натриевой щелочи. Хорошие результаты дает и включение в питательную смесь различных фосфатов. Признавая тот факт, что в поступлении и усвоении элементов питания реакция среды играет важную роль, следует отметить, что оптимальные границы рН для отдельных культур довольно условны. Установлено, что азот нитратов некоторыми растениями лучше усваивается в кислой среде, а аммония – в щелочной.

*4. Концентрация питательного раствора.* Концентрация солей в растворе очень сильно влияет на интенсивность поглощения элементов питания растениями. С повышением концентрации солей до известных пределов усиливается поступление всех элементов питания, но при этом

затрудняется усвоение воды, одновременно изменяются и антагонистические и синергические взаимодействия между элементами. Концентрация солей в растворе может быть выражена различными способами: в граммах элемента на литр, в граммах солей на литр, в миллимолях солей на литр и в миллиграмм-экв.ивалентах солей на 1 литр.

Однако, как установил З.И. Журбицкий (1968), выражение концентраций в граммах элемента или в граммах солей на 1 л не дает правильного представления об осмотическом давлении растворов, потому что в зависимости от молекулярных масс разных солей при одной и той же концентрации, выраженной в граммах, получаются разные концентрации при выражении ее в миллимолях. С другой стороны, он подчеркивает некоторые преимущества растворов, в которых концентрация выражена в миллиграмм-экв.ивалентах, т. к. это дает более полное представление о количестве взаимодействующих ионов в растворе, что важно знать при изучении соотношений между элементами. Кроме того, облегчаются расчеты по составлению питательных смесей.

Наименьшей концентрацией солей, около 2 мг-экв./л, характеризуются питательные смеси Прянишникова и Гельригеля, самой высокой концентрацией – Тоттингема и Шайва, около 100 м-экв./л. Эти концентрации рассчитаны на 1 л раствора, а в песчаных культурах – на 1 кг песка, вследствие этого, концентрация солей в питательном растворе в песчаных культурах оказывается всегда значительно выше. При постановке опытов в песчаных культурах перед набивкой сосудов песок увлажняют до 60 % от полной влагоемкости. Полная влагоемкость песка, используемого в вегетационных опытах, обычно равняется 25 %, следовательно на каждый кг песка необходимо добавить 150 мл воды, в которой растворяется всё количество солей, рекомендованных на 1 кг песка. То есть концентрация питательного раствора в песчаных культурах будет в шесть с лишним раз больше, чем в водных культурах. В связи с этим в песчаных культурах сильно повышается осмотическое давление и заметно снижается транспирационный коэффициент. По данным Ш.Р. Цинцадзе (1928), начальное осмотическое давление в различных питательных смесях было следующим (табл. 8).

Таблица 8 – Начальное осмотическое давление в питательных смесях, атм.

Смесь	В водных культурах	В песчаных культурах
Гельригеля	0,470	2,935
Прянишникова	0,372	2,611
Кроне	0,602	4,716
Цинцадзе	0,962	5,967

При сравнении роста и развития растений в водных и песчаных культурах установлено, что при любых концентрациях растения лучше развиваются в водных культурах благодаря более тесному контакту корневой системы с элементами питания и водой (табл. 9; Журбицкий З.И., 1968).

Таким образом, при постановке опытов в песчаных и водных культурах необходимо учитывать специфические особенности данных методов выращивания растений, т. к. общепринятый прием расчета питатель-

ных смесей на 1 л воды в водных культурах или на 1 кг песка в песчаных культурах не обеспечивает одинаковой интенсивности питания растений (в песчаных культурах питание зависит от скорости роста корневой системы и от скорости диффузии солей в растворах).

Таблица 9 – Усвоение растениями огурца питательных элементов в песчаных и водных культурах

Культура	Концентрация питательного раствора, ммоль/л	Поглощено растениями, мг		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Песчаная	3,0	6,9	1,7	4,1
Водная	3,4	84,0	25,1	61,2
Песчаная	7,7	22,4	5,4	12,6
Водная	6,9	114,2	31,0	115,1
Песчаная	15,3	59,7	15,5	43,5
Водная	14,9	117,1	31,6	126,3

5. *Соотношение элементов питания.* Каждая культура имеет свойственное ей соотношение элементов питания, изменяющееся во время роста в связи с новообразованием и ростом органов растений в процессе его развития. Вследствие этого необходимо дифференцировать состав питательных смесей не только для каждой определенной культуры, но и для отдельных фаз развития растения. Нормальное функционирование растительного организма осуществляется при строго определенном соотношении элементов минерального питания во внешней среде, раствор должен быть уравновешенным в отношении одно- и двухвалентных катионов, главным образом между K и Ca; K и Mg или K и суммой Ca и Mg.

Подбирая состав питательного раствора, учитывая соотношение элементов питания применительно к фазам вегетации, можно ускорять рост и развитие растений и повышать урожайность (табл. 10; Журбицкий З.И., 1968).

Исследования З.И. Журбицкого (1968) показали, что растения томата по мере роста и развития больше потребляют фосфора и калия и меньше азота, а следовательно, усиленное питание их фосфором и калием обеспечивает получение высоких и ранних урожаев. Однако такое соотношение нельзя перенести на другие овощные культуры, т. к. для каждого вида растений оно сугубо индивидуально, различается даже в зависимости от сорта.

Таблица 10 – Влияние соотношения N:P:K при питании рассады помидора на урожай плодов в песчаной культуре

Соотношение	Количество растений с цветущей кистью при посадке, %	Урожай плодов, г/растение		
		ранних	красных	общая
Нормальное (1: 1: 1)	50	441	1417	1540
Усиленное фосфорно-калийное (1 : 2 : 2)	90	634	1548	1642
Усиленное азотное (2:1:1)	70	401	1410	1525

6. *Баланс элементов питания.* Создание сбалансированных растворов – необходимое условие составления питательных смесей. Понятие «баланс элементов питания» допускает определенный диапазон доз и оказывает на их определенное влияние, связанное с изменением содержания каждого отдельного элемента в растворе. Это свидетельствует о большом значении состава питательного раствора. Отсюда же возникает необходимость различать общее количество элемента питания и его концентрацию. Считается, что оптимальный питательный раствор должен обеспечить наибольший урожай при наименьшей концентрации, повышение которой не дает никакого дальнейшего улучшения. Важно обеспечить растение всеми необходимыми и незаменимыми элементами питания в концентрациях столь низких, чтобы они соответствовали скорости поглощения с учетом емкости сосудов, частоты смены растворов, стабильности pH и легкости диффузии в зоне корней.

Уравновешенным растворам свойственны определенные закономерности, характеризующие отношение концентраций катионов. Они могут быть установлены лишь после того, как будут учтены все возможные взаимодействия между компонентами смеси: аддитивность, синергизм и антагонизм.

Величину отношения концентрации катионов в уравновешенных растворах в первую очередь определяет их валентность. С увеличением валентности относительная концентрация данного катиона в таких растворах снижается. В то же время величина отношения концентраций катионов в уравновешенных растворах зависит от специфических особенностей. Известно, что способность уравновешивать токсическое действие возрастает значительно быстрее, чем валентность катиона. Например, валентность иона  $\text{Ca}^{2+}$  всего в 2 раза больше валентности иона  $\text{Na}^+$ , однако в антагонистических взаимодействиях ион  $\text{Ca}^{2+}$  оказывается в 100 раз более сильным. Принято считать, что солевые растворы для выращивания растений сбалансированы, если отношение концентраций одновалентных катионов к двухвалентным приблизительно равно 10:1. Необходимо заметить, что не существует какого-либо общего правила в отношении как оптимальных, так и пороговых доз любых питательных элементов. Полный перечень питательных смесей привести невозможно из-за их обилия и непрерывного появления новых. Главные отличия между типами питательных смесей состоят в выборе источника азота или фосфора, которые образуют сопряженную пару, компоненты которой должны уравновешивать друг друга по влиянию на реакцию раствора. Наибольшее влияние на изменение pH оказывают соединения азота, т. к. азот потребляется растением в большем количестве, чем другие компоненты питательной среды. Различают три типа смесей с различными сопряженными парами: 1)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 2)  $\text{KNO}_3$  и  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ; 3)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и  $\text{CaHPO}_4$  или  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

*Первый тип* питательных смесей характеризуется тем, что химически кислой соли  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  противопоставляется физиологически щелочная соль  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . При выращивании растений на этих питательных смесях, как правило, pH смещается в щелочную сторону. Используются легкорастворимые соли. К этому типу принадлежат большинство питательных смесей, используемых в агрохимии и физиологии растений. Примером являются питательные смеси Гельригеля, Кнопа, Хоглэнда.

*Второй тип* питательных смесей содержит азот в форме  $\text{KNO}_3$  – слабо физиологически щелочной соли. Источник фосфора – труднорастворимая соль  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ , способная к гидролитическому расщеплению. При этом образуется гидроксид железа – слабое основание и  $\text{H}_3\text{PO}_4$  – сильная кислота. Поэтому уменьшается подщелачивание раствора, вызванное физиологической щелочностью нитрата калия. Примером питательной смеси рассматриваемого типа является среда Кроне. Характерная особенность данной смеси – наличие труднорастворимых соединений  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  и  $\text{CaSO}_4$ . В осадке находятся соли, в растворе – ионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{PO}_4$  в очень низкой концентрации. По мере поглощения растением этих ионов в раствор из осадка постепенно переходят новые порции элементов питания. Таким образом, концентрация их в растворе удерживается на довольно низком, но постоянном уровне. В некоторой степени эта смесь имитирует условия питания растений в почве, т. к. в почвенном растворе многие питательные вещества находятся в очень низкой концентрации и так же по мере поглощения их корнями пополняются за счет растворения труднорастворимых соединений.

*Третий тип* питательных смесей разработан Д.Н. Прянишниковым и его учениками. В основе их лежит смесь Гельригеля, в которой азот представлен солью  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , фосфор –  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . При составлении этих питательных смесей учитывались следующие свойства компонентов: 1) буферность фосфата кальция; 2) гидролитическая кислотность  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ; 3) физиологическая кислотность  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и физиологическая щелочность  $\text{KNO}_3$ . Следовательно, для смесей данного типа характерно присутствие как легкорастворимых, так и труднорастворимых соединений. Примером питательной среды данного типа являются смеси Прянишникова и Цинцадзе.

Приводим наиболее распространенные универсальные питательные среды для выращивания высших растений:

*Среда Гельригеля:* 0,492 г/кг песка  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  безводный или 0,708 –  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 0,025 –  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 0,075 –  $\text{KCl}$ ; 0,136 –  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 0,06 –  $\text{MgSO}_4$  безводный или 0,123 г/кг песка  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

*Среда Гильтнера:* 0,0368 г/л (г/кг песка)  $\text{KNO}_3$ ; 0,0512 –  $\text{NaNO}_3$ ; 0,25 –  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ; 0,25 –  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 0,064 –  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; 0,25 –  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0,25 г/л (г/кг песка)  $\text{KCl}$ ; 3 капли 5 %-ный раствор  $\text{FeCl}_3$ .

*Среда Кюна:* 1,00 г/л  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  безводный или 1,44 –  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 0,25 –  $\text{KNO}_3$ ; 0,12 –  $\text{KCl}$ ; 0,25 –  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 0,25 –  $\text{MgSO}_4$  безводный или 0,51 г/л  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 1 капля 5 %-ый раствор  $\text{FeCl}_3$ .

*Среда Кроне:* 0,25 г/кг песка  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ; 0,25 –  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 1,00 –  $\text{KNO}_3$ ; 0,50 –  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 0,50 г/кг песка  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

*Среда Коссовича:* 0,085 г/кг песка  $\text{NaNO}_3$ ; 0,0383 –  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 0,02 –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 0,02 –  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0,02 г/кг песка  $\text{KCl}$ .

*Среда Митчерлиха:* 0,80 г/кг песка  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  безводный или 1,15 –  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 0,30 –  $\text{KNO}_3$ ; 0,08 –  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 0,20 –  $\text{NaCl}$ ; 0,17 –  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 0,20 г/кг песка  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

*Среда Прянишникова:* 0,240 г/кг песка  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 0,172 –  $\text{CaHPO}_4$ ; 0,025 –  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 0,344 –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 0,06 –  $\text{MgSO}_4$  безводный или 0,123 –  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0,160 г/кг песка  $\text{KCl}$ .

*Среда Пфеффера:* 1,33 г/кг песка  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  безводный или 1,92 –  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 0,33 –  $\text{KNO}_3$ ; 0,16 –  $\text{KCl}$ ; 0,33 –  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0,33 г/кг песка  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 1 капля 5 %-ый раствор  $\text{FeCl}_3$ .

*Среда Ольсена:* 149 мг/л  $\text{KNO}_3$ ; 168 –  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; 23 –  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 101 –  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0,4 –  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 0,4 –  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 0,2 –  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0,1 –  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 0,05 мг/л  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ ; 5 капель 1 %-ый раствор лимонно-кислого железа.

*Среда Гейслера:* 160 мг/л  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 1000 –  $\text{KNO}_3$ ; 750 –  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 2\text{CaSO}_4$ ; 500 –  $\text{MgSO}_4$  безводный; 15 –  $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Fe}$ ; 2 –  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 1 –  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 1 –  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 3,3 –  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 0,05 мг/л  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ .

*Среда Цинцадзе:* 0,334 г/л  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 0,166 –  $\text{KNO}_3$ ; 0,614 –  $\text{KCl}$ ; 0,70 –  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ; 0,25 –  $\text{MgSO}_4$  безводный; 0,25 –  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ; 0,50 г/л  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

*Среда Чурикова:* 1,000 г/кг песка  $\text{KNO}_3$ ; 0,464 –  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ; 0,310 –  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ; 0,500 –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 0,500 г/кг песка  $\text{MgSO}_4$  безводный.

Питательные среды для выращивания отдельных культур:

*Среда Белоусова (сахарная свекла):* 1,11 г/кг песка  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; 0,36 –  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 0,43 –  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ; 0,10 –  $\text{NaCl}$ ; 0,054 –  $\text{MgSO}_4$ ; 0,01 –  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 0,005 –  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 0,005 г/кг песка  $\text{MnSO}_4$ .

*Среда Ягодина (гречиха):* 343 мг/л (мг/кг песка)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 263 –  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 166 –  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; 40  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ; 716 –  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 2,86 –  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 0,197 –  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 0,44 –  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 2,63 –  $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 0,095 –  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0,077 –  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 500,5 –  $\text{CaCO}_3$ ; 55,5 мг/л (мг/кг песка)  $\text{CaCO}_3$  (дополнительно, через 20 дней).

*Среда Прянишникова в модификации Шеуджена (рис):* 0,48 г/кг песка  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 0,344 –  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 0,50 –  $\text{KCl}$ ; 0,37 –  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0,688 –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 0,775 г/кг песка  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 14,52 мг/кг песка  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 10,12 –  $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 7,65 –  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 2,26 –  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 6,34 –  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 0,204 –  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0,120 мг/кг песка  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

*Среда Цинцадзе в модификации Шеуджена (рис):* 334 мг/л  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 166 –  $\text{KNO}_3$ ; 614 –  $\text{KCl}$ ; 700 –  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ; 250 –  $\text{MgSO}_4$  безводный; 250 –  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ; 500 –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 0,120 –  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 0,204 –  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 6,340 –  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 2,260 –  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 7,65 –  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 10,125 –  $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 20,238 –  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ; 0,500 –  $\text{LiCl}$ ; 0,100 –  $\text{H}_2\text{SeO}_4$ ; 0,150 –  $\text{VCl}_3$ ; 0,510 мг/л  $\text{KI}$ .

*Среда Кнопа в модификации Треймана (пшеница):* 2,04 г/л (г/кг песка)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 0,431 –  $\text{KNO}_3$ ; 0,25 –  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 0,12 –  $\text{KCl}$ ; 0,51 –  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 19,36 мг/л (мг/кг песка)  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 26,3 –  $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 13,2 –  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 1,96 –  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 8,58 –  $\text{H}_3\text{PO}_3$ ; 0,126 –  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 0,238 мг/л (мг/кг песка)  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

*Среда Хоглэнда в модификации Треймана (пшеница):* 1,38 г/л (г/кг песка)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 0,78 –  $\text{KNO}_3$ ; 0,23 –  $\text{NH}_4(\text{H}_2\text{PO}_4)$ ; 0,51 г/л (г/кг песка)  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 19,36 мг/л (мг/кг песка)  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 26,3 –  $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 13,2 –  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 1,96 –  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 8,58 –  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; 0,126 –  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 0,238 –  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

*Среда Прянишникова в модификации Треймана (пшеница):* 0,480 г/кг песка  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 0,344 –  $\text{CaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 0,570 –  $\text{KCl}$ ; 0,49 –

MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 0,688 – CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O; 1,11 – Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O; 14,52 мг/кг песка FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O; 8,78 – MnSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O; 6,60 – ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 1,180 – CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O; 8,580 – H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; 0,075 – Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O; 0,143 мг/кг песка CoSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O.

Растворы микроэлементов для универсальных питательных смесей:

*Раствор Браунора–Букача:* 350 мг/л MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O; 500 – H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; 50 – ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 50 – CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O; 50 – Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18H<sub>2</sub>O; 50 – NiSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 50 – Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; 50 – TiO<sub>2</sub>; 25 – LiCl; 25 – KBr; 25 – KJ; 25 мг/л SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O. Добавляют по 1 мл этого раствора к каждому литру питательного раствора.

*Среда Прянишникова в модификации Посыпанова:* 0,24 г/кг песка NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, 0,16 – KCl, 0,06 – MgSO<sub>4</sub>, (0,123 – MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O), 0,025 – FeCl<sub>3</sub>, 0,172 – CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 0,344 – CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O; 0,5 мг/кг Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O, 0,25–0,50 – MnSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 0,1 – CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 0,1 – ZnSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 0,2 – (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Mo<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O мг/кг (0,5 мг/кг Na·MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O).

*Среда Хоглэнда-Арнона:* 0,82 г/кг песка Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> безводный, 0,506 – KNO<sub>3</sub>, 0,136 – KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,241 – MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 0,5 мг/кг Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O, 0,25–0,50 – MnSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 0,1 – CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 0,1 – ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 0,2 – (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Mo<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O (0,5 – Na·MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)

*Раствор Бергло в модификации Готре:* 50 г/л Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>; 2,0 – MnSO<sub>4</sub>; 0,5 – KCl; 50 – NiCl<sub>2</sub>; 50 – CoCl<sub>2</sub>; 200 – TiSO<sub>4</sub>; 100 – ZnSO<sub>4</sub>; 50 – CuSO<sub>4</sub>; 100 – BeSO<sub>4</sub>; 50 – H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; 50 г/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. К питательному раствору добавляют одну каплю этого раствора.

*Раствор Хоглэнда и Снайдера (Раствор А-Z):* готовятся два раствора А и В смесей микроэлементов. На 1 л питательного раствора вносится по 1 мл каждого из этих растворов. Для приготовления раствора А на 18 л берутся следующие количества солей: 1,0 г Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>; 0,5 – KJ; 0,5 – KBr; 1,0 – TiO<sub>2</sub>; 0,5 – SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O; 0,5 – LiCl<sub>2</sub>; 7,0 – MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O; 11,0 – H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; 1,0 – ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 1,0 – CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O; 1,0 NiSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O; 1,0 г Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O. При приготовлении раствора В на 18 л вносят: 0,1 г As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,5 – BaCl<sub>2</sub>; 1,0 – CdCl<sub>2</sub>; 0,1 – Bi(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; 0,1 – Rb<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 0,5 – K<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; 0,5 – SrSO<sub>4</sub>; 0,1 – VCl<sub>3</sub>; 0,1 – KF; 0,1 – PbCl; 0,1 – HgCl<sub>2</sub>; 0,425 – MoO<sub>2</sub>; 0,1 г H<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub>.

Анализ состава смесей свидетельствует о широком диапазоне концентраций отдельных питательных элементов в различных смесях. Нормальные концентрации основных макроэлементов составляют 2–8 мг-экв. для K<sup>+</sup>, 6–10 мг-экв. для Ca<sup>2+</sup>, 1–4 мг-экв. для Mg<sup>2+</sup>, 5–15 мг-экв. для NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 0–3 мг-экв. для NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 2–4 мг-экв. для PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> и 1–4 мг-экв. для SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> на литр. Эти величины изменяются в зависимости от вида и возраста растений, а также некоторых сопутствующих опыту условий: например, от скорости и частоты смены раствора, аэрации, интенсивности освещения, концентрации других ионов.

В тех случаях, когда для постановки вегетационного опыта нет необходимости использовать особо очищенные соли, можно давать лишь основные микроэлементы в следующих концентрациях (в расчете на элемент): Fe – 3 мг/л, Cu – 0,05 мг/л, В – 0,5 мг/л, Mn – 0,5 мг/л, Мо – 0,1 мг/л, Zn – 0,1 мг/л.

Амплитуда осмотического давления в современных питательных растворах лежит в границах ~0,4·10<sup>5</sup>–1,0·10<sup>5</sup> Н/м<sup>2</sup> (0,4–1,0 атм). Верхний предел более приемлем в опытах с периодическим внесением солей и сравнительно ограниченным объемом сосудов, а нижний предел более пригоден для культур с текучими растворами. Установлено, что осмоти-

ческое давление питательного раствора не должно превышать  $\sim 1,0 \cdot 10^5 - 1,5 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup> (1,0–1,5 атм).

*Техника проведения опытов в песчаных культурах.* Для проведения опытов в песчаных культурах необходимы следующие материалы и оборудование: кварцевый песок, химически чистые соли, теххимические и аналитические весы, вегетационные сосуды, битое стекло или гравий диаметром 3–4 см для дренажа, стеклянные трубочки, марля, эмалированные тазы, семена, противни и термостат для проращивания семян, мерные цилиндры, пипетки, пинцеты, каркасы (металлической конструкции или деревянные палочки), пакеты для учета урожая и отбора растительных образцов. Техника закладки опыта с песчаной культурой мало чем отличается от почвенной.

*Выбор и подготовка сосудов.* Для постановки опытов в песчаных культурах используют сосуды, изготовленные из стекла, синтетических материалов, оцинкованной жести. Удобнее проводить опыты в сосудах Вагнера, не имеющих отверстий в дне. Так как песок обладает невысокой капиллярностью и вода в нем высоко не поднимается, сосуды для песчаных культур не должны быть высокими. Размеры сосудов указаны в разделе «Почвенные культуры». Для большинства зерновых, зернобобовых, многолетних трав, корнеплодов оптимальными размерами считают 15×20 см, 20×20, 25×25, 25×30 см (табл. 1).

При подборе серии сосудов для той или иной схемы песчаных культур необходимо стремиться, чтобы они были примерно одинаковой вместимости и массы. В одну группу включают сосуды, диаметр которых различается в пределах 0,5–1 см, чтобы объем сосудов по возможности был одинаков. Если используют стеклянные сосуды, то их отбирают и по толщине стекла, чтобы масса сосудов различалась не более чем на 100–150 г, допустимое различие массы пластмассовых сосудов – 50–100 г. Отобранные сосуды, дренаж, стеклянные трубки для полива тщательно моют, высушивают.

Вместимость сосудов следует определять по количеству вмещающейся в них воды. Допускается 1–2 % расхождения между крайними величинами той или иной серии сосудов как по их объему, так и по массе. Если стеклянные сосуды не были предварительно окрашены сначала черной, а затем белой масляной краской, их или обертывают картоном, плотной бумагой, скрепляя тщательно скрепками, или надевают чехлы из двойной материи – черного колленкора внутри и белой бязи снаружи, чтобы песок в сосудах с боков и корневая система были защищены от света. После этого сосуды тарируют с помощью битого стекла или гравия, которые одновременно являются дренажным материалом, с точностью до 1 г. Для этого в наиболее тяжелый сосуд из отобранных для данного опыта помещают 200–300 г битого стекла или гравия. После этого сосуды доводят до одной массы добавлением кусочков стекла. Дренажное стекло сдвигают к стенке горкой, так чтобы оно занимало не более 2/3 площади дна сосуда. Нельзя допускать, чтобы гравий или стекло размещались равномерно по дну всего сосуда, т. к. в таком состоянии вода не будет подаваться по капиллярам песка. Дренаж накрывают кружком марли и колпачком. Сверху в колпачок для полива сосудов вставляют стеклянную трубку диаметром 1,0–2,0 см и высотой на 2–3 см выше края сосуда. Масса трубки входит в общую массу сосуда.

После установки трубки в горку дренажа марлю расправляют так, чтобы она закрывала дренажное стекло и часть свободного дна сосуда (рис. 3; Шестаков А.Г., 1954).

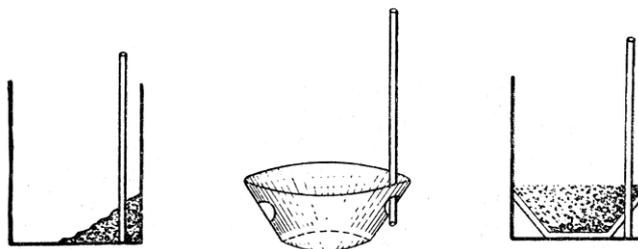


Рис. 3. Дренаж в вегетационных сосудах

*Подготовка песка.* Субстратом в песчаной культуре служит кварцевый песок с диаметром частиц 0,2-0,4 мм, полная влагоемкость которого составляет примерно 25 %. Песок просеивают через сита с диаметром ячеек 0,5 мм и затем в большинстве случаев промывают вначале водопроводной, а затем дистиллированной водой, просушивают и используют для набивки сосудов. В других условиях, когда задачи опыта требуют особой чистоты песка, просеянный песок вначале обрабатывают кислотой, а затем отмывают от кислоты водой и просушивают. В стеклянные сосуды наливают концентрированную HCl (плотность 1,19) и в неё высыпают песок, не наоборот. В этом случае вся масса песка будет равномерно смочена кислотой, а последующее помешивание толстой стеклянной папочкой будет способствовать более полному растворению всех посторонних примесей. Через неделю песок отмывают от кислоты сначала водопроводной водой, а затем дистиллированной до тех пор, пока вытекающая вода не будет давать отрицательную реакцию на хлор-ион с  $\text{AgNO}_3$ . Затем песок раскладывается тонким слоем на тележки и сушится на воздухе. Высушенный песок дважды просеивается через сито: вначале с отверстиями 1 мм для удаления крупных минералов, а затем – 0,25 мм. Песок с размером частиц менее 0,25 мм для вегетационных опытов обычно не употребляется.

При подготовке песка особой чистоты, для удаления свободной кремниевой кислоты, органического вещества, азотных соединений и микроорганизмов, его прокалывают при температуре 400–450°C на поверхности слоя песка 15–20 см.

Для увеличения влагоемкости и буферности песка к нему иногда при набивке сосуда добавляют перлит, минеральную вату, нейтральный верховой торф в количестве 1–2 % массы песка в сосуде.

*Техника набивки сосудов.* После подготовки песка и сосудов проводят пробную набивку для установления точной массы субстрата, входящего в сосуд. Набивку сосудов проводят при влажности песка 60 % НВ. Если полная влагоемкость песка после определения равняется 25 %, то влажность песка должна быть  $(25 \cdot 60 : 100) = 15 \%$ , т. е. на каждый килограмм сухого песка необходимо внести  $150 \text{ см}^3$  воды. Если масса песка,

входящего в 1 сосуд при пробной набивке равна 7 кг, то в каждый сосуд следует внести  $1050 \text{ см}^3$  воды, поэтому общее количество растворов солей не должно превышать указанный объем воды, т. е. объем растворов питательной смеси должен входить в объем рассчитанной воды.

Набивается сосуд песком плотно, поверхность песка не должна на 2–4 см доходить до края сосуда (для опытов с рисом – на 8–10 см).

После установления массы песка приступают к расчету количеств элементов питания на 1 сосуд, взятию навесок и приготовлению питательных растворов, необходимых для проведения эксперимента. Навески гипса, преципитата и других слаборастворимых солей берут отдельно для каждого сосуда. Растворы солей, содержащих гигроскопическую воду, например  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , готовят по удельной массе немного более высокой концентрации, чем нужно, и затем проверяют содержание элемента соответствующим анализом и разбавляют водой по расчету для получения намеченной концентрации. Концентрацию растворов надо выбирать с таким расчетом, чтобы нужное количество раствора можно было легко отмерить мерным цилиндром. Удобно отмерять количества растворов в пределах  $10\text{--}100 \text{ см}^3$ . Если необходимо отмерять меньшие количества растворов, пользуются бюреткой или пипеткой. Общее количество растворов всех солей, которые надо внести в сосуд, должно быть меньше того количества воды, которое следует внести в сосуд для доведения влажности песка до оптимальной.

Питательную смесь вносят из расчета на 1 кг песка. Состав смесей определяется биологическими особенностями опытных растений и задачей исследования. Все растворимые в воде соли вносятся в песчаные культуры в виде растворов. Нерастворимые – в виде растертых в порошок навесок. После приготовления всех растворов или взятия всех навесок приступают к закладке опыта.

На полиэтиленовую пленку или в таз высыпают отмеренное количество песка, добавляют элементы питания, тщательно перемешивают, увлажняют до 60 % от ППВ и помещают все в приготовленный сосуд с учетом объема растворов питательных солей.

Тарированные сосуды должны быть подписаны, их можно расставить по вариантам и положить в них пакеты с удобрениями. Работать нужно очень внимательно, чтобы не допустить ошибок. Поэтому набивку рекомендуют проводить втроем: один человек следит за навесками и сосудами, подает их для набивки и расставляет после набивки, второй взвешивает песок и высыпает его в тазы, третий перемешивает песок с удобрениями. Все записи должны вестись в журнале или дневнике.

Ответственный за опыт сотрудник отмеряет необходимые количества растворов и выливает их на навеску песка, подготовленную помощником в тазу для перемешивания песка с солями. Таз желательно брать эмалированный и достаточно большого объема, чтобы удобно было перемешивать. При внесении растворов в песок нельзя вливать одновременно растворы, образующие осадок, например, раствор фосфорнокислой соли и раствор, содержащий соли кальция или железа. Первый раствор должен быть предварительно перемешан со всем объемом песка, и лишь после этого может быть прилит

второй раствор. Для достижения равномерного распределения растворов и особенно сухих солей требуется тщательное перемешивание песка. Начинать набивку надо с тех сосудов, где исключен какой-нибудь элемент, если такие варианты имеются в схеме опыта. Переходя к набивке сосудов с другим составом солей, т. е. другого варианта, необходимо вымыть руки и тазы. После набивки на стенку сосуда наклеивается соответствующая этикетка. Сосуд ставится на свое место и покрывается листом картона.

*Посев, уход за растениями и учет урожая.* Получение одинаковых урожаев с параллельных сосудов в значительной степени зависит от качества семян. Они обязательно должны быть сортовые, и иметь высокое качество. Семена отбирают по размеру, выбирая более крупные, выравненные. Посев в песчаных культурах производится как пророщенными, так и намоченными семенами. Экспозиция намачивания зависит от свойств семян: семена крестоцветных – на 1–2 ч, семена большинства культур с тонкими оболочками – на 3–4 ч, для семян с плотными оболочками типа моркови, свеклы срок намачивания увеличивают до 10–12 ч. Для проращивания семян можно использовать эмалированный противень или другой сосуд; если семян немного, можно использовать чашки Петри. На противень насыпают слой песка толщиной 1–2 см и увлажняют до полного насыщения водой, затем песок покрывают фильтровальной бумагой, на которой раскладывают ровными рядами семена. Затем семена покрывают двумя слоями влажной фильтровальной бумаги и выдерживают при оптимальной температуре для прорастания в термостате или в вегетационном домике. В течение всего периода прорастания следует поддерживать фильтровальную бумагу во влажном состоянии. Важно во все сосуды посадку производить одновременно. Перед посевом семян поверхность песка в сосудах выравнивается, увлажняется, шаблонами делаются лунки для семян. Число и глубина лунок зависят от размера семян и количества оставляемых в сосуде растений. Обычно семян высаживается в 1,5–2 раза больше, чем оставляется после прореживания. Высаживать лучше всего только наклонувшиеся семена с ростками длиной 2–4 мм, длинные ростки легко обламываются и требуют много времени для посадки. Семена злаковых осторожно опускают корешками вниз в гнезда (лунки) на глубину 2–3 см, мелкие семена овощных, многолетних трав – на 0,5 см. После посева сосуды покрываются картоном или ставятся в затененное место до появления всходов. Сосуды ежедневно утром и вечером поливаются из расчета 50–100 см<sup>3</sup> воды.

После появления всходов сосуды выставляются в открытое место и снимается с их поверхности картон. Иногда случается, что число взошедших семян в сосуде меньше того количества, которое намечено оставить после прореживания. В таких случаях необходимо производить подсадку растений. Растения для подсадки должны быть такого же возраста и развития, что и произрастающие в сосуде. Лучше всего для этих целей закладывать опыт с дополнительной повторностью. На 5–6 день после появления всходов сосуды взвешивают, растения поливают водой, при этом количество воды не должен превышать 15 % от массы песка. В период интенсивного роста растений полив проводится два раза в сутки и влажность песка поддерживается на уровне 16–17 % от массы песка, что соответствует 70 %

НВ. Поливать сосуды следует попеременно: через трубку 4–5 раз подряд и сверху 1–2 раза, для того чтобы питательные соли в сосудах не собирались в верхней или нижней части сосуда. Поливать одновременно сосуд сверху и снизу не следует, потому что при этом в середине сосуда «запирается» воздух в некапиллярных промежутках и увлажнение этого слоя затрудняется. Когда растения разовьют достаточно большую вегетативную массу, полив можно проводить по объему. Взвешивают 3–4 сосуда по одному из разных вариантов, устанавливают среднее количество воды, недостающее до нормы, и вносят его в каждый сосуд, как описывалось выше. При поливе сосуда каждый раз переставляют по определенной системе, чтобы каждый сосуд получал одинаковое количество света и воздуха и все условия выращивания выравнивались бы за 3–4 дня.

К удалению из сосуда лишних растений следует приступить в тот момент, когда они прекращают использовать запасные вещества семени и начинают поглощать элементы питания из питательной среды. У зерновых культур это совпадает с началом появления 4 листа. В сосудах оставляют одинаковое число растений, равномерно распределенных по поверхности сосуда. Количество растений, оставляемых в сосуде после прореживания, зависит от величины сосуда и опытной культуры. На сосуд диаметром 25 см оставляют овса, пшеницы и ячменя по 20–25 растений, гречихи, риса и гороха – по 10–15 растений, льна, клевера и других трав – по 35–40 растений. Такие растения, как картофель, сахарная свекла, кукуруза, виноград, хлопчатник и некоторые другие выращиваются в сосудах большего размера, после прореживания их оставляют по одному растению на сосуд, как и в почвенных культурах.

Во время прореживания на сосуды с растениями, имеющими высокий стебель, надевают каркасы для их поддержания в вертикальном положении. С момента появления всходов проводят наблюдения за растениями: измеряют высоту растений, подсчитывают количество образовавшихся листьев, отмечают начало и конец каждой фазы развития растений.

Применять химические средства борьбы с болезнями и вредителями следует осмотрительно, т. к. они могут оказать влияние на результаты опыта. Предпочтительнее вредителей удалять вручную, а заболевшие растения, если есть еще возможность, лучше просто удалять.

За 3–5 дней до уборки урожая полив вегетационных сосудов прекращается. Если растения в разных сосудах созревают в разное время, то уборка их производится тоже в разное время. Урожай убирают путем срезания стеблей ножницами на расстоянии 1–2 см от поверхности. Корни освобождают от песка путем отмывания их на сите водой. Надземные и подземные части растений сушат, взвешивают и проводят соответствующие анализы на содержание химических элементов.

### 2.2.3. Водные культуры

*Чем обширнее число опытов, тем вернее, при прочих равных условиях, выводимый средний результат. Но в точных опытных науках должно заботиться не об одном увеличении числа наблюдений, необходимо обратить главное внимание на достоинство, т. е. на степень точности наблюдений, необходимо заботиться об устранении неравномерности в данных, необходимо избегать личных и случайных погрешностей, необходимо, наконец, знать степень погрешности полученных результатов.*

**Д.И. Менделеев**

*Водная культура – метод выращивания растений на водных растворах питательных веществ, которые могут быть строго учтены и проконтролированы.*

**Э. Хьюитт**

*Водные культуры* – метод выращивания растений на жидкой питательной среде в научных и производственных целях. Задача водных культур в агрохимических исследованиях заключается в: выяснении необходимых для жизнедеятельности растительного организма элементов; установлении роли отдельных элементов для роста и развития растений; определении физиолого-биохимических процессов поглощения элементов питания: изучении периодов в жизни растения, в которые оно особенно нуждается, в наличии того или иного элемента питания для реализации своей потенциальной продуктивности; выяснении влияния разных элементов друг на друга при поступлении их в корни и превращении в органические соединения.

Для постановки и проведения опытов в водных культурах необходимы следующие материалы и оборудование: дистиллированная или бидистиллированная вода, широкогорлые стеклянные сосуды, стеклянные трубки, компрессор для продувания растворов воздухом, каркас для поддержания растений, растворы элементов питания, бутылки, мерные цилиндры, пипетки, семена, протравители семян, противни, термостат для проращивания семян, парафин для обработки деревянных крышек (пробок), весы аналитические и технические, рН-метр для корректировки реакции питательной смеси.

Водные культуры более трудоемкие, чем песчаные или почвенные, т. к. при выращивании растений в водных культурах необходима полная смена питательного раствора не менее 2–3 раз в течение вегетации или временное помещение растений в другой питательный раствор. Субстратом для водных культур служит дистиллированная вода, а в опытах с микроэлементами применяют бидистиллированную. При работе с микроэлементами большое внимание уделяют посуде, необходимой для подготовки и проведения эксперимента. Как правило, растворы, помещенные в стеклянную посуду, могут извлекать из нее входящие в состав элементы. Состав стекол, выпускаемых промышленностью, приведен в таблице 11.

Для высоко точных экспериментов не рекомендуется использовать сосуды, содержащие определяемый элемент. Вымывание из стенок посуды различных элементов определяется не только содержанием их в стек-

ле, но и сортом стекла, устойчивостью его к воздействию кислот, щелочей и солевых растворов. По составу стекла делят на 4 группы:

Таблица 11 – Химический состав сортов стекла

Марка стекла	Содержание, %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
№ 23	68,4	3,9	8,5	0,8	2,7	6,1	9,7	0,1–0,2
№ 846	74,0	3,0	6,0	4,0	3,0	–	10,0	0,1–0,2
№ 29	67,9	3,9	7,0	3,5	–	3,3	9,5	0,32
АМ	71,3	1,7	9,9	2,7	–	14		0,1
Тюрингское	68–74	3–4	6,2–8	–	–	0,8	12–18	–
Mirano	67	6,7	4,3	–	3,0	–	19,0	0,2
Unihost	68,9	3,9	5,5	2,9	–	1,3	17,8	0,1
№ 13	61,9	18,5	10,2	9,4	–	–	–	0,1
Белое	72,0	1,5	10,0	2,5	–	–	14,0	0,1
Нейтральное	72,5	1,0	7,0	–	6,0	–	10,5	0,1
Пирекс	80,5	2,0	0,5	–	12,0	1,0	4,0	0,1
Кварцевое	99,9	0,01	–	0,01	–	0,03	0,004	0,01

1. *Натриево-кальцево-силикатное стекло*, содержащее оксиды натрия и калия, кальций, алюминий и 3–4 % бора. Это мягкие сорта стекла, легко подверженные как выщелачиванию, так и растворению. К этой группе относятся, как правило, все легкоплавкие стекла: стекло № 23, безборные стекла № 29, Ц-32, ЦЛ, АМ, борсодержащее стекло КС-34, чешское стекло с марками KS и Unihost, немецкое тюрингское стекло. Из посуды борсодержащих стекол в раствор могут переходить катионы калия, натрия и анион бора.

2. *Боро- и алюмосиликатные стекла*, содержащие от 6 до 18 % В<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5–6 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4–10 % Na<sub>2</sub>O, иногда ZnO или BaO. Повышенное содержание бора увеличивает стойкость таких стекол к кислотам. К щелочам устойчивы только те сорта, где Na<sub>2</sub>O больше 8 %, при более низком содержании Na<sub>2</sub>O стекло малоустойчиво к щелочам и растворяется с переходом в раствор всех компонентов. Это стекло вследствие низкого содержания калия применяют при проведении экспериментов с калием.

3. *Алюмосиликатные безборные или малоборные стекла*, в состав которых входят Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO и BaO. Такие стекла характеризуются высокой температурой размягчения и механической прочностью. Однако стекло этой группы легко растворяется, малоустойчиво к щелочам и обладает низкой кислотоустойчивостью. Наиболее распространено из выпускаемых промышленностью стекол этой группы безборное стекло № 13; оно содержит много алюминия, не стойко химически, но в его составе отсутствуют K и Na, В и Zn. Стекло марок Т<sub>16</sub> и Т<sub>28</sub> по кислотоустойчивости существенно выше, чем № 13. Это справедливо также и по отношению к стеклу ДГ-2 и АТ-24, но последнее содержит более 3 % бора. Из зарубежных стекол этой группы наиболее распространены иенское стекло Д<sub>44</sub> и чешское стекло Multal.

4. *Кварцевое стекло с содержанием более 95 % кремнезема*. Это наиболее химически устойчивое стекло. Химическую устойчивость стеклянной посуды в некоторых случаях можно повысить путем заполнения

пор гидрофобными веществами. Для этого, например, обработанную подогретой 1 н уксусной кислотой посуду можно покрыть расплавленным парафином при нагревании до 230°C. Образующиеся на поверхности кремнийорганические соединения надежно предохраняют поверхность стекла от химических воздействий. В ряде случаев стеклянную посуду изнутри покрывают слоем парафина. Для этого в чисто вымытую и высушенную посуду наливают достаточное количество очищенного расплавленного на водяной бане парафина и, медленно поворачивая сосуд, выливают парафин обратно. Если при парафинировании берут мало парафина, сосуд должен быть теплым, в противном случае парафин быстро застывает, пленка получается толстой, неровной и легко отходит от поверхности стекла. Для удаления парафина сосуд надо перевернуть и нагреть снаружи током горячей воды или воздуха. Если сосуд имеет широкое горло, в которое проходит рука (вегетационный сосуд), его надо подогреть так, чтобы пленка только начала отходить, и снять всю пленку целиком, удалить остатки, а затем вымыть сосуд. Емкости с узким горлом нагревают так, чтобы парафин расплавился и стек с поверхности стекла. Остатки можно удалить ксилолом, высушить посуду под тягой, а потом уже вымыть.

В ряде случаев можно использовать тефлоновую или полиэтиленовую посуду, которая характеризуется большой химической стойкостью. Однако эта посуда способна адсорбировать ионы из растворов. Поэтому следует соблюдать осторожность при повторном ее использовании и при мытье. Для полного удаления моющих средств с поверхности полиэтилена требуется значительно больше времени и большой расход воды. Полиэтиленовые вегетационные сосуды могут загрязнять находящиеся в них растворы ионами меди и цинка, адсорбированными на поверхности в процессе технологической обработки.

*Методы очистки реактивов.* Для того чтобы получить в водной культуре характерные признаки недостаточности микроэлементов, применяют специальные методы очистки реактивов, используемых для приготовления питательных растворов, а также дополнительную очистку уже готовых сред. Простейший метод очистки солей – перекристаллизация. Однако во многих случаях прибегают к более сложным приемам специальной очистки солей, входящих в питательную среду.

$Ca(NO_3)_2$ . Примерно 300 г соли (хч; чда) растворяют в горячей бидистиллированной воде, подкисленной 2–3 мл химически чистой  $HNO_3$ . Раствор, который должен быть близок к насыщенному, фильтруют через воронку для горячего фильтрования и упаривают на водяной бане до начала кристаллизации. Затем раствор охлаждают и выпавшие кристаллы отделяют от маточного раствора на воронке Бюхнера. Перекристаллизацию повторяют 2 раза. Готовую соль высушивают в тонком слое между листами фильтровальной бумаги и пересыпают в хорошо вымытую и сухую склянку. Безводный  $Ca(NO_3)_2$  получают нагреванием перекристаллизованной соли в сушильном шкафу при 170°C. Растворы необходимой концентрации готовят по ареометру. Для очистки  $Ca(NO_3)_2$  от бора Э. Хьюитт (1960) рекомендует проводить перекристаллизацию следующим образом. Нужно количество соли растворяют в дистиллированной воде при температуре

80°C, до получения почти насыщенного раствора. При этом соль добавляют отдельными порциями, постоянно перемешивая. Раствор нагревают до температуры 90°C и фильтруют на воронке Бюхнера. Затем содержимое переносят в стакан. Кристаллизация идет при помешивании, пока температура не снизится до 40°C. После этого прибавляют равный объем чистого спирта и массу все время перемешивают до полного охлаждения. Это необходимо, чтобы предупредить образование сплошной стекловидной массы. Кристаллы отфильтровывают на воронке Бюхнера, сушат и вновь перекристаллизовывают. Соль промывают очищенным спиртом и высушивают в термостате при температуре не выше 40°C.  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  для опытов с недостатком бора может быть также получен из  $\text{CaCO}_3$  (чда) и  $\text{HNO}_3$ . Для этого готовят жидкое известковое молоко, которое медленно вливают в  $\text{HNO}_3$  (чда), разбавленную 1:1 дистиллированной водой. Реакция идет до конца при небольшом избытке  $\text{CaCO}_3$ . Осадок, состоящий из основных солей железа и других элементов, отфильтровывают на воронке Бюхнера. Раствор доводят до объема, необходимого для получения требуемой концентрации. Точные весовые количества карбоната и кислоты рассчитывают из уравнения:  $\text{CaCO}_3 + 2\text{HNO}_3 = \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$ . Так, на 2 л раствора, содержащего 2 г/моль (32,8 %)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , требуется 400 г  $\text{CaCO}_3$  и 504 г  $\text{HNO}_3$ .

*MgSO<sub>4</sub>*. Приблизительно 200 г химически чистой соли растворяют в нагретой до 90°C бидистиллированной воде до насыщения. После фильтрации через воронку с обогревом стакан с фильтратом быстро охлаждают в кристаллизаторе с холодной водой. Быстрое охлаждение при энергичном помешивании способствует выпадению (после 30°C) мелких волосков кристаллов. Эта форма соответствует наиболее чистым кристаллам. После отделения на воронке Бюхнера соль кристаллизуют вторично, высушивают между листами фильтровальной бумаги и хранят в чистой стеклянной банке с притертой крышкой. Для получения безводной соли ее осторожно нагревают в сушильном шкафу до 238°C. Чистый  $\text{MgSO}_4$  может быть получен и при кристаллизации со спиртом. Добавление спирта к кислому насыщенному раствору соли может привести к образованию двух несмешивающихся фаз, что предотвращают сильным перемешиванием.

*KCl*. Для получения особо чистого KCl его выделяют из насыщенных растворов при помощи газообразного HCl. Соль (200–300 г) растворяют в воде до насыщения, фильтруют через бумажный фильтр, после чего в раствор пропускают газообразный HCl. Работу проводят под тягой. Стакан с KCl в процессе работы охлаждают водой со льдом. Для предохранения от загрязнения стакан сверху покрывают кислотоупорной пленкой, через отверстие которой вводится стеклянная трубка, подающая HCl. Если кристаллы соли забивают отверстие трубки, то ее конец вынимают из раствора и держат в стакане с бидистиллированной водой до растворения кристаллов. Для получения HCl в специальную колбу помещают 50 г сухого NaCl и смесь из 80 г чистой  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $d=1,83$ ) и 20 г дистиллированной воды (смесь должна быть предварительно охлаждена). Колбу закрывают пришлифованной пробкой с отводной трубкой, конец которой опускают в стакан с раствором KCl. Колбу нагревают на водяной бане или плитке, покрытой несколькими слоями асбеста. Общий вид устройства для получения особо чистого KCl показан на рис. 4.

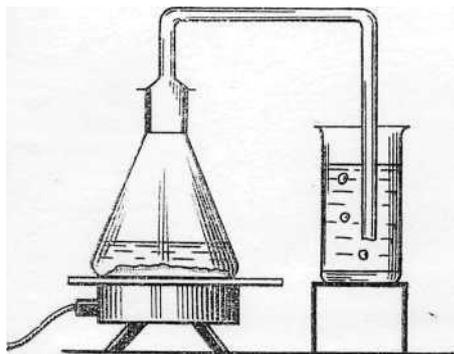


Рис. 4. Устройство для очистки хлористого калия

Выпавшие после пропускания HCl кристаллы KCl отделяют на воронке Бюхнера, переносят их стеклянной палочкой или фарфоровым (не металлическим) шпателем в кварцевую (или платиновую) чашку и выдерживают 1–2 ч в муфеле при темно-красном калении. Соль хранят в склянке с притертой пробкой.

$KH_2PO_4$ . Для очистки от примесей тяжелых элементов готовят 0,4 М (экспериментально подобранная концентрация, дающая наибольшую степень очистки) раствор однозамещенного  $KH_2PO_4$  на бидистиллированной воде в количестве 2 л. Этот раствор выдерживают в течение суток в термостате при 75–85°C и затем фильтруют через плотный бумажный фильтр. Фильтрат упаривают в большой чашке из «Пирекса» на водяной бане до небольшого объема и появления на поверхности пленки кристаллов. Кристаллизацию проводят на холоду. Выпавшие кристаллы отделяют на воронке Бюхнера, высушивают в сушильном шкафу при 105°C и хранят в сухой чистой склянке с притертой пробкой.

$Ca(CH_3COO)_2$ . Готовят насыщенный раствор соли в бидистиллированной воде при комнатной температуре. После фильтрования к раствору приливают равный объем спирта (отдельными порциями) при непрерывном помешивании. Раствор с выпавшими кристаллами оставляют стоять 2 ч, после чего фильтруют на воронке Бюхнера. Соль сушат между листами фильтровальной бумаги и хранят в склянке с притертой пробкой.

$(NH_4)_2SO_4$ . Соль растворяют в бидистиллированной воде до насыщения. Раствор фильтруют через воронку с обогревом, выпаривают и кристаллизуют. После отделения кристаллов очистку повторяют. Сушат соль между листами фильтровальной бумаги.

$H_2SO_4$ . Очистку  $H_2SO_4$  проводят под тягой с максимальной осторожностью. Тяга во время перегонки должна быть закрыта, работающим необходимо иметь защитные очки и фартук. К  $H_2SO_4$  (любой концентрации) добавляют 1 % по массе хромового ангидрида ( $CrO_3$ ), размешивают стеклянной палочкой и дают отстояться. Кислоту осторожно фильтруют через стеклянный фильтр (№ 1) и переливают в реторту. Последнюю укрепляют «лапками» штатива, помещают в железную кастрюлю, используемую в качестве воздушной бани, и нагревают на плитке; отгоняют кислоту, закрыв реторту асбестом. В качестве приемника используют сухую стеклянную колбу, куда и опускают горло реторты. Первые фракции кис-

лоты, которые обычно имеют слегка зеленую окраску, отбрасывают. Кислота лучше конденсируется, если приемник помещают в сосуд со льдом. Перегонку заканчивают, когда на дне колбы остается примерно 15 % от исходного количества кислоты. В перегнанную кислоту медленно пропускают  $H_2S$  в течение 4–6 ч. После этого кислоте дают отстояться сутки в высоком (лучше пирексовом) узком сосуде, затем фильтруют через колонку, наполненную хорошо промытой и сухой стеклянной ватой. Если фильтрование через стеклянную вату не избавляет полностью от сульфидов и коллоидной серы, то кислоту можно отцентрифугировать в больших стеклянных стаканах, слив после этого верхний чистый слой. После такой обработки кислоту вторично отгоняют в реторте. Первые и последние 10 % отгона отбрасывают.

*NaOH.* Насыщенный раствор щелочи в спирте сливают в банку с притертой крышкой и выдерживают в течение 5 ч (не больше). Затем фильтруют через стеклянный фильтр и фильтрат осторожно выпаривают в серебряной чашке на водяной бане до полного удаления спирта и плавления щелочи. В 100 мл спирта при  $28^\circ C$  можно растворить примерно 15 г щелочи.

*Приготовление лимоннокислого железа, свободного от Mn, Cu, Zn, Mo и Ca.* Цитрат железа готовят из двойной соли сульфата закисного железа и аммония (соль Мора, аналитический реактив). 50 г соли Мора растворяют в нужном для получения насыщенного раствора количестве 1 %-ной  $H_2SO_4$ , приготовленной на бидистилляте.

Подкисление  $H_2SO_4$  необходимо для подавления гидролиза и в дальнейшем – для повышения выхода. Раствор фильтруют через воронку для горячего фильтрования и после охлаждения добавляют к нему равный объем перегнанного этилового спирта. Выпавшие кристаллы отделяют на воронке Бюхнера, промытой спиртом, и снова растворяют в бидистилляте до получения почти насыщенного при комнатной температуре раствора; рН снижают до 2,8 прибавлением чистой  $HCl$ . Раствор переносят в большую делительную воронку и 2 раза экстрагируют 0,5 %-ным раствором 8-гидрооксихинолина в хлороформе. Следы окисного железа обуславливают черную окраску хлороформенного слоя. Водный слой, содержащий соединения закисного железа, многократно отмывают чистым хлороформом до полного удаления следов 8-гидрооксихинолина (до обесцвечивания). Затем водную фазу смешивают с химически чистой  $HCl$ , добавляя ее из расчета, чтобы получить 6 н по кислоте раствор. На этой стадии процедуру можно прервать. Полученный кислый раствор осторожно насыщают эфиром в делительной воронке, добавляя его небольшими порциями и хорошо встряхивая до тех пор, пока не образуется устойчивый эфирный слой. Водный слой сливают и последовательно экстрагируют 5 порциями (по 30 мл) эфира. Если при этом выпадает осадок, добавляют 6 н  $HCl$ , эфирные фракции отбрасывают. Для перевода закисного железа в окисную форму к водному раствору прибавляют  $H_2O_2$ , предварительно перегнанную под пониженным давлением в аппарате из «Пирекса» на шлифах.

Количество перекиси, необходимое для окисления железа, определяют титрованием раствором перманганата; им же оттитровывают порцию полученного раствора закисного железа. Титрование следует вести в

разбавленном растворе в присутствии  $H_2SO_4$ . Перекись добавляют из расчета, чтобы в растворе оставить избыток  $FeCl_2$  (около 1 %). Полученный таким образом раствор  $FeCl_3$  выпаривают в кварцевой (или пирексовой) чашке почти досуха на водяной бане под тягой; затем осадок растворяют в концентрированной химически чистой  $HCl$  и, перелив раствор в делительную воронку, осторожно насыщают свежерегнаным эфиром. Раствор последовательно экстрагируют тремя порциями эфира; водную фракцию отбрасывают, эфирные фракции объединяют. Экстрагируют последовательно тремя порциями (по 20 мл) 6 н  $HCl$ , насыщенной эфиром; водные фракции отбрасывают. Эфирную фракцию встряхивают с 5 последовательными порциями (20 мл) бидистиллированной воды, и водную фазу, содержащую  $FeCl_3$ , выпаривают досуха в кварцевой чашке на водяной бане. Затем туда прибавляют перекристаллизованную лимонную кислоту из расчета на 16,25 г  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  (или 9,75  $FeCl_3$ ) 20 г лимонной кислоты и небольшое количество бидистиллированной воды. Затем раствор выпаривают на кипящей водяной бане, часто помешивая, пока масса не затвердеет. Полученную соль растворяют в бидистилляте, доводят до определенного объема (1 л). Хранят раствор в пирексовой склянке. Для определения массы полученного  $FeCl_3$  кварцевую чашку взвешивают до и после выпаривания раствора. В 1 мл раствора цитрата железа, полученного из указанных количеств исходных соединений, содержится 5,6 мг железа. При использовании других навесок лимонной кислоты и  $FeCl_3$  для определения содержания железа в растворе следует сделать пересчет.

*Получение химически чистой лимонной кислоты.* Для перекристаллизации готовят близкий к насыщенному раствор лимонной кислоты в горячей дистиллированной воде (температуру не поднимают выше  $60^\circ C$ ), фильтруют его через воронку с обогревом и кристаллизуют при охлаждении. Выпавшие кристаллы отделяют фильтрованием на воронке Бюхнера, и кристаллизацию повторяют, используя для растворения соли бидистиллят. Дважды перекристаллизованную кислоту сушат либо на воздухе, между листами фильтровальной бумаги, либо в сушильном шкафу при  $30-40^\circ C$ . Ниже приводим руководство по перекристаллизации солей микроэлементов:

*$MnSO_4 \cdot 2H_2O$ .* Соль дважды перекристаллизовывают из горячей бидистиллированной воды. Готовят насыщенный раствор соли в бидистиллированной воде, подкисленной концентрированной  $H_2SO_4$  (на 100 мл воды берут 0,5 мл  $H_2SO_4$ ), поддерживая температуру воды при растворении около  $60^\circ C$ , т. к. растворимость соли при более высокой температуре падает. Фильтруют через воронку для горячего фильтрования. стакан с фильтратом для быстрого охлаждения помещают в кристаллизатор со льдом и энергично помешивают до начала кристаллизации. В случае необходимости раствор оставляют в холодильнике на ночь. Кристаллы отделяют фильтрованием на воронке Бюхнера и высушивают вначале между листами фильтровальной бумаги, затем в эксикаторе над  $CaCl_2$ . Хранят соль в чистой сухой склянке с притертой пробкой.

*$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ .* Необходимое количество соли растворяют при нагревании в бидистиллированной воде, фильтруют через воронку с обогревом и выпаривают в кварцевой чашке до появления на поверхности раствора

пленки кристаллов. Соль перекристаллизовывают дважды. Кристаллизация лучше идет при длительном постепенном охлаждении. Сушат соль в сушильном шкафу при 50–60°C и хранят в склянке с притертой пробкой.

*ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O*. Последовательность операций при перекристаллизации сернокислого цинка та же, что и для меди. Фильтрат упаривают до получения плотной кристаллической пленки, охлаждают при интенсивном помешивании; образовавшиеся кристаллы отделяют фильтрованием, и соль вновь перекристаллизовывают. Сушат соль на воздухе между листами плотной бумаги (пергамент).

*H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>*. Для получения чистой H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> ее перекристаллизовывают 3 раза обычным способом. Кристаллы кислоты сушат между листами фильтровальной бумаги или в сушильном шкафу при 60°C.

*Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>*. Эту соль также кристаллизуют дважды из горячей бидистиллированной воды, используя те же приемы, что и в предыдущих случаях. Соль сушат на воздухе между листами фильтровальной бумаги.

*FeSO<sub>4</sub>*. Соль растворяют в 0,01 н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, приготовленной на бидистилляте. Раствор, близкий к насыщенному, получают, растворяя около 25 г соли (FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, аналитический реактив) при комнатной температуре в 100 мл H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. После фильтрования к раствору добавляют 3 объема этилового спирта (ректификата) при непрерывном помешивании. Осадок фильтруют на воронке Бюхнера, отмывают спиртом и сушат между листами фильтровальной бумаги. Полученный препарат не содержит окисного железа и соответствует формуле (FeSO<sub>4</sub>), но при хранении окисляется. Поэтому если соль используют для приготовления стандартных растворов при определении железа, ее следует заново перекристаллизовать.

Вегетационный опыт в водной культуре следует начать с подбора сосудов для выращивания растений, подготовки пробок с соответствующим размером отверстий, чехлов для предохранения сосудов от проникновения в них света, а также системы для продувания питательного раствора воздухом.

*Выбор и подготовка сосудов*. Опыты в водных культурах проводят в стеклянных или пластмассовых сосудах вместимостью 3–8 л. В опытах с зерновыми, зернобобовыми, масличными культурами и травами используют 3- и 5-литровые сосуды, а с хлопчатником, сахарной свеклой, табаком и брюквой – 6–8-литровые. Для укрепления растений на питательном растворе сосуды сверху покрываются специально подогнанными деревянными кружками толщиной 2 см. При этом диаметр нижней части кружка должен быть равен диаметру внутренней стенки сосуда, а диаметр верхней части шире, на толщину его стенки. В зависимости от числа растений в каждом кружке высверливаются отверстия. Диаметр отверстий зависит от вида растений и колеблется от 1,5 см до 5–10 см. Кроме отверстий для посадки растений в кружке делаются еще 2–3 отверстия диаметром 1 см: одно – для продувания питательного раствора, другие – для укрепления каркаса. В отверстие для продувания питательного раствора вставляется стеклянная трубка, изогнутая над кружком под углом 100–120° и не доходящая до дна сосуда на 2–3 см.

Одним из наиболее удобных является укрепление растений при помощи широких цилиндров с сетчатым дном, наполненных гравием или гранулированным полиэтиленом (рис. 5; Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М.,

1973). Такие цилиндры изготавливают, как правило, из пластмассы или других нержавеющей материалов, а сетчатое дно – из редкой капроновой ткани. При необходимости, их стенки покрывают чистым расплавленным парафином.

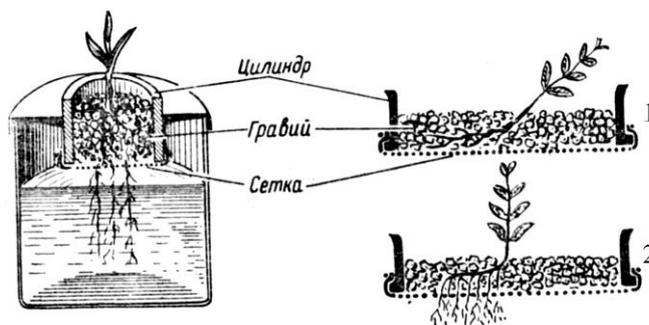


Рис. 5. Выращивание растений в водной культуре  
1 – в момент посадки; 2 – после укоренения

*Подготовка сосудов.* В соответствии со схемой и принятым числом повторений берут необходимое количество сосудов одинакового объема. К каждому из них подбирают хорошо пригнанные крышки с соответствующим количеством отверстий для растений. Подобранные сосуды тщательно вымывают, а пробки очищают от загрязнений и покрывают парафином, опуская их в расплавленный парафин. Для предотвращения перегрева растений и развития водорослей на свету, на сосуды надевают футляры. Для этих целей чаще используют хлопчатобумажные материалы: белые для наружной и черные для внутренней стороны. Вверху стенки футляров стягиваются тесемкой. Сосуд должен свободно входить в футляр, чтобы во время выращивания растений можно было визуально наблюдать за формированием корневой системы. Сосуды при закладке опыта наполняют на 3/4 объема дистиллированной водой. Затем пипеткой или мерным цилиндром, согласно схеме опыта, вносят необходимое количество питательной смеси, доводят дистиллированной водой до метки на 1 см ниже уровня сосуда, тщательно перемешивают и закрывают крышками.

*Питательные смеси.* Концентрация солей в растворе сильно влияет на интенсивность поглощения элементов питания растениями. С повышением концентрации затрудняется поглощение растениями воды, но усиливается поступление в корни элементов питания и изменяются антагонистические и синергические взаимодействия между ними. К тому же отдельные виды растений различно относятся к концентрации солей в питательном растворе.

При выращивании растений методом водных культур важное значение имеет реакция питательного раствора. Она должна поддерживаться в пределах рН 5,5–6,5. Наилучший рост и развитие растений происходят при дифференцированном составе питательных смесей не только для отдельных растений, но и для отдельных фаз их развития. Это содействует полному удовлетворению меняющихся потребностей растений и способствует повышению урожая.

В водных культурах можно использовать питательные смеси, рекомендованные для песчаных культур. Однако, для выращивания большинства

сельскохозяйственных растений методом водных культур лучше подходят питательные среды Кнопа, Ольсена, Гейслера и Цинцадзе и их различные модификации. При выборе питательной смеси экспериментатор, решая свои задачи, вправе изменять их, испытывать иные формы и соотношения элементов.

В агрохимических исследованиях с водными культурами широко применяется питательная *среда Кнопа*. Исходное значение рН этой смеси около 5,7. В результате питания растений смесь подщелачивается рН до 7,2. Содержание фосфора и калия в смеси Кнопа почти одинаково, а азота в ней в 2,5 раза больше. Эта смесь рекомендуется преимущественно для опытов с зерновыми культурами.

*Смесь Цинцадзе* включает азот в аммонийной и нитратной форме, а источником фосфора в ней служит фосфат кальция. Замена нитратного азота на аммонийно-нитратный сильно влияет на динамику изменения реакции питательного раствора при выращивании всех растений. В смеси Цинцадзе отмечается некоторое преобладание фосфора над азотом и калием. Она богата кальцием и серой. Кислотность смеси в процессе питания растений изменяется незначительно: в начале опыта рН равно 5,6, в конце – 5,7. Смесь Цинцадзе рекомендуется применять для выращивания зерновых, зернобобовых культур, гречихи и сои.

В смесь *Гейслера и Ольсена* кроме макроэлементов включаются микроэлементы, а железо вносится в форме лимоннокислой соли. Эти смеси рекомендуются для выращивания растений в гидропонике.

*Приготовление питательных растворов для опытов с микроэлементами.* Питательные смеси во всех случаях готовят из солей, очищенных перекристаллизацией. Однако при постановке опытов с недостатком таких микроэлементов, как Cu, Mn, Mo, Zn, этого мало и требуется дополнительная очистка запасных растворов отдельных солей от следов этих элементов. Для этой цели применяют несколько методов: например, адсорбцию древесным углем, адсорбцию на солях щелочноземельных металлов, карбонатах и фосфатах, совместное осаждение органическими растворителями, совместное осаждение с сульфидами и, наконец, извлечение несмешивающимися растворителями в результате образования хелатов. В настоящее время в опытах с недостатком Cu, Mn и Zn широко распространен адсорбционный метод очистки питательных сред. При изучении недостатка Mo наиболее надежные результаты дает использование смесей, очищенных путем совместного осаждения с сульфидами.

*Адсорбционный метод.* При этом методе необходимы: растворимая соль кальция, щелочной фосфат, углекислый кальций или магний и двууглекислый натрий.

Метод основан на осаждении следов тяжелых металлов при щелочной реакции среды и повышенном давлении в виде карбонатов, гидроксидов и фосфатов, и их адсорбции на солях кальция, в частности карбонатах и фосфатах, образующихся в соответствующих реакциях.

В окончательном варианте процедура очистки имеет такую последовательность операций. (Запасные растворы соответствующих питательных солей готовят в колбах из «Пирекса» в концентрациях, указанных ниже, но при этом берут несколько меньшее количество воды).

Концентрация солей в запасных растворах (%):  $\text{KNO}_3$  – 20,2;  $\text{NaNO}_3$  – 34,0;  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  – 32,8;  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  – 16,0;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – 26,4;  $\text{K}_2\text{SO}_4$  – 8,7;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 18,4;  $\text{KCl}$  – 14,9;  $\text{NaCl}$  – 11,7;  $\text{CaCl}_2$  – 11,1;  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 20,8;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 18,1. К полученным растворам отдельных солей прибавляют по 10 мл на литр следующие растворы химически чистых солей: двухмолярный (32,8 %)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , молярный (17,6 %)  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , молярный (8,4 %)  $\text{NaHCO}_3$ ; после всего туда же вносят (на каждый литр) 20 г химически чистого  $\text{CaCO}_3$ . При очистке кальциевых солей не вносят  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . После добавления каждого раствора смесь тщательно перемешивают. Колбы закрывают стеклянной ватой или ватными пробками и автоклавируют при давлении  $2 \cdot 10^5$ –  $2,4 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup> в течение часа. На следующий день растворы фильтруют через сухую, хорошо вымытую (соляной кислотой 1:1 и затем водой) воронку Бюхнера. Фильтрат должен быть совершенно прозрачен, в противном случае фильтрование повторяют. Раствор из колб, в которых проводилось автоклавирование, количественно переносят в приемник (колбу Бунзена), а из последнего также количественно в мерную колбу или калиброванную склянку и доводят бидистиллированной водой до требуемого объема. При такой обработке удаляются следы Fe, Mn, частично Cu и Zn.

Получение чистого прозрачного раствора при фильтровании во многом зависит от правильного наложения фильтра. Кружки фильтровальной бумаги (беззолные фильтры) должны быть подобраны так, чтобы их диаметр был на 1–1,5 мм меньше, чем внутренний диаметр воронки. Перед фильтрованием бумагу следует смочить водой, что предотвращает попадание твердых частиц в фильтрат. Для полного удаления Cu и Zn и проверки полноты очистки раствора от других микроэлементов автоклавированные растворы солей обрабатывают 0,05 %-ным раствором дитизона в  $\text{CCl}_4$  (предварительно очищенном перегонкой). Экстрагирование проводят при pH 6 (раствор подкисляют HCl) в больших (1–2 л) делительных воронках (лучше из «Пирекса») до тех пор, пока в слое дитизона не будет заметно никаких следов розовой, бурой или сине-зеленой окраски. Затем раствор дитизона сливают, а водную фазу промывают чистым  $\text{CCl}_4$  до полного удаления следов дитизона. Для полного отстаивания и разделения слоев смесь оставляют стоять в воронке несколько часов, время от времени легко встряхивая или вращая ее. Для проверки полноты удаления следов тяжелых элементов используют ту же процедуру обработки дитизоном, взяв в пробирку несколько миллилитров испытуемого раствора. Окраску дитизинового слоя можно определить более точно, если небольшую порцию раствора дитизона после экстракции разбавить  $\text{CCl}_4$  примерно в 10 раз.

*Приготовление раствора дитизона для очистки сред.* Готовят 1 л или больше 0,05 %-ного раствора дитизона в перегнанном  $\text{CCl}_4$ , фильтруют через большой складчатый фильтр и переносят в большую (2–4 л) делительную воронку. К раствору прибавляют несколько капель концентрированного  $\text{NH}_4\text{OH}$  и половину объема бидистиллированной воды. Воронку энергично встряхивают, красный водно-дитизиновый слой сливают в чистую пирексовую колбу; обработку повторяют 2–3 раза, объединяя водно-дитизиновые фракции. Слой  $\text{CCl}_4$ , в котором остается небольшое количество дитизона и примеси тяжелых металлов, отбрасывают. Водно-

дитизоновую фракцию переносят в большую делительную воронку (можно частями), добавляют туда химически чистую HCl до концентрации в растворе 0,02 н, затем половину от имеющегося объема CCl<sub>4</sub>. После этого, сильно встряхивая воронку, переводят дитизон в CCl<sub>4</sub>. Водную фазу экстрагируют еще раз CCl<sub>4</sub> в присутствии нескольких капель HCl. Раствор дитизона в CCl<sub>4</sub> хранят в пирексовой склянке с притертой пробкой. Правильно приготовленный раствор имеет ярко-зеленый цвет. Если же он имеет красноватый или коричневатый оттенок, очистку следует повторить, начав ее с момента перевода дитизона в водную фазу. Все операции проводят под вытяжным шкафом. CCl<sub>4</sub> перегоняют при 76–78°C на водяной бане.

*Совместное осаждение с сульфидом меди.* Метод обычно используют для очистки запасных растворов от следов молибдена.

В пирексовой посуде готовят запасные растворы (молярные или двухмолярные) из перекристаллизованных солей и вносят в них 19,5 %-ный раствор сульфата меди (химически чистая соль CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O) из расчета 10 мл на 1 л раствора. В раствор из свежезаряженного и чистого аппарата Киппа пропускают в течение часа H<sub>2</sub>S при очистке солей кальция [Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>] и фосфатов; в других случаях газ пропускают 30 мин. Черный (или темно-коричневый) осадок сульфидов фильтруют через двойной фильтр на воронке Бюхнера. Фильтрат количественно переносят в стакан из термостойкого стекла (лучше пирексового), нагревают до кипения на плитке с асбестовой сеткой и слабо кипятят 15–20 мин для удаления H<sub>2</sub>S и коагуляции коллоидной серы и сульфидов. После охлаждения и отстаивания в течение 2,5–2 ч раствор вновь фильтруют и доводят до требуемого объема. Для окончательного удаления следов меди раствор очищают дитизоном, как было описано выше.

Для получения H<sub>2</sub>S чистый аппарат Киппа заряжают FeS и разбавленной 1:1 HCl. Для очистки от возможного загрязнения ток H<sub>2</sub>S пропускают через 4 последовательно размещенные склянки для промывания, которые заполнены HCl убывающих концентраций: 1:2; 1:4; 1:8; 1:16, а также через трубку со стеклянной ватой и уловитель брызг. Для получения мелких пузырьков газа конец трубки, через которую H<sub>2</sub>S пропускается в раствор, следует оттянуть.

Питательные растворы готовят так же, как и в песчаных культурах; вносят их в соответствии со схемой опыта из расчета на 1 л воды.

*Подготовка растений к посадке.* В вегетационных опытах с водной культурой растения высаживают в виде проростков. Существует несколько способов подготовки растений к посадке описанных ниже:

*Метод А.В. Кузнецова (1977) и Ю.П. Жукова (1987).* Семена растений проращиваются на кварцевом песке. Перед закладкой опыта песок сначала промывается водопроводной водой для удаления органических остатков и мельчайших частиц. Затем вода сливается из сосудов, а поверх песка наливается соляная кислота. Сосуды покрываются стеклами и оставляются в специальном помещении – вегетационном домике. Ежедневно песок перемешивается деревянными палочками. Через неделю песок отмывают от кислоты сначала водопроводной водой, а затем дистиллированной до тех пор, пока вытекающая вода не будет давать отрицательную реакцию на хлор-ион с AgNO<sub>3</sub>.

Когда длина корешков достигает 2–3 см, проростки пересаживают на сетки, помещенные на кристаллизаторы, в которые наливается водопроводная вода, которая сменяется ежедневно. Через 8–12 дней, когда растения формируют несколько настоящих листьев, а длина корней достигает 5–7 см, растения отбирают для пересаживания в сосуды с питательной смесью.

Отобранные для пересадки в сосуды растения (по два экземпляра) обертывают вокруг семян ватой и закрепляют в отверстиях пробок. Через 10–15 дней, когда растения достаточно разовьются, проводят прореживание, оставляя по одному наиболее типичному для данного варианта растению в каждом отверстии пробки. Для высокостебельных растений в специальном отверстии пробки плотно закрепляют каркас для их поддержания.

*Метод З.И. Журбицкого (1968).* На полулисте обычной писчей бумаги, предварительно увлажненном, раскладывают по одному краю на расстоянии 0,5–1,0 см один от другого и на 0,5 см от края листа бумаги, наклюнувшиеся семена выращиваемых растений. Затем сверху накладывается следующий лист бумаги и вновь раскладываются семена. Так необходимо проделать несколько раз, чтобы разложить нужное для опыта количество семян (рис. 6).

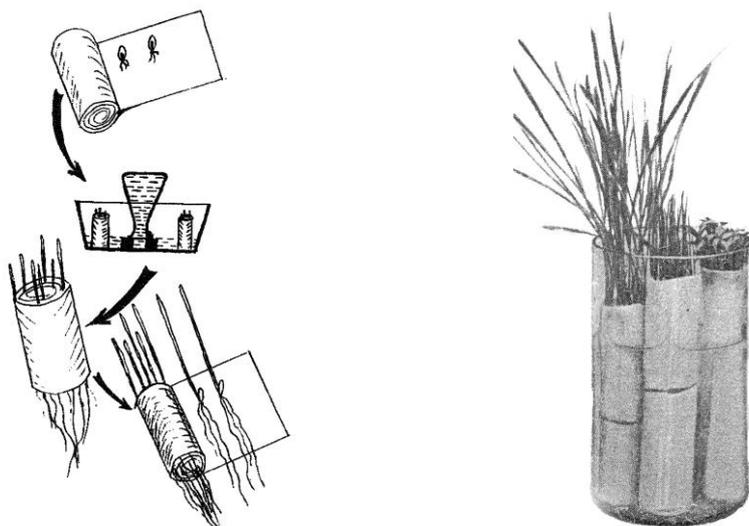


Рис. 6. Проращивание растений в бумажных рулонах

В завершение сверху кладут еще один лист бумаги, и все листы осторожно свертывают в виде плотного рулона. Чтобы рулон не развернулся, его обвязывают ниткой и ставят вертикально в стеклянный сосуд, в который наливают воду на 1–2 см ниже верхнего края. По капиллярам бумаги вода поднимется к семенам. По мере роста корней уровень воды в банке понемногу снижают. Фильтровальная бумага для приготовления рулонов не подходит, потому что в нее проникают мелкие корешки и потом их нельзя вынуть без повреждения. Если нужно обеспечить лучшее развитие растений, после появления всходов в сосуд вместо воды следует наливать разбавленную питательную смесь.

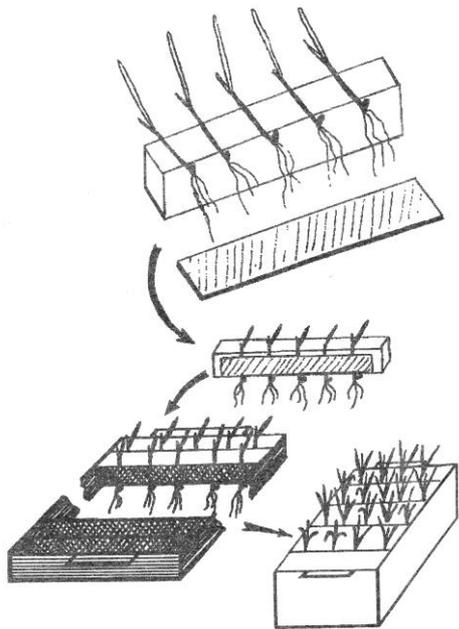


Рис. 7. Способ крепления растений в водной культуре

Для пересаживания в сосуды отбирают одинаковые по длине стебля, по числу и длине корней и листочков растения. Отобранное растение обертывают вокруг семени ватой и закрепляют в отверстие пробки. В каждое отверстие высаживают 2 растения, а через 10–15 дней производят прореживание.

Метод *З.И. Журбицкого (1968) в модификации С.Ф. Коваля и В.П. Шаманина (1999)*. После набухания в воде семена раскладываются на увлажненную бумажную полосу шириной 6–7 см и длиной до 20 см. Зерна должны быть ориентированы поперек полосы, зародышем в направлении нижнего конца будущего рулончика. Оптимальное расстояние от верхнего края полосы составляет 1–2 см. После раскладки полоса скатывается в трубку, и зерна оказываются неплотно зажатými между витками бумажной ленты.

Рулончики устанавливают вертикально (зерном вверх) в сосуд, на дно которого налита вода слоем 1–2 см. В один рулончик следует закатывать до 20 зерен пшеницы, риса, гречихи или 6–8 зерен гороха или кукурузы.

При использовании проростков с первым листом нет необходимости давать растениям элементы минерального питания, но при более длительном проращивании их переносят на питательный раствор в момент появления корней из нижнего конца рулона. Применяют питательный раствор повышенной концентрации (2–3-кратная смесь Кнопа), но наливают его тонким слоем, чтобы не нарушить питание корней. Смену питательного раствора производят через 2–3 дня. Тонкий слой питательного раствора быстро испаряется и концентрируется. Для стабилизации уровня раствора удобно использовать самополивалки в виде наполненных водой и перевернутых широкогорлых колб. Колбы устанавливают в кристаллизатор с рулончиками на небольшие прокладки, высотой которых и регулируют уровень питательного раствора.

Закрепление растений в сосуде иногда удобно производят полосками поролона на рамках (сепараторах), вставляемых в прямоугольный сосуд из винилпласта или нержавеющей стали. Проростки, предварительно выращенные в рулонах бумаги, сортируются по размеру и раскладываются поперек полосы поролона, которая по длине равна щели сепаратора и в 1,5 раза шире ее. Дальнейший порядок зарядки сепаратора показан на рисунке 7.

Зерновки высаженных проростков злаков находятся ниже поролона, т. е. в воздушном пространстве между сепаратором и поверхностью

раствора. Проростки двудольных растений погружают в сепаратор до семядолей, а у гороха семя зажимают в поролоне.

Модификацией описанной конструкции являются кассеты для выращивания растений (рис. 8). Особенно удобны они для выращивания мелкосемянных культур, но могут с успехом применяться и для средне- и низкорослых злаков. Собранный кассета с 3 рядами растений помещается в противень с 3–5 см слоем питательного раствора. Замена питательного раствора производится через 2 дня, а с начала цветения – через 4 дня.

*Техника постановки опыта.* За 1 сут. до высадки растений на сосуды надевают чехлы и наполняют их дистиллированной или бидистиллированной водой в количестве 50–75 % принятого объема.

Затем последовательно в соответствии с записанной в рабочей тетради (журнале) схемой добавляют цилиндром или пипеткой необходимые объемы нужных питательных растворов, вслед за этим объем раствора в сосудах доводят до необходимого уровня (объема) дистиллированной водой, перемешивая его стеклянной палочкой. Общий объем питательного раствора не должен достигать нижнего края крышки (пробки) на 1–1,5 см.

Для пересаживания в сосуды, как уже было отмечено при изложении методов подготовки растений к посадке З.И. Журбицкого (1968), А.В. Кузнецова (1977), Ю.П. Жукова (1987) и их модификаций, необходимо отбирать растения, одинаковые по длине корня, стебля и листьев, по числу листьев и корней. Отобранные, приблизительно одинаковые по развитию, растения (по два экземпляра) обертывают вокруг стебля ватой и закрепляют в отверстия пробок так, чтобы не меньше половины корня было погружено в питательный раствор. Через 10–15 дней, когда растения достаточно разовьются, проводят прореживание, оставляя по одному наиболее типичному для данного сосуда (варианта) растению в каждом отверстии пробки. Дополнительно следует следить за тем, чтобы вата, удерживающая растения в крышке, была всегда сухая; мокрую вату следует заменять сухой; также необходимо следить за тем, чтобы стебель растений не опускался под крышку.

*Наблюдения и уход за растениями.* С момента закладки опыта необходимо вести постоянные наблюдения за растениями и записывать их в рабочую тетрадь. Растения, имеющие высокий стебель, подвязываются к специальной палочке, укрепленной в сосуде или крышке. Регулярно, при-

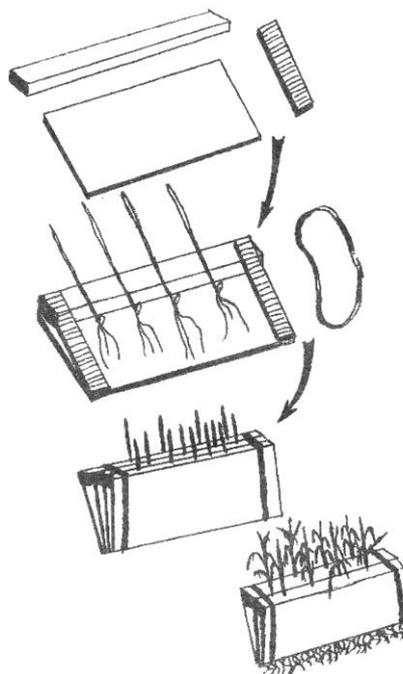


Рис. 8. Водная культура в кассетах.

мерно каждую неделю, если это предусмотрено задачами опыта, проводят измерение высоты растений, подсчитывают количество образовавшихся листьев, отмечают начало и конец каждой фазы развития растений. Особо отмечают отклонения в росте у отдельных растений, заболевания, повреждение вредителями. Применять химические средства борьбы с болезнями и вредителями следует осмотрительно, т. к. они могут оказать влияние на результаты опыта. Предпочтительнее вредителей удалять вручную, а заболевшие растения, если есть ещё возможность, лучше удалять.

Для доставки корням растений кислорода растворы водных культур ежедневно продуваются в течение 5–10 мин. Пятиминутного продувания достаточно для молодых растений, а также для слабо развивающихся растений. Десятиминутное продувание применяется в период наибольшего роста растений. Перед уборкой продувание сосудов прекращается. Оптимальная скорость выделения пузырьков при продувании 2–3 шт./с. Аэрацию проводят через постоянно закрепленные в сосудах трубки при помощи автоматизированных компрессоров. Продувание можно осуществить и механически с помощью резиновой груши. Аэрация не обязательна, если корни неполно погружаются в раствор (примерно 1/3 их находится в воздухе) или закрепляются в мелких широких сосудах.

Систематически при проведении опытов с водной культурой по мере испарения раствора необходимо доливать сосуды дистиллированной водой до метки и проверять реакцию среды. Кислотность среды измеряется 2–3 раза в неделю с помощью рН-метров или индикаторной бумаги. При подкислении или подщелачивании питательного раствора оптимальную реакцию его можно восстановить, добавляя каплями соответственно растворы щелочи или кислоты, однако, в этих случаях целесообразнее сменить питательный раствор. Мел, добавленный в раствор, поддерживает рН 6,5.

В водных культурах, как и в песчаных, при подщелачивании среды железо утрачивает подвижность, что приводит к хлоротичности растений. В минеральной форме оно доступно для растений при рН раствора до 5,0–5,5; при рН 6 и ниже железо следует вносить в виде лимоннокислой соли, при рН до 7 – в виде комплексного соединения с хелатом (например, в форме этилендиаминотетраацетата железа Fe-ЭДТА). Хелат железа можно изготовить, смешав хлористое железо с трилоном Б (этилендиаминотетраацетатом натрия). При проявлении хлороза растений в раствор необходимо добавить несколько капель лимоннокислого железа. Если хлороз не исчез, растения переносят на слабый раствор сернокислого или хлористого железа (1–2 г соли на 1 л воды). Время нахождения растений в таком растворе ограничивается 3–6 ч, затем они пересаживаются обратно.

Важным моментом для вегетационных опытов с водной культурой является смена питательного раствора за вегетационный период. Смена питательных растворов необходима для восстановления содержания использованных питательных элементов, поддержания их равновесия и устранения накопившихся в процессе эксперимента вредных веществ. Для сменных водных растворов приходится допускать известное истощение растворов каждой смены. Пока нет данных, до какого уровня можно допускать снижение концентрации питательного раствора без существенного снижения урожая, до-

пускается использование питательных элементов из раствора на 60 %. Допускать полного использования растениями элементов питания из раствора, конечно, нельзя, т. к. при сильном снижении концентрации будет снижаться потребление элементов и задерживаться рост и развитие растений.

Сопоставляя содержание элементов питания смеси с потребностью растений, устанавливают сроки смены питательных растворов. Расчеты можно вести для какого-нибудь одного элемента, поскольку соотношения между элементами устанавливаются в соответствии с потребностями растений, одновременно они будут действительны и для любого другого элемента. Чем меньше вегетационные сосуды, чем ниже концентрация солей и больше растений, тем чаще должны сменяться растворы. При изучении в водной культуре значения рН, его влияния на поглощение питательных веществ и связи с другими процессами обмена опыты рекомендуются проводить в сосудах большого объема с небольшим количеством растений при постоянном перемешивании раствора. В опытах по изучению роли микроэлементов допустима смена раствора один раз в неделю для сосудов емкостью 1 л; частая смена раствора нежелательна, т. к. может маскировать появление признаков недостаточности. В общем частота смены растворов в водных культурах зависит от задачи эксперимента и определяется объемом сосудов и видом растений. Двухнедельный интервал рекомендуется для растений, образующих большую вегетативную массу, но более приемлема еженедельная смена раствора или даже 2 раза в неделю. Для сосудов объемом 1–2 л принято сменять раствор один раз в неделю. Между сменами растворов следует ежедневно доливать в сосуды воду, теряемую растением в процессе транспирации. Лучшее средство сохранения состава питательного раствора – его возобновление со скоростью, при которой изменение концентрации сведено до минимума.

Следует учитывать также погодные условия, например, из-за холодной и пасмурной погоды рост растений задерживается и они потребляют меньше питательных элементов; в такие периоды не следует усиливать питание, т. к. оно не усваивается растениями. Кроме того, в зависимости от количества питательного раствора, приходящегося на одно растение, решают вопрос о частоте смены растворов и о необходимости внесения солей дополнительно в питательный раствор.

*Уборка и учет урожая.* Уборку и учет урожая в опытах с водной культурой проводят так же, как при использовании почвенной, но здесь в обязательном порядке учитывают и массу корней. Все результаты по каждому опыту заносят в рабочую тетрадь, в лаборатории проводят необходимые анализы по качественным и другим показателям, затем все данные опыта обрабатывают статистически и заносят в журнал.

*Журнал вегетационного опыта.* Он является сводным документом, в котором записывают задачи, программу и схему опыта, методику исследования, сопутствующие наблюдения, полученные и обработанные результаты, величину урожая, показатели качества и др. В дальнейшем результаты исследований оформляют в виде таблиц и графиков с соответствующими выводами, рекомендациями.

#### 2.2.4. Метод текучих растворов

*Эксперимент, опыт – это такое изучение, при котором исследователь искусственно вызывает явления или изменяет условия так, чтобы лучше выяснить сущность явления, происхождение, причинность и взаимосвязь предметов и явлений. Опыт – ведущий метод исследования, включающий наблюдения, корреляции, строгий учет измененных условий и учет результатов. Характернейшая черта и главная особенность любого точного научного опыта – его воспроизводимость.*

##### **Б.А. Доспехов**

*Метод текучих растворов – разновидность вегетационного опыта. Выращивание растений в специальных сосудах с кварцевым песком или в водных культурах, через которые постоянно медленно пропускается питательный раствор.*

##### **З.И. Журбицкий**

В песчаных и водных культурах, вследствие питания растений, концентрация и реакция питательного субстрата меняются. Изменение реакции среды обусловлено способностью растений в соответствии с потребностями своего организма избирательно потреблять из питательной среды анионы и катионы. В разные фазы вегетации растений соотношение поглощенных катионов и анионов неодинаковое. Особенно неравномерно поглощаются ионы азота. Если по условиям опыта необходимо в течение длительного периода поддерживать строго постоянную концентрацию питательного вещества или постоянное соотношение между элементами минерального питания или постоянную реакцию среды, следует прибегнуть к модификации вегетационного метода, названного методом текучих растворов. Данный метод позволяет обеспечивать постоянство состава питательного раствора в течение проведения эксперимента, – строго постоянные концентрацию и соотношение элементов питания в растворе по разным периодам вегетации растений. Кроме того, что не менее важно, можно в зависимости от целей и задач опыта в любой день изменить состав питательного раствора: включить или вовсе исключить растение одного или нескольких элементов питания.

Оборудование для поддержания постоянной скорости смены раствора в песчаной и водной культурах, предложенное в разное время различными авторами, мало чем отличается по своему устройству. В простейшем варианте оно состоит из закрытой бутылки (сосуд Мариотта) с отверстиями для впуска воздуха и выпуска жидкости. Первое расположено почти у самого дна, второе – у основания сосуда; жидкость можно выпускать и через сифон, укрепленный в горловине бутылки. Регуляция скорости потока достигается изменением «напора воды», т. е. изменением относительного расположения отверстий для ввода воздуха и слива раствора. Устройство для поддержания постоянной смены раствора и постоянного уровня его в водной культуре, предложенное впервые в 1927 г. Дж. Шайвом с сотрудниками, показано на рис. 9. Здесь скорость потока регулировалась изменением величины отверстия простой капиллярной трубки.

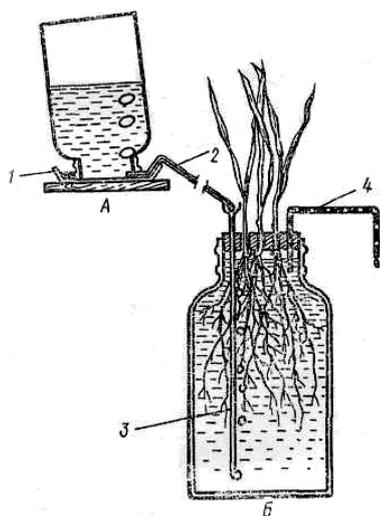


Рис. 9. Приспособление для выращивания растений методом текущих растворов. А – резервуар постоянного уровня; Б – вегетационный сосуд;

1 – плоское стеклянное блюдо, 2 – сифон ( $d=0,5-1$  мм). 3 – выпускная трубка, с выходящими пузырьками воздуха, 4 – выпускная трубка

Для выращивания растений методом текущих растворов И.Г. Диксар предложил более совершенную установку, обеспечивающую постоянное обновление питательного раствора в вегетационных сосудах. Установка данного метода показана на рис. 10.

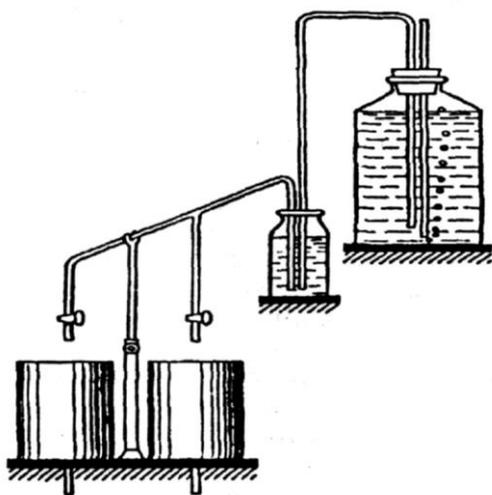


Рис. 10. Схема устройства для текущих растворов

Опыт размещается на вагонетке с тремя полками на разной высоте или же на стеллаже. В большой бутылки вместимостью 16–20 л находится питательный раствор, который по сифону переливается в маленькую бутылку, расположенную ниже большой на 5–6 см. Переливание происходит автоматически до уровня, определяемого положением второй (прямой) стеклянной трубки, служащей для впускания воздуха в большую бутылку взамен вытекающего питательного раствора. В горлышко маленькой бутылки вставлен второй сифон с двумя отростками, оканчивающимися на высоте 4–5 см над сосудами, в которых выращиваются растения. В этих

отростках часть стеклянной трубки заменена каучуковой, на которой установлен винтовой зажим, в конец каучуковой трубки вставлена стеклянная оттянутая трубка, чтобы не допускать произвольного изгибания каучуковой трубки. Винтовыми зажимами вручную регулируется скорость вытекания раствора, она будет сохраняться постоянной при условии, что разность уровней между уровнем раствора в маленькой бутылке и окончанием отростков сифона над сосудами остается все время практически постоянной. Такое постоянство достигается в данной установке тем, что в большой бутылке имеется стеклянная трубка для выпуска воздуха, положение нижнего конца которой определяет уровень раствора в маленькой бутылке.

По мере вытекания раствора из маленькой бутылки создается разница между уровнем раствора в маленькой бутылке и концом трубки, выпускающей воздух в большую бутылку. Вследствие этого из большой бутылки по сифону часть раствора переходит в маленькую бутылку и на его место входит воздух. Переливание по большому сифону прекратится, как только уровень раствора в маленькой бутылке достигнет уровня конца трубки, выпускающей воздух в большую бутылку. Большая бутылка должна быть герметически закрыта пробкой с двумя стеклянными трубками, иначе если воздух будет проходить через горло бутылки, то сифон будет работать беспрепятственно и вскоре весь питательный раствор из большой бутылки вытечет. Маленькую бутылку можно вовсе не закрывать пробкой, которая служит только для защиты от пыли. В вегетационных сосудах, используемых для этих опытов, имеется отверстие для вытекания раствора. Обычно в это отверстие вставляется резиновая пробка со стеклянной трубкой. Здесь надо обеспечить свободное протекание раствора и не допустить прохождения песка. Для этого стеклянную трубку перекрывают стеклянной ватой. Чтобы во время опыта стеклянная вата не прошла через трубку, часть ваты расстилают на дне сосуда и прижимают ее песком. Вместо стеклянной ваты или одновременно с ее применением отверстие в дне сосуда можно перекрыть опрокинутым часовым стеклом так, чтобы под его края просачивался раствор, но не проходил песок (Журбицкий З.И., 1968).

Имея запас свежего питательного раствора в бутылке и регулируя скорость притока раствора в сосуд, а следовательно, и оттока, можно в песке осуществлять возобновление питательной смеси с постоянной концентрацией и реакцией.

В песок питательные вещества не вносятся. Для питания растений используется сильно разбавленная смесь Гельригеля или Кнопа, которая приготавливается в большом объеме.

В опыте с текучими растворами может быть достигнута скорость потока от 1 до 2 л/сут. в зависимости от конструкции подающего и распределяющего раствор устройства. Наилучшие условия для роста и развития растений создаются при скорости протекания раствора через сосуд 4 л/сут.

Описанная установка для текучих растворов при всей ее привлекательности не лишена недостатков. Во-первых, трудно установить при помощи винтовых зажимов равномерность протекания питательного раствора во всех вариантах эксперимента. Если этого удалось достигнуть, то

вскоре равномерность нарушается из-за изменения упругости каучуковых трубок на солнце. Во-вторых, питательный раствор, поступающий по каплям в сосуды, не растекается по всей поверхности сосуда и промывает сравнительно небольшое цилиндрическое пространство, находящееся непосредственно под концом сифона. При этом в остальной части сосуда смена питательного раствора происходит медленно. В-третьих, большой расход дистиллированной воды. За период вегетации только для одного сосуда он превышает сотни литров.

Для устранения отдельных недостатков метода З.И. Журбицкий (1968) предложил для равномерного полива субстрата и растений в сосудах использовать качающиеся трубки и качающиеся кюветки, дистиллированную воду заменить специально подготовленной водопроводной водой. Подготовка воды заключается в установлении устойчивой реакции (рН) в нужном интервале и вытеснении углекислоты. Из-за содержания в воде гидрокарбонатов кальция и магния реакция водопроводной воды, как правило, бывает щелочной, ее сдвигают в слабокислую сторону добавлением серной кислоты. Углекислоту устраняют длительным продуванием воздуха.

Модификация метода текучих растворов и принцип работы качающихся трубок и кювет подробно описаны в книге З.И. Журбицкого «Теория и практика вегетационного метода» (1968).

#### **2.2.5. Метод изолированного питания**

*Часто говорится, и не даром, что наука движется толчками в зависимости от успехов, делаемых методикой. С каждым шагом методики вперед мы как бы поднимаемся ступенью выше, с которой открывается нам более широкий горизонт, с неведомыми раньше предметами.*

**И.П. Павлов**

*Метод изолированного питания – вегетационный метод исследования, в котором корневая система разделяется на две или более частей, что позволяет давать отдельным частям любые сочетания элементов питания и выявить их взаимодействие.*

**В.Ф. Волобуева, И.И. Серегина**

Метод изолированного питания позволяет изучать: 1) роль отдельных корней в питании растения; 2) передвижение элементов питания по корневой системе и их выделение в окружающую среду; 3) взаимодействие двух или нескольких солей в питательной среде и влияние этого взаимодействия на жизнедеятельность растений. Принцип этого метода изолированного питания состоит в том, что растение одновременно выращивают на двух субстратах. Для этого берут два сосуда разного диаметра и заполняют их питательными субстратами. В качестве субстрата для изолированных культур используют воду, песок, почву, а также их комбинации. Опыты с песчаной, водно-песчаной, песчано-почвенной культурами проводят в обычных цилиндрических, прямоугольных или квадратных стеклянных сосудах, разделенных перегородками на две или

несколько частей или вставляемых один в другой. При этом высота внутреннего сосуда должна быть ниже внешнего не менее чем на 2–3 см. Если нет подходящих по высоте внутренних сосудов и они небольшой высоты, то их приходится во внешнем сосуде ставить не на дно, а на подставку или непосредственно на используемый песчаный субстрат. Подготовленные проростки растений высаживают таким образом, чтобы одна половина корней каждого растения получала питание из внешнего сосуда, другая – из внутреннего сосуда (рис. 11).

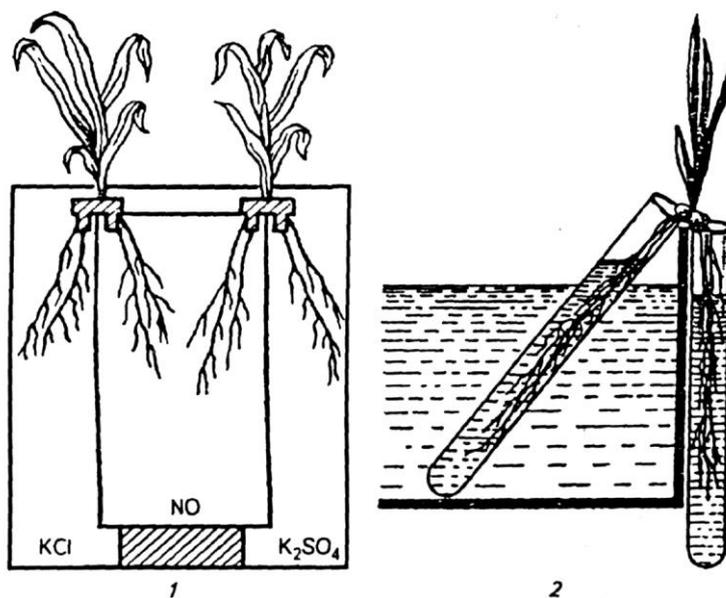


Рис. 11. Метод изолированного питания:  
1 – корни находятся в разных питательных смесях;  
2 – корни находятся при разных температурах

Ниже приводим методику проведения эксперимента по методу изолированного питания растений в описании З.И. Журбицкого (1968).

При закладке опытов с песчаными культурами сначала набивают меньшие сосуды, так же, как это описано в разделе о песчаных культурах. Затем приступают к набивке больших сосудов. На их дно также укладывают горку из гравия, марлевый кружок и поливную трубку. Питательные элементы в этих опытах не распределяются пропорционально количеству песка в каждом сосуде, поскольку задача заключается именно в выделении отдельных изучаемых элементов в один из сосудов, с тем, что оставшая часть питательной смеси будет дана во второй сосуд. При набивке сосудов каждая порция песка увлажняется до 60 % от полной влагоемкости, т. е. на каждый килограмм песка приливается в сумме 150 мл питательных растворов и воды. В дальнейшем при поливах воду, доливаемую до постоянного веса сосудов, следует распределять между сосудами пропорционально количеству песка в каждом из них.

Наиболее ответственным моментом при закладке опытов по изолированному питанию растений является посадка растений. Для посадки необходимо подготовить довольно большие растения, имеющие корни длиной не менее 4–5 см. Пророщенные семена высаживают на парафинированную сетку над дистиллированной водой и выдерживают в течение 7–12 дней, пока не образуются корни достаточной длины. Если опыты проводятся с растениями, имеющими стержневую корневую систему, то после отрастания корня длиной 1,5–2 см при посадке на сетку у него для обеспечения ветвления отрезают кончик.

Растения высаживают в сосуды на специально подготовленные пробки. В песчаных культурах для каждого растения берутся отдельные пробки, а в водных – можно использовать на весь сосуд одну деревянную пробку с необходимым количеством отверстий для посадки растений и с добавочными отверстиями для укрепления палочек, поддерживающих растения, трубок для продувания и воронок для подливания воды.

Для посадки отбираются по возможности одинаковые растения с хорошо развитой корневой системой. Желательно, чтобы каждое растение имело четное число корней, тогда их легче разделить на две одинаковые пряди. Посадку лучше производить к вечеру, когда ниже температура и меньше инсоляция, чтобы растения испарили меньше воды. Корни отобранных растений в течение всей работы по посадке должны находиться в воде. Растение с влажными корнями вставляют в цилиндрическое отверстие в пробке. На стенках сосудов намечают места посадки растений (крепления пробок). Напротив этих меток в песке внутреннего и наружного сосудов сделаны глубокие, просторные косые бороздки, в которые можно будет легко и быстро вложить и расправить пряди корней. Корневую систему осторожно разделяют на две равные пряди и пробка вместе с растением насаживается на стенку внутреннего сосуда в заранее намеченное место. Корни укладываются в бороздки и немедленно заделываются песком при помощи сильной струи дистиллированной воды из промывалки. При этом песок в сосуде несколько переувлажняется, поэтому надо следить, чтобы воды не было больше чем по расчету на 80 % от полной влагоемкости, иначе аэрация песка будет недостаточной и приживание растений затруднится. Небольшое переувлажнение (сверх 60 % от полной влагоемкости) и снижение концентрации питательного раствора у корней вследствие заделки их струей дистиллированной воды благоприятны для приживания растений. Верхние части корней у самой пробки заделываются влажным песком, а стебель укрепляется в отверстии пробки ватой. Особо надо позаботиться о контрольных сосудах.

Необходимо иметь контроль на вычленение отдельных элементов в одном из сосудов. Для этого закладываются сосуды с внесением одинаковой полной питательной смеси в оба сосуда, причем, общее количество питательных элементов должно быть одинаковым в контрольном и опытном вариантах. Второй контроль необходимо сделать на деление корневых прядей и посадку их в особые условия в пробки. Для этого ставят вариант с обычной песчаной культурой без деления корней. Все контрольные варианты закладываются одновременно, с совершенно одинаково подготовленными рас-

тениями. В песчаных культурах для посадки растений с длинной корневой системой в песке подготовленного сосуда углубление делается так, чтобы в нем можно было расположить корневую систему в отвесном положении.

Соблюдая основные положения этого метода, каждый исследователь может модифицировать его в соответствии с задачами опыта и выращиваемыми растениями.

### 2.2.6. Метод стерильных культур

*Только зная потребности растения и свойства среды, мы можем отыскать приемы воздействия на среду (преимущественно почву) и на самое растение, которые позволяют по возможности изменить свойства окружающей среды в соответствии с потребностями растения в целях повышения урожая.*

#### Д.Н. Прянишников

*Метод стерильной культуры – разновидность вегетационного опыта, в который растения выращивают в питательной среде, совершенно лишенной микроорганизмов.*

#### З.И. Журбицкий

*Стерильные культуры* используют для выяснения влияния микроорганизмов на питание растений, изучения корневых выделений и возможности питания растений органическими соединениями. Для проведения таких экспериментов чаще используют конические колбы. Горло колбы должно быть небольшим, но достаточным для высаживания и выращивания растения, и плотно закрывалось пробкой (рис. 12).

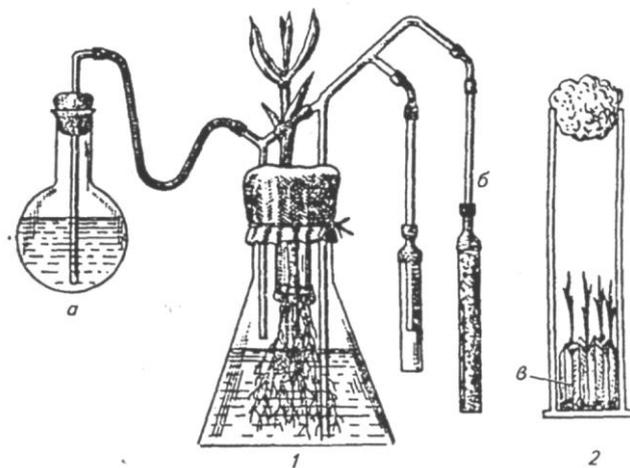


Рис. 12. Стерильные культуры:

- 1 – вид культурального сосуда (а – емкость с питательным раствором; б – приспособление для аэрации и отбора проб);
- 2 – упрощенный способ для проростков (в – складчатый фильтр)

Питательные растворы и специально оборудованные сосуды, применяемые для опытов со стерильными культурами, автоклавируют, поэтому используемые стеклянные сосуды и различные трубки должны быть жаростойкими и не трескаться в процессе стерилизации при давлении 2 атм. Каучуковые трубки не должны слипаться при стерилизации в месте зажима. Чаще всего для этих целей используются медицинские зонды, предварительно прокипяченные в дистиллированной воде.

Сосудами для стерильных культур служат конические колбы на 1,5; 3 и 5 л в зависимости от условий опыта и продолжительности выращивания растений. Горло колбы должно быть таким, чтобы в него плотно входило смонтированное приспособление для посадки растений. При монтаже сосудов все соединения делают очень плотными, чтобы не нарушалась стерильность. Когда все подготовительные работы закончены, приступают к окончательной монтажке и стерилизации сосудов, причем окончательно монтируют только те сосуды, которые в тот же день будут стерилизоваться.

В зависимости от целей и задач исследований можно использовать любую питательную смесь, в т. ч. и с микроэлементами, исключая или добавляя в нее элементы, изучаемое соединение как органического, так и минерального происхождения.

Стеклянную посуду и песок стерилизуют, прокаливая в течение 2 ч при 150°C. Питательные растворы иногда нагревают до 100°C, несколько дней хранят при комнатной температуре и снова нагревают; считается достаточной трехкратная обработка. Культуральные сосуды из полиэтилена, перлоновую марлю, пенопласты и другие, не выдерживающие нагревания материалы, которые используются для монтажа стерильных культур, погружают на 20 ч в раствор хлорной извести, споласкивают 50 %-ным метанолом и стерильной дистиллированной водой.

Сосуды с растениями прикрывают чехлами для предотвращения нагревания раствора, корневой системы и попадания на них солнечных лучей. Семена стерилизуют растворами различных препаратов, но обязательно промывают стерильной дистиллированной водой. Для лучшего смачивания семена перед стерилизацией погружают на несколько минут в 96 %-ный этиловый спирт для обезжиривания поверхности. Зерновки пленчатых культур (ячмень, овес, рис) перед стерилизацией рекомендуются освободить от колосковых и цветковых чешуй.

Существует несколько способов стерилизации семян: 1) погружение на 10–15 мин в 1 %-ный водный раствор брома и промывка стерильной дистиллированной водой; 2) замачивание в 0,001 % водном растворе этилмеркурфосфата в течение 5 мин и промывка; 3) помещение на 12–15 мин в 12–15 %-ный раствор пероксида водорода и промывка; 4) погружение на 15–20 мин в 0,1 %-ный раствор формальдегида и промывка; 5) встряхивание в течение 5 мин в растворе, состоящем из 3 частей 90 %-ного метанола и 1 части 1 %-ного  $\text{HgCl}_2$ , посев проводят после подсушивания; 6) встряхивание в фильтрате в течение 45 мин и посев в сосуды без прополаскивания и высушивания (фильтрат готовят, растворяя 10 г  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  или  $\text{NaOCl}$  в 150 мл воды, затем фильтруют); 7) погружение очищенных от лузги семян подсолнечника на 15 с в 80 %-ный раствор метанола и промывка;

8) погружение семян пшеницы на 30 с в 80 %-ный раствор метанола и промывка; 9) 12,8 %-ный препарат бензалкониум-хлорида, разведенный водою в соотношении 1:1000, хорошо стерилизует семена, но угнетает последующий рост растений. Возможна стерилизация семян в пламени. Для этого семена намачивают в 95 % этаноле, который поджигают от пламени спиртовки и выдерживают до полного сгорания спирта с поверхности семян. Стерилизация в пламени пригодна для крупносемянных бобовых культур.

Питательные среды стерилизуют путем внесения пенициллина и других антибиотиков в концентрациях порядка 3–10 мг/л или облучения ультрафиолетовым светом при условии, что они не оказывают влияния на изучаемый процесс. Растительные материалы (черенки, корневища) стерилизуются погружением на 15–20 мин в 1 %-ный раствор гипохлорита натрия. Посев производится в стерильных боксах, оборудованных бактерицидными лампами. Все инструменты, вата стерилизуются. После окончания опыта проверяется стерильность растворов путем микробиологических посевов.

Стерилизованные семена проращиваются в стерильном боксе. Когда основная масса семян наклонится, приступают к их посеву в стерильные сосуды. Не следует допускать перерастания, т. к. большие корешки (больше 1 см) обламываются при посадке. Перед посевом у стерильных сосудов отжимают каучуковые трубки, доливают воду или питательный раствор до сетки посевной трубки и осторожно продувают растворы. Вносят их в комнату перед боксом и протирают все стеклянные поверхности спиртом.

Семена на сеточку проталкивают через зажим Мора пинцетом. После посева проверяют положения семян на сеточке. Если семена лежат корешками вверх, легким продуванием раствора семена поворачивают. На сосуды снизу надевают двойные мешочки и ставят на место. Продувание раствора производят ежедневно. В конце опыта необходимо брать пробы для проверки стерильности питательного раствора.

### **2.3. Вегетационно-микрополевой опыт**

*Вегетационно микрополевой опыт – эксперимент, проводимый в сосудах без дна, вкопанных вровень с поверхностью поля и наполненных изучаемой почвой.*

**А.П. Сметанин, В.А. Дзюба, А.И. Аprod**

В классическом вегетационном опыте, поставленном в специальных сооружениях, температурный режим обычно весьма далек от естественного, а водообеспечение регулируется по воле экспериментатора. Его результаты ничего не говорят о том, как изучаемые параметры будут модифицироваться в полевой обстановке. Частично это устраняется при вегетационно-микрополевом методе исследований, который точнее воспроизводит экологические условия зоны, в т. ч. естественный ход погодных условий, и использование растением подпочвенных горизонтов.

Вегетационно-микрополевой опыт закладывается в сосудах без дна глубиной 50–60 см, вкопанных вровень с поверхностью поля и наполненных изучаемой почвой. Можно использовать траншею, выстеленную по стенкам полиэтиленовой пленкой и разделенную поперечными перегород-

ками на отдельные участки, имитирующие сосуды. Если схемой опыта не предусмотрено изучение режима орошения, то производится только влагозарядковый полив, а остальная вода поступает к растению за счет естественных осадков и из подпочвенных горизонтов. Вегетационно-микрополевым методом незаменим при изучении почвенной симбиотической и патогенной микрофлоры, некоторых насекомых-вредителей. Заражение почвы корневой гнилью злаков, серой гнилью подсолнечника, вилтом хлопчатника не позволяет заложить обычный полевой опыт по изучению вредоносности этих болезней, т. к. невозможно иметь стерильный контроль. Классический вегетационный метод для этого не вполне корректен, т. к. в естественной обстановке вредоносность патогена резко усиливается действием неблагоприятных экологических условий. Используя данный метод, легко отделить влияние на растение плодородия данной разновидности почвы от эффекта климата той зоны, где эта почва сформировалась. Вегетационно-микрополевые сосуды могут быть наполнены почвой, привезенной из иных климатических зон. Такой подход оправдан при изучении вклада почвы и климата в реализацию потенциальной продуктивности растений. Практически неограниченный объем сосудов позволяет в этом случае вести исследования с учетом одного из главнейших для растения свойств почвы – ее высокой буферности. Этим они удобны при изучении влияния экологических факторов на рост растений. Основным недостатком вегетационно-микрополевого метода является его зависимость от погодных условий конкретного года. Но комбинация его с засушниками, глухими пленочными покрытиями для повышения температуры или затеняющими марлевыми пологам открывает для экспериментатора широкие возможности. Подробно этот вопрос будет освещен при изложении полевого опыта.

В агрохимических и мелиоративных исследованиях в вегетационно-микрополевым опыте имеет смысл использовать не насыпку сосудов почвой, а монолиты, вырезанные в почвах различных ландшафтов и вкопанные на одном полигоне. Естественная пестрота почвенного покрова в этом случае должна компенсироваться увеличением числа повторностей. Кроме того, монолиты-повторности следует вырезать на выровненном участке, по возможности ближе друг к другу. Глубина монолита определяется целью опыта и может достигать 3 м. Монолиты короче 60 см, видимо, не дают преимущества перед насыпными сосудами. Поперечное сечение монолита должно быть больше, но оно ограничивается грузоподъемностью имеющихся у экспериментатора лебедок и транспортных средств.

В дополнение к перечисленным выше областям исследования монолиты позволяют перенести из зоны в зону микроучастки естественной растительности с характерной для них химической, физической и биологической средой корнеобитания. Наблюдения в течение длинного ряда лет над переселенными в монолитах растениями позволяют определить роль климатических факторов в заселении ими первоначальных мест обитания. Закладка опытов в монолитах очень трудоемка, и использование их имеет смысл только при проведении многолетних комплексных наблюдений над системой растение-почва-климат. Строительство полигона монолитов по силам только крупным институтам, способным оборудовать его датчиками для регистрации температуры и

влажности, pH; организовать анализ лизиметрической воды и выноса отдельных элементов растениями (Коваль С.Ф., Шаманин В.П., 1999).

Вегетационно-микрополевые опыты нашли широкое применение в экспериментах с рисом. Сооружения для их проведения изготавливают из кирпича или железобетонных блоков и располагают над поверхностью или ниже уровня почвы (рис. 13; Сметанин А.П., Дзюба В.А., Апрод А.И., 1972). Емкость выстилают полиэтиленовой пленкой для предотвращения утечки воды и заполняют почвой, взятой с рисовых чеков.

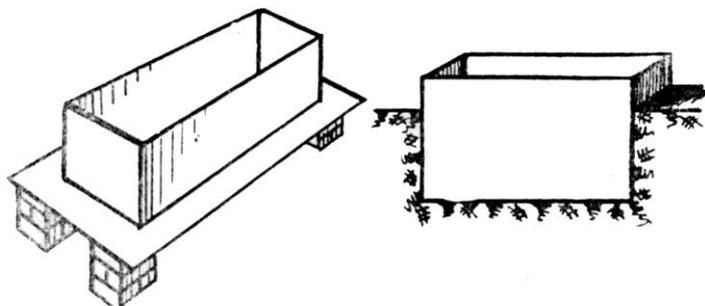


Рис. 13. Сооружение для выращивания растений риса в вегетационно-микрополевом опыте.

Режим орошения риса в вегетационно-микрополевом опыте соответствует рекомендованному для производственных посевов. Главное назначение этих сооружений – приблизить температурный режим в зоне размещения корней к наблюдаемому в полевых условиях, а также поддерживать физиологически обоснованный слой воды в соответствии с фазой развития растений.

#### 2.4. Лизиметрические исследования

*Во всех высших отраслях знания самая главная трудность состоит не в отыскании явлений, а в нахождении истинного метода, с помощью которого можно было бы установить законы явлений.*

##### Бокль

*Лизиметрический сельскохозяйственный эксперимент – исследование жизни растений и динамики почвенных процессов в специальных лизиметрах, позволяющих учитывать передвижение и баланс влаги и питательных веществ в естественных условиях.*

##### Б.А. Доспехов

*Лизиметрические исследования – это исследование жизни растений и динамики почвенных процессов в специальных сооружениях – лизиметрах, которые позволяют учитывать передвижение и состав фильтрующихся вод и вести наблюдения за просачиванием атмосферных осадков в естественных почвенно-климатических условиях. Слово «лизиметр» происходит от греческого *lysos* – растворение, освобождение. Само со-*

оружие, устройство, прибор, с помощью которого учитывают количество просочившейся воды и питательных веществ, называют лизиметром.

Лизиметрические исследования, как полевой и вегетационный метод, относятся к биологическим методам исследований и широко используются в агрохимии, гидрогеологии, агрометеорологии, мелиорации, растениеводстве, экологии почв и ландшафтов. Метод позволяет получать экспериментальные данные в реальной почвенно-геохимической обстановке ландшафта, в конкретном почвенном пространстве и времени. Данное положение обуславливает не только сохранение, но и дальнейшее развитие лизиметрии в наше время, отличающиеся чрезвычайно интенсивным ростом антропогенного воздействия на почвы, агроландшафты и экосистемы поверхностных и подпочвенных слоев земли, что вызывает их деградацию и разрушение.

Использование лизиметрического метода весьма эффективно при изучении: 1) механизмов накопления, передвижения и трансформации влаги и химических веществ в почвах, ландшафтах и экосистемах; 2) механизмов различных почвенных процессов на микро-, мезо- и макроуровнях структурной организации почв, 3) динамики свойств почв, а также при диагностике направленности эволюции элементарных почвенных ареалов в реальных экосистемах. Невозможно переоценить роль лизиметрии в исследованиях проблемы загрязнения почв и ландшафтов техногенными выбросами промышленных предприятий и сельскохозяйственным производством. Информация по этим вопросам крайне необходима, поскольку позволяет понять и осмыслить механизмы и своеобразие изменения почв как среды обитания многих живых организмов с экологических позиций.

Исключительно большие возможности лизиметрического метода в почвенно-экологическом мониторинге. Этому способствуют благоприятные обстоятельства: с одной стороны, уже созданная в нашей стране сеть заповедников и научных стационаров в качестве эталонов (ненарушенных) экосистем, а с другой – наличие несложных, доступных и недорогих лизиметрических устройств. Именно лизиметрические наблюдения в реальных экосистемах (ненарушенных, деградированных и полностью разрушенных при техногенезе) позволяют получить объективные экспериментальные данные по основным направлениям трансформации веществ в системе «приземный воздух – растительность – почва – зона аэрации – грунтовые воды» (Муромцев Н.А., Семенов Н.А., Кирдин В.Ф., Смирнов А.П., Садовская Э.Н., 2007).

*Лизиметрический метод* позволяет изучать выщелачивание органических и минеральных соединений из почвы и внесенных в нее удобрений. Особенно широко в агрохимии лизиметры используются при изучении потерь питательных веществ, вымывающихся при инфильтрации в связи с применением удобрений. Лизиметрические исследования позволяют вскрыть связи между питательными веществами почвы, удобрениями и растениями. На основании сопоставления содержания и поступления питательных веществ в почву с выносом их с урожаем дается основа для составления баланса питательных веществ в почве, необходимая для построения обоснованной системы удобрения.

К основным позициям лизиметрических исследований следует отнести: конструкцию лизиметров, технологию подготовки участка, отбора поч-

вы и заправки ею лизиметров, размеры испаряющей и учитываемой поверхностей, мощность почвенного профиля, цикличность проведения учетов и измерений, однородность условий в лизиметрах и в поле и некоторые другие.

По особенностям конструкции лизиметры подразделяют на бетонные, кирпичные, металлические, пластмассовые, лизиметрические воронки, лизиметрические хроматографические колонки и другие. Независимо от конструкции, ко всем лизиметрам предъявляют единые методические требования:

- должна быть обеспечена возможность вести наблюдения в условиях, близких к окружающей природной обстановке. Для соблюдения этого условия лизиметры вкапывают в грунт таким образом, чтобы уровень почвы в них совпадал с поверхностью окружающей местности;

- для проведения сравнительных исследований или постановки опыта по определенной схеме лизиметры устраивают группами с соблюдением определенного расстояния между ними;

- для сбора фильтрационных вод на дне лизиметра устраивают дренаж и короткие трубопроводы с выводом в подземный коридор, где помещаются специальные приемники стекающей воды. Этот коридор имеет круглосуточное освещение, что позволяет вести наблюдения. Подземное помещение тщательно изолируется, чтобы исключить резкий перепад температуры и попадание в него атмосферных осадков;

- в зависимости от цели исследования лизиметры могут быть парующими или занятыми растительностью. Поэтому расположение лизиметров должно обеспечить нормальный рост и развитие растений и иметь защитные ограждения от повреждений животными и птицами;

- для учета количества выпавших осадков вблизи лизиметров устанавливают дождемеры;

- лизиметры должны быть расположены вблизи агрохимических лабораторий. Это позволит исключить необходимость перевозки лизиметрических вод и более оперативно провести наблюдения.

По способу наполнения почвой лизиметры подразделяют на два типа: *с почвой естественного строения* и *лизиметры с насыпной почвой*. В первом случае в лизиметры берут почву с сохранением генетических горизонтов, во втором почву после просеивания набивают в лизиметры послойно с сохранением генетической последовательности горизонтов. В лизиметрах с малой вместимостью можно использовать почву лишь пахотного слоя. При набивке каждый слой почвы доводят до естественного объема.

Существует несколько конструкций лизиметров, отличающихся приспособлениями для сбора просачивающихся вод и растворенных в них веществ. Лизиметры изготавливают различных размеров в виде цилиндров, кубов, параллелепипедов или воронок (Эбермайера). Стенки и дно лизиметров делают из влагонепроницаемых материалов: бетона, металла, кирпича, пластмассы, включая пластмассовые пленки. Для стока просачивающейся через почву лизиметра воды дно его должно иметь уклон в определенную сторону, где имеется отверстие, через которое просочившаяся вода через трубки соединяется с приемником для сбора фильтрата. Для улучшения стока просочившейся воды на дне каждого лизиметра укладывают дренарующий слой из гравия, песка или щебня.

Для сравнительных исследований лизиметры размещают группами по 10 шт. и более в два или более (но с четным числом) ряда с определенными расстояниями между ними и отдельными приборами, вкапывая их в грунт так, чтобы уровень почвы в них совпадал с поверхностью окружающей среды. Приемники для сбора просачивающихся через почву лизиметров вод помещают в подземных сооружениях, хорошо изолированных от атмосферных осадков, а в осенне-зимне-весенний период от резких перепадов температур (Жуков Ю.П., 1987).

*Бетонные или кирпичные лизиметры* – устраивают для проведения многолетних опытов. Они пригодны для работы с насыпной почвой. Как правило, бетонные или кирпичные лизиметры имеют площадь поверхности каждого от 1 до 4 м<sup>2</sup> и глубину 1 м. Располагают лизиметры парами рядов, между которыми делают подземный коридор, в который выходят трубки из каждого лизиметра со сменными приемниками для сбора фильтрующихся почвенных растворов. На рисунке 14 показан вертикальный разрез лизиметрического сооружения (Пискунов А.С., 2004).

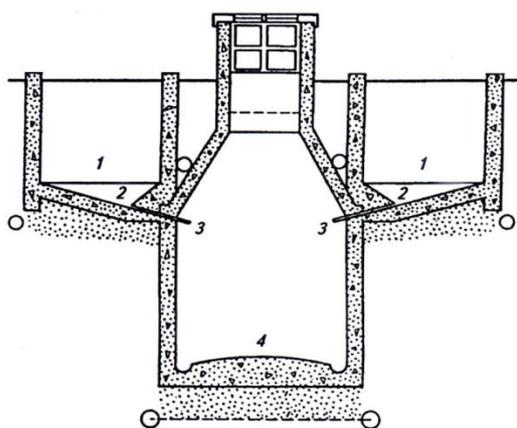


Рис. 14. Вертикальный разрез лизиметрического сооружения:  
1 – емкость для наполнения почвой; 2 – дренажное устройство; 3 – выводная трубка для сбора воды; 4 – коридор

*Металлические и пластмассовые лизиметры* очень разнообразны по конструкции, бывают разной формы (цилиндр, параллелепипед) и емкости. Примером может служить малый металлический лизиметр А.В. Ключерева, представляющий собой тонкостенный стальной цилиндр диаметром 11 см и глубиной 20 см (рис. 15). Снизу к цилиндру, заполненному почвой естественного сложения, герметически прикреплено дно в форме цинковой воронки, в которой помещен дренирующий материал. Для сбора фильтрата служит делительная воронка, соединенная с прибором пробкой с трубками. Чтобы эти лизиметры поместить в грунт, в него предварительно зарывают до краев другие тонкостенные железные цилиндры высотой 50 см, открытые с обоих концов. Диаметр их таков, чтобы стальные цилиндры могли входить в них. Лизиметры с почвой и воронками опускают в эти железные цилиндры и удерживают на крючках. Зазоры между железным цилиндром и лизиметром закрывают специальными цинковыми защитными щитками.

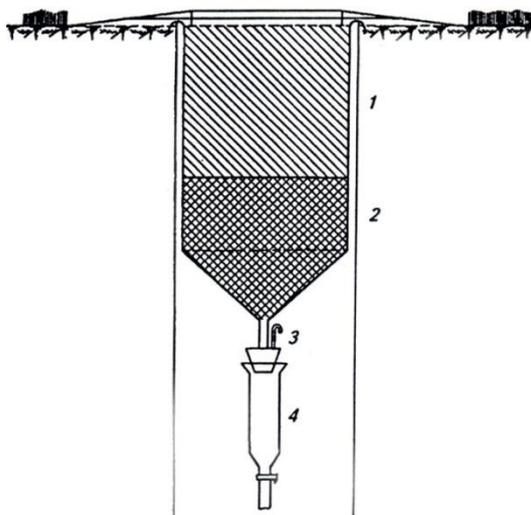


Рис. 15. Вертикальный разрез лизиметра А.В. Ключерева:  
1 – цилиндр с почвой; 2 – дренажное устройство; 3 – трубка для сбора воды; 4 – делительная воронка для измерения объема воды

Металлические лизиметры применяются для работы как с почвами естественного сложения, так и с насыпными. В опытах с насыпной почвой используют лизиметры цилиндрической формы и в форме параллелепипеда, сделанные из листовой оцинкованной стали, иногда изнутри покрытой асфальтовым лаком. На дне их делают, как и в бетонных лизиметрах, дренаж из гравия и песка. Наполненные почвой лизиметры либо непосредственно закапывают в грунт так, чтобы поверхность почвы в них была на одном уровне с поверхностью окружающей местности, либо помещают в другой металлический цилиндр или ящик немного большего диаметра, вкопанный в грунт. В этом случае внешний служит для укрепления стенок ямы, а внутренний – собственно лизиметром. Выемные лизиметры устраивают для того, чтобы их можно было извлекать из ямы и взвешивать. Во всех случаях в дне лизиметра имеется отверстие, соединенное системой трубок с приемником для сбора фильтрата.

Для заполнения почвой без существенного нарушения ее естественного сложения применяют лизиметры с отделяющимся дном, нижние стенки которых заострены. Такой полый цилиндр или параллелепипед врезают в почву полностью, затем осторожно выкапывают его вместе с содержащейся в нем почвой. Дно воронкообразной формы, заполненное дренажным материалом, с отверстием для сбора фильтрата, плотно прикрепляют к выкопанному лизиметру с почвой. Переносят лизиметр на заранее подготовленное место, соединяют с приемником и помещают на одинаковом уровне с окружающей почвой (Юдин Ф.А., 1980; Жуков Ю.П., 1987).

*Лизиметры конструкции Вальтера Вейдбринка в Паулиненнауе.* Паулиненнауские лизиметры построены в Германии в 1967–1968 гг. при Институте повышения урожайности (ныне Опытная станция Паулиненнауе Лейбниц центра агроландшафтных исследований) по замыслу немецкого ученого агрохимика Вальтера фон Вейдбринка. Устройство состоит из 103 лизиметров (65-для низинного торфа, 38-для минеральных почв) и принадлежит к крупнейшим в Европе (рис. 16-19).



Рис. 16. Лизиметрическая станция в Паулиненгауе (внешний вид)



Рис. 17. Подземный коридор лизиметров в Паулиненгауе, где помещены приемники стекающей влаги

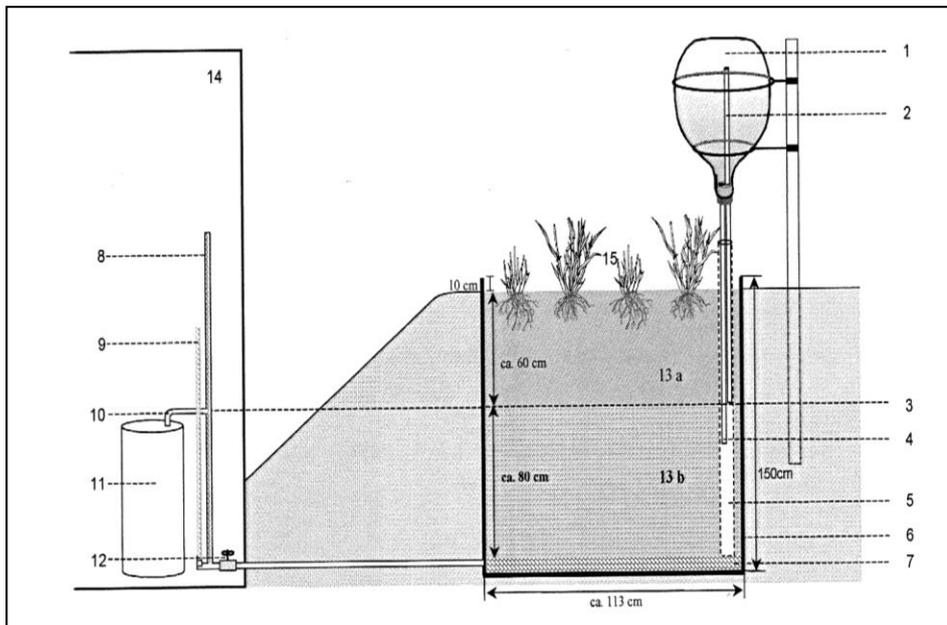


Рис. 18. Вертикальный разрез лизиметра Вальтера Вейдбринка (Паулиненгауе, Германия)

1. Резервуар для приточной воды; 2. Воздушный шланг; 3. Зеркало грунтовых вод;
4. Трубка для водоподачи; 5. Подводящая трубка; 6. Цилиндр из стального листа;
7. Грунтовой фильтр; 8. Сливная трубка; 9. Прозрачный пьезометр; 10. Сливной трубопровод; 11. Сосуд для влагоулавливания; 12. Запорный вентиль;
13. Монолитная среда: а) низинный торф; б) речной песок; 14. Сооружение;
15. Посадочный материал.



Рис. 19. Схема функционирования Паулиненгауских лизиметров. Пояснения дает директор Опытной станции Паулиненгауе доктор Аксель Берендт

*Лизиметрические воронки* являются одной из модификаций металлических лизиметров. Они позволяют проводить исследования с почвами естественного, т. е. ненарушенного строения, а следовательно, получать более объективные результаты по водному и пищевому режиму в конкретных почвенно-климатических условиях. Однако при использовании лизиметрических воронок возможно как затекание воды со стороны, так и отток ее на соседние участки. Поэтому при установке лизиметрических воронок на делянках с разными удобрениями необходимо иметь защитные полосы, как и в полевых опытах.

Впервые лизиметрические воронки для изучения водного режима почв в конце XIX в. применил Е. Эбермайер. Схема устройства и размещения лизиметрических воронок Эбермайера приведена на рисунке 20.

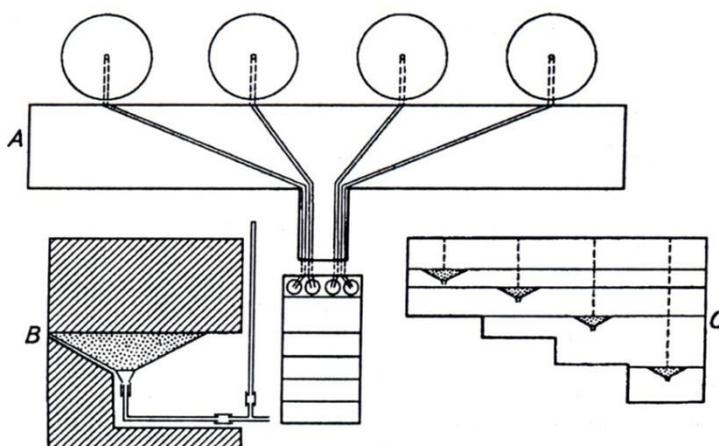


Рис. 20. Лизиметрические воронки Е. Эбермайера:  
 А – общий план; В – разрез одного лизиметра-воронки;  
 С – схема расположения воронок на различных глубинах

Цинковые воронки диаметром 25–50 см имеют глубину 5 см, края их загнуты вверх на 0,5 см и заострены, выходное отверстие прикрыто цинковым кружком с отверстиями 2 мм, вся воронка заполнена дренирующими материалами. Для установки воронок роют траншею глубиной на 50 см больше желаемого размещения каждой воронки. На вертикальной стене траншеи делают ниши на той глубине, на которой запланировано помещать каждую воронку. В ниши вводят воронки и врезают острыми краями их в потолки ниш. Делают люк с крышкой, чтобы можно было спускаться в яму к приемникам. В нишах все эти пустоты снова засыпают землей. Ю.П. Жуков (1987) рекомендует размещать воронки на расстоянии 30–100 см друг от друга вдоль траншеи. При размещении воронок на неодинаково удобренных участках расстояния между ними должны быть больше 200 см. Это позволяет предотвратить отток или приток влаги с соседних участков, т. к. воронки не имеют боковых стенок и вода может просачиваться в них не только с площади, расположенной строго вертикально над воронкой.

*Лизиметры – хроматографические колонки (Метод сорбционных лизиметров – МСЛ).* Метод предложен И.С. Кауричевым и Е.М. Ноздру-

новой (1960). Используется для изучения масштаба миграции водорастворимых органических веществ (ВОВ) и металлоорганических соединений в почвах. В качестве сорбентов применяются оксид алюминия ( $\text{Na}^+$  – форма), синтетические органические иониты и активный уголь. Сорбенты располагаются в специальных колонках в виде автономных слоев мощностью 2–3 см, которые разделяются очищенным от  $\text{Fe}^{3+}$  кварцевым песком (рис. 21). Колонки в двух- и трехкратной повторности устанавливаются в почвенный профиль, под основные генетические горизонты на заданный период времени. Мобильные формы органических и минеральных соединений проникают в колонки и избирательно поглощаются сорбентами. Поступление веществ в лизиметры происходит в результате вертикальной и боковой инфильтрации влаги. Основу МСЛ составляют лизиметрический и хроматографический приемы изучения различных классов водорастворимых веществ (педогенных и техногенных), свободно мигрирующих в почвенном профиле.

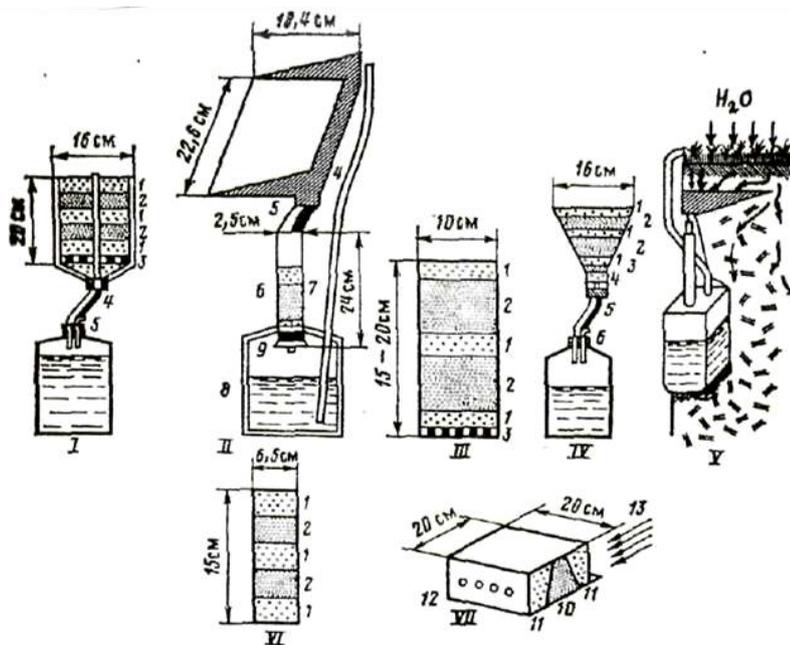


Рис. 21. Лизиметрические хроматографические колонки:

I–IV для сорбции водорастворимых веществ с нисходящим током почвенной влаги; V – расположение лизиметрической хроматографической колонки (конструкции II) в профиле почвы; VI – лизиметрическая хроматографическая колонка для сорбции веществ с восходящим током почвенной влаги; VII – плексиглазовая лизиметрическая хроматографическая колонка для сорбции водорастворимых веществ при боковом внутрипочвенном стоке.

1 – прослой песка (2–2,5 см); 2 – сорбент; 3 – дренаж (слой битого стекла 1,5 см и слой кварцевого песка 3 см); 4 – плоский лизиметр Шиловой (покрытый эпоксидной смолой); 5 – толстостенный шланг, соединяющий лизиметр с сорбционной колонкой; 6 – сорбционная трубка; 7 – вакуумный шланг для откачки воды; 8 – приемник почвенных вод; 9 – резиновая пробка с выводной стеклянной трубкой; 10 – прослой песка; 11 – слой сорбента; 12 – отверстия в задней стенке для выхода растворов, прошедших через слой сорбента ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ); 13 – направление движения бокового внутрипочвенного стока.

Ключевыми положениями, определяющими сущность метода сорбционных лизиметров, являются: 1) конструктивные особенности использования сорбционных лизиметров; 2) сорбенты, применяемые при решении конкретных экспериментальных задач; 3) схема и методы фракционирования компонентов ВОВ (или металлорганических комплексов), сорбированных тем или иным сорбентом; 4) идентификация индивидуальных органических веществ в растворах соответствующими методами; 5) расчет величин масштаба миграции веществ, коэффициентов мобилизации и миграции.

Достоинством МСЛ являются: 1) возможность изучения процессов трансформации и миграции веществ в реальных экосистемах; 2) установление форм и масштаба миграции химических соединений в зависимости от конкретных литолого-геоморфологических, гидрологических, геоботанических и почвенно-геохимических условий ландшафта; 3) исследование динамики продуктов почвообразования; 4) маневренность и техническая простота метода позволяют организовать стационарные наблюдения за динамикой веществ в различных географических зонах, провинциях и урочищах, в труднодоступных территориях.

Недостатки, присущие МСЛ: 1) остается неизвестным источник мобильных веществ (его масса, состояние, склонность к мобилизации и миграции), например, ВОВ, поступающих в колонку (за исключением гор.  $A_0$ ,  $A_0A_1$  и  $A_1$ ); 2) сами сорбенты и элюенты могут оказывать влияние на состав и свойства веществ; 3) дискуссионными остаются вопросы относительно дренирования некоторого объема почвы сорбционными лизиметрами; 4) масштаб миграции веществ неполно отражает специфику процессов трансформации и внутрипочвенной миграции; 5) результаты лизиметрических опытов не являются строго количественными, поэтому МСЛ особенно эффективен в сочетании с методом радиоактивных индикаторов и хроматографией; 6) высокий коэффициент вариации выноса может свидетельствовать о разной природе источника мобильных веществ в микрizonaх, а при неоднородной выборке метод математической статистики неприемлем; 7) МСЛ не позволяет разграничить и определить вклад каждого из основных механизмов миграции веществ – конвективного переноса и диффузии; масштаб миграции отражает интеграционный результат. Следует дополнить наблюдения сведениями о коэффициенте мобилизации ( $K_{\text{моб}}$ ) веществ и их сорбционных параметрах. Наряду с этим необходимо изучение биогенного потока веществ (Кауричев И.С., Яшин И.М., Кашанский А.Д., 1977).

*Подготовка сорбционных лизиметров к полевым опытам и их установка в профиле почвы*<sup>1</sup>. Подготовку сорбционных колонок к полевым опытам начинают с отмывки кварцевого песка от железа (аморфные и несиликатные формы) и органических веществ.

Сорбционные колонки готовят следующим образом: в колонку на слой дренажа (обычно песка) вносят суспензию сорбента в воде (чаще всего  $Al_2O_3$  для хроматографии), предварительно отвесив на весах необходимую массу (в частности, для колонок объемом 600 см она варьи-

---

<sup>1</sup> Изложена по прописи Л.Л. Шишова, И.С. Кауричева, В.А. Большакова, Н.А. Муромцева, И.М. Яшина и Л.П. Орловой (1998).

рует от 50 до 100 г, исходя из цели эксперимента и характера расположения слоев – один или несколько). С целью улучшения фильтрационных свойств  $Al_2O_3$  добавляют чистый кварцевый песок при соотношении масс песка и оксида алюминия 1:2, 1:5 и хорошо перемешивают, чтобы добиться примерно равных скоростей фильтрации воды в сорбционных колонках и в почвах стационара. Самый верхний слой сорбента в колонке также покрывается слоем кварцевого песка мощностью 3 см. Он задерживает тонкодисперсные почвенные частички при фильтрации почвенного раствора через колонку, предотвращая тем самым заиливание пор сорбента. Слои песка и сорбентов обильно увлажняются дистиллированной водой через бумажный фильтр после окончания набивки колонки. Затем сорбционную колонку слегка встряхивают руками в горизонтальной плоскости с целью более плотной упаковки частиц. Подготовленные к работе сорбционные колонки маркируют, упаковывают в целлофановые пакеты и прочно связывают попарно – открытой стороной внутрь.

Одновременно с колонками маркируют приемники лизиметрических вод, опробуют соединительные вакуумные шланги, упаковывают другой необходимый инвентарь (дневник, мерную ленту, этикетки, мешочки). Располагают колонки в почвенном профиле (или траншее длиной 3–4 м, шириной 0,8 м и глубиной 1,8 м) под генетическими горизонтами в 2–3-х кратной повторности в виде нисходящего каскада. При такой установке верхние колонки не экранируют потоки гравитационной влаги и растворение в ней вещества для нижних вариантов лизиметров. Сорбционные колонки помещают в заранее подготовленные ниши, которые по объему несколько больше сосудов. Потолок ниш выравнивается и защищается строго горизонтально. Обеспечивают плотный контакт рабочей площади с потолком ниш, временно подкладывая под сорбционные сосуды 2–3 деревянных брусочка. Колонки замуровывают почвой того же генетического горизонта (увлажнив ее) и проверяют их сочленение с приемником вод. Очередность установки лизиметров – снизу вверх, как и при отборе индивидуальных почвенных образцов в педоне<sup>2</sup>.

После закладки всей серии колонок (20–24 установки) траншею закапывают, маскируют, а в дневнике зарисовывают траншею, ее размеры и расположение лизиметров. Соответствующие отметки делают на детальной почвенной карте. На местности оставляют надежные ориентиры (например, зарубки на деревьях и маркеры), что особенно важно для пахотных почв стационара. В дневнике отмечают географическую и топографическую привязки разреза (профиля). Отмечается состояние и структура биогеоценозов. Проводится отбор почвы, растительности и природных вод. По истечении определенного периода полевых наблюдений траншею на стационаре вскрывают и извлекают из почвы сорбционные лизиметры. Колонки очищают от почвенных частиц, протирают и упаковывают в целлофан. Измеряют объем воды в приемных сосудах, добавляя в каждую по две–три капли толуола. При проведении исследований в

---

<sup>2</sup> Педон (почвенный индивидуум) — естественная единица (элемент) почвы, как самостоятельного природного тела.

труднодоступных регионах для контрольных анализов оставляют 150–250 мл раствора. Траншеею закапывают, а поверхность почвы покрывают растительными остатками.

В лаборатории сорбционные колонки разбирают, осторожно извлекая слои песка и сорбентов на листы бумаги. Песок направляют на регенерацию, а сорбенты после просушивания при  $t \sim 35^{\circ}\text{C}$  взвешивают и упаковывают в пакеты из крафт бумаги. Затем пакеты маркируют и группируют по горизонтам и траншеям.

Лизиметрические воды, прошедшие через сорбенты колонок, анализируют в первую очередь: измеряют рН, отмечают окраску, мутность. Проводят очистку, разделение и диагностику состава химических соединений. Указанные операции с природными растворами целесообразно осуществлять в первые дни после извлечения сорбционных колонок из почвы.

Компоненты природных лизиметрических вод (коллоиды, простые и сложные ионы, молекулы веществ), накапливающиеся в приемных бутылках, со временем претерпевают трансформацию, в частности, биохимического характера с участием микроорганизмов. В связи с этим в водных растворах приемных бутылей наблюдается формирование гетерогенных коллоидных систем различного состава и устойчивости (в частности, сгустков), уменьшение концентрации водорастворимых органических веществ (ВОВ), изменение величины рН в сторону подщелачивания и повышения концентрации угольной кислоты. При вытеснении сорбированных продуктов почвообразования необходимо отметить в дневнике объем элюентов и массу сорбента, используемых затем при расчете выноса химических соединений из генетических горизонтов почвы. С помощью метода сорбционных лизиметров, в частности, выделением групп ВОВ (например, компонентов фульвокислотного характера), устанавливают их молекулярномассовый состав и свойства при последующем фракционировании на гелях – декстрана Молселект, Сефадекс G-10, G-50. Определяют масштаб и формы миграции металлов.

Цель лизиметрического опыта – создание условий, близких к природным, возможность учета просочившихся атмосферных осадков, а вместе с ними и питательных веществ через определенный слой или горизонт почвы.

По данным Ф.А. Юдина (1980), количество просачивающейся воды через почву в лизиметрах зависит от:

- способа наполнения лизиметра. Просачивание идет интенсивнее в почвах, сохранивших естественное строение, т.к. в насыпных лизиметрах почва уплотняется;

- свойств почвы. В почвах тяжелого гранулометрического состава просачивание воды происходит менее интенсивно в сравнении со средними и легкосуглинистыми;

- времени года. Весной и осенью просачивание значительнее, чем зимой и летом;

- количества осадков за определенный период времени. Выпадение их более 40 мм за сутки в летнее время на почвах тяжелого гранулометрического состава приводит к просачиванию воды на глубину до 1 м, в то время как выпадение 20 мм – всего лишь на 60 см. При выпадении 40 мм осадков за недельный срок просачивания до 1 м не происходит;

– температуры воздуха и почвы. При высокой температуре воздуха и почвы испарение происходит быстрее и интенсивнее, а просачивание уменьшается;

– наличия растений. В лизиметрах, занятых растениями, просачивание меньше, чем в парующих вследствие испарения влаги растениями.

Таким образом, водный режим лизиметров в определенной степени отличается от водного режима естественных почв. И результаты исследований, полученные с использованием лизиметров, будут не полностью идентичны результатам, полученным в естественных условиях. Однако проведение опытов в лизиметрах дает возможность иметь надежные сравнимые результаты.

На подвижность питательных веществ почвы и удобрений в лизиметрах влияют складывающиеся в них условия. Немаловажное значение при этом имеют вид и формы применяемых удобрений. Количество вымываемых удобрений находится в прямой зависимости от их растворимости и просочившейся воды, а также от характера взаимодействия питательных элементов удобрений с почвой.

А.С. Пискунов (2004), обобщив результаты своих многолетних исследований и литературные данные, показал зависимость миграции элементов питания почвы и удобрений от форм почвенной влаги. Передвижения катионов и анионов в почве при гигроскопической влажности практически не происходит. Если влажность почвы относится к категории пленочной, передвигающейся под влиянием молекулярных сил от более влажных слоев почвы к более сухим, то питательные вещества удобрений могут передвигаться как в направлении движения воды, так и против него. Большая часть питательных элементов передвигается в почве с гравитационной водой, причем это может происходить в двух направлениях: при полном насыщении капилляров водой и дальнейшем увлажнении вниз по профилю, а при отсутствии осадков и испарении, влага и питательные вещества могут подниматься к поверхности почвы. Неодинакова и подвижность катионов и анионов удобрений ввиду различной поглотительной способности их почвами. Отрицательное физическое поглощение наблюдается при взаимодействии почвы с нитратами, хлоридами, поэтому подвижность их с почвенной влагой бывает высокой. Подвижность нитратов и хлоридов велика и потому, что анионы азотной и соляной кислот ( $\text{NO}_3^-$  и  $\text{Cl}^-$ ) не поглощаются химически, т. к. не образуют нерастворимых в воде соединений с катионами кальция, магния, калия, алюминия, железа, аммония ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ). Анионы угольной и серной кислот ( $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ ) с одновалентными катионами образуют растворимые в воде соли, а с двухвалентными катионами кальция и магния ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) – нерастворимые ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  и  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ). Анионы фосфорной кислоты ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) с одновалентными катионами ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) образуют хорошо растворимые соли ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ), с двухвалентными катионами – растворимые соли  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , малорастворимые  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{MgHPO}_4$  и нерастворимые в воде соли  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ . Для фосфатов характерно как катионное, так и анионное поглощение почвой, в связи с чем передвижение фосфатов в почве носит ограниченный характер (Бобко Е.В., 1938).

Большая часть калия удобрений закрепляется в почве физико-химически и находится в обменно-поглощенном состоянии. Он способен переходить в почвенный раствор при вытеснении его другими катионами как самой почвы, так и вносимых удобрений. Однако передвижение калия с влагой почвы происходит значительно медленнее, чем нитратов и хлоридов. По данным Б.А. Голубева (1967), полученные в лизиметрах глубиной 1 м, потери элементов питания от вымывания в неудобренных почвах составляют: 12,8 кг/га азота, 1,2 – фосфора, 27,4 – калия, 51,4 – серы, 46,8 – кальция, 32,0 – магния, 46,8 кг/га оксида кремния.

Таким образом, лизиметрические исследования, имея некоторый элемент условности в сравнении с естественными почвами, тем не менее дают представление о возможных потерях элементов питания в процессе миграции в подпахотные слои почвы. Это приходится учитывать при выборе норм, видов, форм, сроков и способов внесения удобрений в почву.

## **2.5. Гидропоника, аэропоника, агрегатопоника, плаstopоника**

*Без эксперимента агрономическая наука невозможна.*

**В.Р. Вильямс**

*Обсуждать данные – дело личной работы мысли, дело самобытное, а собрать данные необходимо без участия индивидуальности, превратив виденное в числа, которые добываются измерениями. Опытные данные тогда только заслуживают доверия, когда есть убеждение в умении наблюдателя получать числа возможно точные.*

**Д.И. Менделеев**

По характеру субстрата методы выращивания растений без почвы различают: водная культура (собственно гидропоника), песчаная и гравийная культура; торфяная (или моховая) культура; воздушная культура (или аэропоника); агрегатопоника; плаstopоника.

### **2.5.1. Гидропоника**

*Гидропоника – разновидность вегетационного метода, в который растение выращивают без почвы на искусственных питательных растворах*

**З.И. Журбицкий**

*Гидропоника* (от греческого *hydro* – вода и *ponos* – работа; буквально: «работа с водой») – выращивание растений без почвы на искусственных питательных растворах. Выращивание в гидропонной установке может рассматриваться как первое приближение к жизни растения на почве. Оно может применяться в самых разнообразных исследованиях: для ускоренного размножения ценных образцов, при гибридизации в зимний сезон, при генетических исследованиях, для изучения функционирования надземных органов на фоне оптимального водоснабжения и пита-

ния. Сочетание бесплодного субстрата с питательным раствором создает оптимальные условия аэрации, водоснабжения и питания. Гидропонные субстраты свободны от семян сорняков, легко стерилизуются и поэтому в них не возникает почвоутомление. При грамотной культуре гидропонные теплицы дают несравненно более высокий урожай сельскохозяйственных культур. Но следует помнить, что плодородие гидропонной культуры искусственное, целиком зависит от экспериментатора и, следовательно, требует постоянного контроля за питательным раствором и состоянием растений. Выбор субстрата зависит от доступности для исследователя того или иного сырья (Коваль С.Ф., Шаманин В.П., 1999).

Различные методы гидропоники классифицируют также по способу подачи питательного раствора или питательных солей: подпитывающим поливом (субиригация); прерывистым дождеванием или постоянным капельным способом (подача с поверхности среды); способ подпора, когда нижняя треть субстрата постоянно залита раствором; периодическим разбрасыванием смеси сухих удобрительных солей на поверхность наполнителя с последующим поливом (так называемый «бенгальский способ»; опрыскиванием или обрызгиванием корней (аэропоника); периодическим погружением перфорированного дна растений в раствор (башенная гидропоника). Все указанные методы используются как на сельскохозяйственных предприятиях (промышленная гидропоника), так и в комнатах, на верандах, в садах (любительская гидропоника). Все эти типы гидропоники можно применять как в теплицах (тепличная гидропоника), так и в открытых сооружениях или под временными легкими пленочными укрытиями (открытая гидропоника).

В тепличных и открытых гидропонных сооружениях важное условие производства – это создание вегетационной площади в виде вегетационных деленок, поддонов, стеллажей, плоских баков и корыт. Все они должны удовлетворять следующим требованиям: быть водонепроницаемыми; инертными; жесткими; прочными и долговечными.

При *водной культуре* плоский водонепроницаемый бак покрыт специальной сеткой или крышкой с отверстиями (рис. 22; Волобуева В.Ф., Серегина И.И., 2010). На сетку помещают слой подстилки (мох, пемзовая крошка, рисовая шелуха, торф, солома, стружка), в которую высевают семена или высаживают рассаду. В случае применения крышки с отверстиями рассаду или проростки укрепляют в отверстиях с помощью ватной пробки. В бак подают питательный раствор, с таким расчетом, чтобы между сеткой (крышкой), из которой свисают корни растений, и поверхностью раствора осталось свободное пространство высотой 1,5–10,0 см. Таким образом, корни укрепленных на крышке бака растений находятся в трех слоях среды: верхнем – подстилке, среднем – воздушном, обеспечивающем их кислородное питание, нижнем – водном растворе, откуда растения поглощают воду и элементы минерального питания. Систематически в раствор вдувают воздух и периодически меняют питательный раствор.

Наиболее распространена гравийная культура. Принцип устройства гравийных установок следующий: в водонепроницаемые вместилища насыпают субстрат (гравий); под ними размещают резервуар с питательным рас-

твором, который соединен системой труб с вместилищами; по системе труб насосом раствор подается в субстрат к корням растений, а затем самотеком стекает обратно в резервуар. В зависимости от времени года, возраста растений и свойств субстрата раствор подают к корням растений 1–5 раз в день. Верхний 1,5–2,0 см слой субстрата во избежание появления на его поверхности водорослей раствором не смачивают. Цикл подачи и сброса раствора длится 30–50 мин. В период между подачами раствора корни поглощают воду и растворенные в ней элементы питания с поверхности частиц субстрата. Раствор многократно используют в течение 1–2 месяцев, при этом следят, чтобы концентрация питательных веществ была не менее 50 % от исходной. Анализ раствора на содержание элементов питания растений проводят 1–2 раза в неделю. За реакцией следят ежедневно и в случае его подкисления добавляют щелочь, подщелачивания – кислоту. Через 1–2 месяца отработанный раствор удаляют из резервуара, субстрат промывают водой и готовят свежий питательный раствор. Гравий используют без смены в течение многих лет. Следует избегать применения гравия и щебня из пород, обогащенных известняком, на которых трудно удерживать низкие значения рН раствора. При гравийной культуре применяют также мелкий щебень и дресву массивно-кристаллических горных пород, вулканический шлак, крошку известкового вулканического туфа, пензокварцевый щебень, вспученные или пористые перлиты, вермикулиты, керамзиты и другие материалы с различными физико-химическими свойствами, влияющими на питательный режим субстрата.

Пористые наполнители, керамзит и вермикулит хорошо впитывают воду, адсорбируют питательные вещества, что позволяет значительно увеличить время между подачами раствора. Их влагоемкость исключает колебание водообеспечения и питания, тем самым предотвращая порчу опыта при временных неполадках в системе подачи питательного раствора.

Термин «питательный субстрат» или «субстрат» часто путают с понятием «наполнитель». В гравийной культуре субстрат представляет собой трехфазную систему, состоящую из твердой фазы (наполнителя), жидкой фазы (водного раствора) и газообразной фазы (воздуха). Таким образом, наполнитель является одной из фаз субстрата.

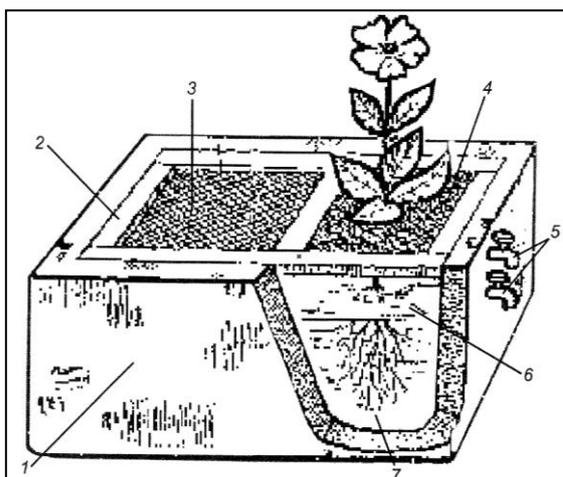


Рис. 22. Разрез гидропонной установки

1 – бетонное корыто; 2 – рама из планок; 3 – проволочная сетка; 4 – слой субстрата (мох); 5 – краны для регулирования уровня раствора; 6 – «влажная зона»; 7 – питательный раствор.

Для нормального роста и развития растений субстрат должен обладать определенными свойствами. Во-первых, он не должен содержать ядовитых для растения веществ, быть относительно химически инертным и нейтральным, чтобы не изменять химических и физико-химических свойств питательного раствора. Во-вторых, субстрат должен обладать водоудерживающей способностью и быть хорошо аэрируемым (измельченные вермикулит, перлит и керамзит обладают высокой водоудерживающей способностью, а морской гравий и гранитный щебень – низкой). В-третьих, субстрат должен быть достаточно прочным. При его крошении уменьшается размер частиц и ухудшается аэрация корневой системы растений. В научных исследованиях при необходимости соблюдать особенно чистые условия вместо гравия можно применять стеклянные бусы или гранулированный полиэтилен, полистирол и другие инертные материалы. Их плотные гранулы мало прилипают к корням, что позволяет извлечь корневую систему целиком, без загрязнения субстратом. Полное извлечение корневой системы их песка даже в разорванном состоянии, пригодном только для определения сухой массы – сложная и трудоемкая работа. В почвенной культуре извлечение корней и вовсе невозможно без существенных потерь. Питательные растворы должны содержать все необходимые для растений элементы питания в определенной концентрации и соотношении и обладать, кроме того, достаточной буферностью, т. е. не менять резко концентрацию и кислотность.

*Песчаная культура*, по существу, не отличается от гравийной. Разница состоит лишь в величине частичек наполнителя. В песчаных культурах, как правило, применяют песок с размером частиц в диаметре 1–3 мм. У истоков гидропонного метода стоял К.А. Тимирязев (1904), который утверждал, что «совершенно плодородную почву» можно приготовить из самых различных материалов: песка, толченой пемзы, стеклянных бус или мелкого гранита, вводя в них питательные вещества. Уже сегодня в защищенном грунте широко используется выращивание растений на искусственных средах. Гидропонный метод выращивания сельскохозяйственных культур облегчает труд в тепличном хозяйстве: не надо заготавливать почву, упрощается борьба с болезнями и вредителями растений.

### 2.5.2. Аэропоника

*Аэропоника – воздушная культура, т. е. выращивание растений без почвы или ее заменителя при котором корни растений периодически опрыскиваются питательным раствором.*

**Словарь ботанических терминов, 1984.**

*Аэропоника* (от греческого. *aer* – воздух и *ponos* – работа, т. е. буквально «воздушная работа», «воздушная культура») – выращивание растений без почвы или ее заменителя во влажном воздухе при периодическом опрыскивании корней питательным раствором. Схема воздушной культуры представлена на рисунке 23. При использовании аэропоники имеется и необходимость и возможность почти полной автоматизации всех приемов выращивания растений.



Рис. 23. Воздушная культура (схема)

Метод аэропоники имеет положительные стороны: увеличивается кислородное питание растений, исключается твердый наполнитель, облегчается масса установки, уменьшается опасность отравления корней диоксидом углерода. Однако имеются и недостатки: необходимость постоянной работы насосов и форсунок, опасность малейших перебоев, устройство специальных приспособлений для укрепления растений.

Резервуар для корневой системы при воздушной культуре может быть небольшой, глубина – в 20-25 см. Крышка на резервуаре должна плотно прилегать к боковым стенкам и иметь отверстия для высадки растений. Закрепляют растения в отверстия также, как и в водной культуре. Однако укреплять растения ватой в данном случае, нельзя, т. к. при опрыскивании корневой системы питательным раствором она будет постепенно смачиваться. Для этих целей подходит дробленая пемза с размерами частиц 8-10 мм. В соответствии с расположением отверстий для растений в резервуаре располагаются форсунки для равномерного тонкораспыляемого опрыскивания корней питательным раствором. Питание растений осуществляется из задержавшихся на поверхности корней капель питательного раствора, поэтому концентрация его должна быть примерно в 10 раз выше, чем в водной культуре. Частота опрыскивания зависит от концентрации питательного раствора, потребности в воде (нельзя допускать подвядания их) возраста и фазы развития растений. В начальный период роста, когда корневая система еще слабо развита, опрыскивание следует примерно через каждые 5 мин, продолжительность опрыскивания 5-10 секунд. При развитой корневой системе опрыскивание проводят реже – через 10-15 мин и более длительно – не менее 10 сек., чтобы полностью смыть остатки предыдущего

го опрыскивания и заменить их новой порцией питательного раствора. Питательный раствор, уже в первые секунды стекающий с корневой системы, должен быстро возвращаться в запасной бак, поэтому дно лотка с растениями должно иметь уклон к выходному отверстию. Такой подход обеспечивает максимальный приток кислорода к корням. Контроль за реакцией концентраций и составом питательного раствора осуществляется также как и при водной культуре, а для поддержания оптимального температурного режима можно пользоваться таким же оборудованием, как и в культурах на твердых субстратах (Волобуева В.Ф., Серегина И.И., 2010).

### 2.5.3. Агрегатопоника

*Агрегатопоника (субстратная культура) – разновидность вегетационного опыта, где растение выращивают на гранулированных корнеобитаемых средах, в которые периодически водится питательный раствор.*

В.Ф. Волобуева, И.И. Серегина

*Агрегатопоника* – выращивание растений на твердых сыпучих материалах, которые смачивают периодически питательным раствором. Сущность *агрегатопоники* заключается в том, что растения выращивают на гранулированных корнеобитаемых средах, в которые периодически вводят питательный раствор (рисунок 24; Волобуева В.Ф. Серегина И.И., 2010).

Агрегатопоника включает следующие способы: органокультуры – выращивание растений на естественных органических субстратах (торф, опилки, мох); литокультуры – выращивание растений на твердых минеральных или пластмассовых субстратах, и аэрогидролитовые культуры, сочетающие положительные свойства всех трех методов культуры растений без почвы. Сюда же относят и фитильную культуру – выращивание растений на тонких гидрофильных пленках, увлажняемых за счет капиллярного поднятия в них воды и раствора.

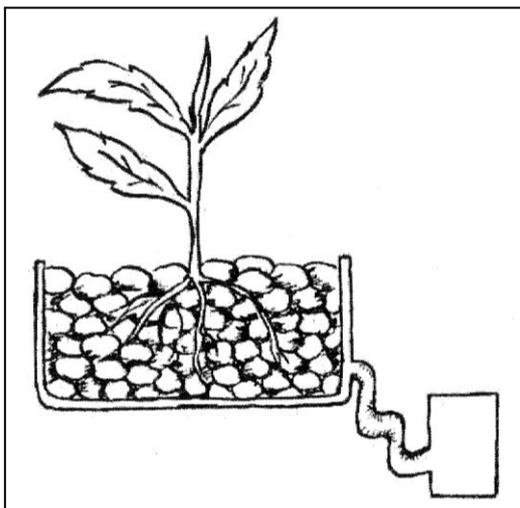


Рис. 24. Субстратная культура (схема)

#### 2.5.4. Пластопоника

*Пластопоника – разновидность вегетационного опыта, в котором растения выращивают с помощью гидрофильного пенопласта.*

**В.Ф. Волобуева, И.И. Серегина**

*Пластопоника* – выращивание растений с помощью гидрофильного, физиологически нейтрального пенопласта, содержащего необходимые для питания растений макро- и микроэлементы или способного впитывать их.

К недостаткам пластопоники следует отнести: 1) трудность поддержания необходимого значения реакции и концентрации среды; 2) загрязнение питательного раствора корневыми выделениями и продуктами разложения отмерших корней; 3) необходимость полного обновления питательного раствора каждые 2–4 недели (Ефимов В.Н., Горлова М.Л., Лунина Н.Ф., 2004).

#### 2.6 Метод меченых атомов<sup>3</sup>

*Метод меченых атомов – метод исследований питания растений, основанный на использовании радиоактивных и стабильных изотопов в качестве метки какого-либо элемента, что позволяет проследить за его движением и превращением.*

**«Меченые атомы в исследованиях питания растений и применения удобрений» (1955)**

##### 2.6.1. Изотопы и радиоактивное излучение

Атом состоит из протонов, нейтронов и электронов. Протоны и нейтроны составляют ядро, а электроны – электронную оболочку атома. Заряд ядра атома определяют протоны, а заряд атома – электроны. При равенстве протонов и электронов заряд атома равен нулю. Присутствие в ядре различного количества нейтронов будет отражаться только на общей массе атома, а не на его химических свойствах. Следовательно, возможно существование разновидностей атомов одного элемента, которые имеют в ядрах одинаковое количество протонов, но различное количество нейтронов. Такое состояние атомов химического элемента Ф. Содди в 1913 г. предложил назвать изотопией. Термин «изотоп» составлен из 2 слов греческого языка: *isos* – одинаковый, подобный и *topos* – место. Таким образом, изотопы одного химического элемента содержат одинаковое количество протонов, но различное количество нейтронов. В настоящее время установлено, что почти все химические элементы имеют изотопы.

Все части атома получили условный символ и на этой основе был принят определенный способ записи химического элемента:

---

<sup>3</sup> Соавтор к.с.-х.н. В.П. Суетов.



где: X – символ элемента;

Z – зарядовое число или количество протонов;

M – массовое число или количество протонов и нейтронов в ядре атома.

Например:  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^{12}_6\text{C}$ ,  ${}^{14}_7\text{N}$ ,  ${}^{31}_{15}\text{P}$ ,  ${}^{39}_{19}\text{K}$  и так далее.

Протоны и нейтроны получили общее название – нуклоны. Элементы, у которых может варьировать как число протонов, так и число нейтронов, называют нуклиды.

Нуклиды, у которых ядра имеют одинаковое число протонов, но разное число нейтронов, называют изотопами ( ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^3_1\text{H}$ ;  ${}^{31}_{15}\text{P}$ ,  ${}^{32}_{15}\text{P}$ ). Нуклиды, у которых ядра имеют одинаковое число нейтронов, но разное число протонов и соответственно разное массовое число, называют изотонами ( ${}^{13}_6\text{C}$ ,  ${}^{14}_7\text{N}$  – по 7 нейтронов). Нуклиды, у которых ядра имеют одинаковое массовое число, но разное число протонов и нейтронов, называют изобарами ( ${}^{40}_{18}\text{Ar}$ ,  ${}^{40}_{19}\text{K}$ ,  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ ).

Количество нуклонов и соотношение протонов и нейтронов в ядре сказывается на его устойчивости. С увеличением массового числа или числа нуклонов возрастает вероятность неустойчивости атома элемента. Атомы элементов с зарядовым числом больше 84 находятся в возбужденном состоянии и через определенное время распадаются.

В настоящее время известно 273 стабильных нуклидов, из которых 160 содержат четное число протонов и нейтронов, а 5 – нечетное их количество. Промежуточное положение в равном количестве занимают четное – нечетное и нечетное – четное. Число протонов и нейтронов, при которых ядра атомов имеют особую устойчивость, называются магическими числами. Известны следующие магические числа: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 ( ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$ ).

Количество электронов в оболочке также сказывается на устойчивости атома. Наиболее устойчивые конфигурации электронов имеют атомы с определенным числом электронов и зарядовым числом: 2, 10, 18, 36, 54, 86 ( ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ ,  ${}^{18}_{18}\text{Ar}$ ,  ${}^{84}_{36}\text{Kr}$  и другие). Следовательно, устойчивость атомов уменьшается с увеличением массового числа, но уменьшение носит не монотонный, а периодический характер, и магические числа представляют своеобразные узловые точки этой периодической функции.

Протоны и нейтроны в ядре находятся в сложных взаимоотношениях. Известно также, что протоны и нейтроны в ядре могут превращаться друг в друга, что сопровождается испусканием за пределы атома некоторых элементарных частиц: электрона, позитрона, фотона, нейтрино, антинейтрино. Способность атомов к самопроизвольным перестройкам во внутриядерных структурах или даже к расщеплению ядра на отдельные фрагменты М. Склодовская-Кюри в 1898 г. предложила назвать распадом или радиоактивностью.

По устойчивости изотопы элементов делятся на 2 группы:

Стабильные –  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^{12}_6\text{C}$ ,  ${}^{13}_6\text{C}$ ,  ${}^{14}_7\text{N}$ ,  ${}^{15}_7\text{N}$ ,  ${}^{31}_{15}\text{P}$ ,  ${}^{39}_{19}\text{K}$  и так далее;

Радиоактивные –  ${}^3_1\text{H}$ ,  ${}^{11}_6\text{C}$ ,  ${}^{14}_6\text{C}$ ,  ${}^{13}_7\text{N}$ ,  ${}^{32}_{15}\text{P}$ ,  ${}^{33}_{15}\text{P}$ ,  ${}^{40}_{19}\text{K}$ ,  ${}^{42}_{19}\text{K}$  и так далее.

Такое деление условное, так как стабильные изотопы, возможно, находятся в возбужденном состоянии такое длительное время, что

имеющимися техническими средствами не удается зафиксировать момент распада. Косвенным признаком, характеризующим устойчивость атомных ядер, может служить показатель относительной распространенности в природе изотопов и нуклидов (атомный процент). Во вселенной присутствуют  ${}^1_1\text{H}$  (99,985 %) и  ${}^2_1\text{H}$  (0,015 %), из которых практически на 99 % состоят известная нам часть природы. Остальная часть представлена нуклидами других элементов. В земной коре нуклиды представлены в следующем количестве: кислород – 47,2, кремний – 27,6, алюминий – 8,80, железо – 5,10, кальций – 3,60, натрий – 2,64, калий – 2,60, магний – 2,10 %, которые в сумме составляют 98 %. На нашей планете не обнаружены нуклиды элементов с зарядовым числом больше 92. Видимо, они так быстро распадаются, что их невозможно зарегистрировать экспериментально.

Переход атома из возбужденного в устойчивое или стабильное состояние происходит с выделением частицы или потока энергии, который получил название – распад, а поток частиц или энергии – радиоактивное излучение. Из всех видов излучений наибольший интерес представляют: альфа-, бета-, гамма-, нейтронное излучение (рис. 25). Данные виды излучений при прохождении через вещества вступают во взаимодействие с ними с образованием соответствующих эффектов, которые могут быть использованы для регистрации излучений.

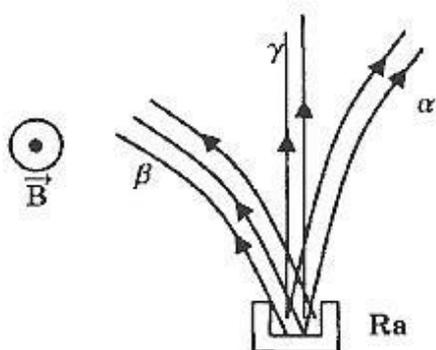
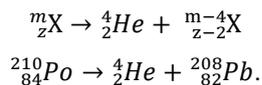


Рис. 25. Виды радиоактивного излучения

*Альфа-излучение* – представляет собой поток ядер атомов гелия, которые содержат 2 протона и 2 нейтрона. Протоны определяют положительный заряд альфа-частиц, которые отклоняются в электрическом и магнитном полях. При распаде ядро теряет 2 заряда и соответственно он становится ядром нового элемента, находящегося на 2 клетки влево по таблице периодической системы Д.И. Менделеева. Масса ядра изотопа нового элемента уменьшается на 4 единицы. Альфа-распад проявляется в основном у нуклидов с зарядом больше 82, то есть тяжелых элементов (U, Th, Ra, Rn и др.).

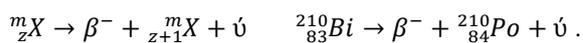


Выделившиеся при распаде атомов одного химического элемента частицы несут одинаковую величину энергии, но величина энергии ча-

стиц при распаде различных элементов будет неодинаковой и изменяется от 3 до 9 Мэв. Частицы движутся со скоростью от 14000 до 20000 км/с. При движении частицы захватывают 2 электрона из среды и превращаются в атом гелия. При движении в среде около электронной оболочки атома альфа-частица частично может передать энергию ближайшему электрону, что вызовет возбуждение атома, а частица при этом изменит направление движения. При попадании в электронную оболочку альфа-частица может передать всю энергию электрону, который покидает свою орбиту, вызывая ионизацию среды. Почти всю энергию частицы затрачивают на неупругие взаимодействия с орбитальными электронами атомов среды. При крупных размерах и небольшой скорости движения частиц число актов взаимодействия возрастает, что уменьшает длину пробега частиц в среде и повышает плотность ионизации среды. В конце пробега плотность ионизации резко возрастает. В связи с высокой плотностью ионизации частицы в воздухе, как наименее плотная среда, пробегают до 5–7 см, а в плотных – еще меньше. В биологических объектах пробег частиц составляет до 70 мкм. Малая проникающая способность частиц облегчает защиту от облучения организма человека, но затрудняет регистрацию их.

*Бета-излучение* представляет поток электронов ( $\beta^-$ ) или позитронов ( $\beta^+$ ).  $\beta^-$ -излучение выделяется из возбужденных ядер с избыточным содержанием нейтронов, при этом один лишний нейтрон превращается в протон (остается в ядре) и электрон (вылетает из ядра).  $\beta^+$ -излучение выделяется из возбужденных ядер с избыточным содержанием протонов, здесь происходит обратный процесс превращения протона в нейтрон с испусканием позитрона. Образование при бета-распаде электрона или позитрона необходимо для сохранения суммарного заряда взаимодействующих частиц: при электронном распаде положительный заряд образованного протона уравнивается отрицательным зарядом электрона, а при позитронном распаде заряд исчезающего протона переходит к позитрону. Кроме того, вместе с электроном возникает и покидает ядро еще одна частица с крайне малой массой – антинейтрино, а вместе с позитроном – нейтрино. Очень редко проявляется электронный захват, при котором ядро захватывает электрон с К-оболочки и протон превращается в нейтрон с испусканием нейтрино. Образовавшаяся вакансия в К-оболочке сразу же заполняется электроном с L-оболочки, что сопровождается характерным рентгеновским излучением.

При электронном  $\beta^-$ -распаде ядро с вылетающим электроном теряет часть энергии отрицательного знака без изменения массы. В данном случае происходит превращение нейтрона в протон с увеличением заряда и порядкового номера на единицу. Следовательно, образуется атом нового химического элемента со смещением вправо на один номер по отношению к первоначальному элементу по таблице периодической системы Д.И. Менделеева:



При позитронном  $\beta^+$ -распаде в ядре протон превращается в нейтрон с образованием и выбросом позитрона из ядра. В этом случае с позитроном

теряется часть положительной энергии и порядковый номер уменьшается на единицу влево. Таким образом, образуется атом нового химического элемента со смещением влево на один номер по отношению к первоначальному элементу по таблице периодической системы Д.И. Менделеева:



Масса бета-частиц в 7350 раз меньше массы альфа-частиц. При распаде ядер энергия вылетающих частиц колеблется от 0 до 3,5 Мэв, что вызвано образованием дополнительно нейтрино и антинейтрино, которые захватывают часть энергии. Поэтому спектр энергии частиц не монохроматический, а сплошной. Скорость движения частиц колеблется от 100000 до 280000 км/с. Они отклоняются в электрическом и магнитном полях, но в большей степени, чем альфа-частицы. Исходя из энергии частиц, различают мягкое (меньше 0,5 Мэв) и жесткое (больше 1 Мэв) излучение. При движении в среде бета-частица может частично передать энергию электрону, который при возбуждении может перейти на другую орбиту, а частица изменит направление движения. При попадании в электрон частица полностью передает энергию электрону, который покидает свою орбиту и при движении вызывает ионизацию среды.

При пробеге в среде энергия частиц в большей части тратится на возбуждение атомов и в меньшей – ионизацию среды. Малые размеры и большая скорость обуславливают большой пробег бета-частиц в среде, чем альфа-частиц. Пробег бета-частиц в воздухе может достигать до 10 м и более, но в плотных средах составляет несколько миллиметров. Следовательно, бета-излучение представляет большую опасность при нахождении источника вне пределов живого организма и меньшую – внутри, что можно объяснить малой плотностью ионизации излучения, чем у альфа-излучения. В первом случае большая вероятность достижения частиц жизненно важных органов живого организма, во втором – меньшим повреждением их клеток.

Возрастающая проникающая способность бета-излучения облегчает его регистрацию, но затрудняет защиту. При работе с излучением необходимо правильно подобрать вещество для защиты организма от облучения. При прохождении бета-частиц близко от ядра наблюдается электростатическое взаимодействие, которое приводит к появлению вторичного тормозного излучения. Энергия его невелика, но значительная проникающая способность представляет дополнительную опасность по сравнению с исходным бета-излучением. Величина тормозного излучения возрастает с увеличением атомного номера элемента, используемого в качестве защиты. Поэтому в качестве защиты лучше использовать легкие материалы: медь, алюминий, цинк и органическое стекло (плексиглас).

*Гамма-излучение* представляет собой жесткое электромагнитное излучение с частотой колебания  $1 \cdot 10^{10}$ – $1 \cdot 10^{20}$  герц и распространяется в воздухе почти со скоростью света (около 300000 км/с). Применяется и другое название – фотонное излучение, в сокращении – гамма-фотоны. Данный вид излучения проявляется не при самостоятельном распаде ядра, а при переходе ядра с одного энергетического уровня на другой с выделением кванта энергии. Так как время существования возбужденных атомов

очень невелико ( $T_{1/2} \approx 10^{-15} - 10^{-21}$  с), то реально наблюдается практически одновременное появление гамма-фотона с другими частицами, образующимися при соответствующем распаде. Следовательно, гамма-излучение часто сопровождает бета- или альфа-распад.

Возбужденное ядро может задерживаться в таком состоянии на какое-то время, тогда можно говорить о существовании изотопов в виде изомеров, для которых возможны непосредственные переходы из возбужденного в основное состояние с меньшей энергией. При этом энергия гамма-излучения определяется разницей уровней этих двух состояний. Оба изомера, возбужденный (метастабильный) и основной, имеют одинаковые значения зарядового и массового чисел и, следовательно, занимают одну клетку в таблице периодической системы Д.И. Менделеева. Из-за различий в структуре ядра они не только различаются по величине энергии, но и обладают различными радиоактивными свойствами. Метастабильный изомер принято обозначать буквой *m* у массового числа. Очень часто оба изомера (метастабильный и основной) являются радиоактивными, но с различной скоростью распада ( $^{110m}\text{Ag}$ ,  $T_{1/2} = 250$  сут и  $^{110}\text{Ag}$ ,  $T_{1/2} = 25$  с). Реже встречаются изомеры, из которых только один является радиоактивным ( $^{137m}\text{Ba}$ ,  $T_{1/2} = 2,55$  мин и  $^{137}\text{Ba}$  [стабильный]). Изотопные изомеры могут распадаться и другими процессами.

Гамма-излучение при прохождении в среде вызывает ее ионизацию, но ионизация среды в большей степени вызывается за счет вторичных электронов, выбитых из атомов среды по трем основным механизмам: фотоэффект, эффект Комптона, образование пары электрон-позитрон. Фотоэффект наблюдается при передаче энергии гамма-фотона электрону атома среды и возбужденный электрон покидает свою орбиту, вызывая ионизацию среды. Эффект Комптона наблюдается при частичной передаче энергии гамма-фотона электрону атома, который при возбуждении покидает свою орбиту, вызывая при движении ионизацию среды, а гамма-фотон изменяет направление движения и ионизирует среду. Образование пары электрон+протон возможно при прохождении протона около ядра атома и сильное ядерное поле вызывает превращение его в пару электрон+протон.

С большей вероятностью наблюдаются первые два эффекта, что определяется большей пространственной размерностью электронной оболочки атома и большей вероятностью попадания в нее гамма-фотона, а размерность ядра атома очень мала и вероятность взаимодействия очень низка. В то же время вероятность проявления таких эффектов увеличивается при энергиях гамма-фотонов от 0,01 до 1 Мэв. Образование пары электрон-позитрон возможно только при пробеге фотона с энергией больше 1 Мэв около ядра. В результате их взаимодействия энергия фотона идет на образование масс покоя электрона и позитрона и передачу им кинетической энергии, которые при пробеге вызовут ионизацию среды. С увеличением атомного номера среды возникновение данных эффектов возрастает.

Гамма-фотоны, обладая очень малой размерностью и высокой скоростью движения, в воздухе способны пробегать более 100 м. При малом времени взаимодействия атомам среды передается незначительное количество энергии, что способствует увеличению пробега, но уменьшает ли-

нейную плотность ионизации (2–4 пары ионов/см). С увеличением плотности среды возрастает количество актов взаимодействия и, соответственно, уменьшается длина пробега фотонов (в биологических объектах – десятки см, свинце – 5–10 см).

Высокая проникающая способность гамма-фотонов вызывает определенные трудности при работе с гамма-источниками, но в то же время облегчает их регистрацию. Для защиты от гамма-излучения используют экраны из тяжелых металлов (свинец и др.), свинцовистое стекло. В практике биологической защиты от действия гамма-фотонов в большинстве случаев применяется термин: толщина слоя вещества, которая в два раза уменьшает поток фотонов, проходящих через этот слой, и обозначается  $X_{1/2}$ . Эту величину рассчитывают по формуле:

$$X_{1/2} = \ln 2 / \mu = 0,693 / \mu,$$

где:  $\mu$  – линейный коэффициент ионизации (ослабления)

В качестве защиты можно использовать время работы с источником излучения или нахождения около источника, – с уменьшением времени снижается доза облучения. Соответственно, при удалении от источника излучения так же уменьшается доза облучения.

*Нейтронное излучение* представляет собой поток незаряженных частиц с массой, равной  $1 - \frac{1}{0}n$ , которые получили название – нейтроны. Данное излучение подразделяют на быстрые, медленные и тепловые нейтроны. Нейтронное излучение относится к излучениям с высокой плотностью ионизации и обладает сравнительно небольшой проникающей способностью: в воде пробегают до 8 см, в грунтах – до 40 см.

Вместе с тем механизмы взаимодействия и поглощения нейтронов весьма специфичны, что требует особого подбора материалов для защиты от действия нейтронов. В сельскохозяйственной практике нейтронное излучение практически не применяется.

Распад возбужденных атомов ведет к постепенному уменьшению первоначального количества атомов данного элемента. Распад имеет случайный характер, т. к. нельзя предсказать, в какой момент будет распадаться тот или иной атом. Каждый атом распадается в силу своего внутреннего состояния и на распад не влияют внешние условия. Установлено, что процесс радиоактивного распада является статистическим процессом и, следовательно, подчиняется статистическому закону радиоактивного распада. Число ядер  $\Delta N$ , распавшихся за малый промежуток времени  $\Delta t$ , должно быть пропорционально числу радиоактивных ядер в начальный период и в дифференциальном выражении будет представлять:

$$dN = -\lambda \times N \times dt,$$

где:  $\lambda$  – постоянная распада или коэффициент пропорциональности.

Это уравнение называется дифференциальной формой закона радиоактивного распада. Постоянная распада  $\lambda$  может рассматриваться как константа скорости распада и рассчитывается из соотношения:

$$\lambda = \frac{dN \times dt}{N}$$

По физическому смыслу постоянная распада численно равна относительной доле ядер, распадающихся в единицу времени. Соответственно, можно найти число атомов, оставшихся к какому-то моменту времени  $t$ . Задачу можно решить путем интегрирования уравнения дифференциальной формы в пределах времени от 0 до какой-то величины и тогда получим интегральную форму закона радиоактивного распада:

$$N_t = N_0 \times e^{-\lambda t}$$

В ядерной физике энергию излучений, энергию ядерных реакций и превращений принято выражать в электронвольтах (эВ). *Электронвольт* – это кинетическая энергия, приобретенная электроном при прохождении разности потенциалов в 1 вольт. Производными электронвольта являются: килоэлектронвольт (кэВ – 100000 ЭВ), мегаэлектронвольт (мэВ – 1000000 ЭВ).

Для характеристики радиоактивного распада введена величина – активность радиоактивного изотопа. *Активность изотопа* – величина, равная числу распадов в единицу времени:

$$A = \frac{dN}{dt} \quad \text{или} \quad A = \lambda N$$

При интегрировании в пределах времени от 0 до какой-то величины получим следующую формулу выражения активности изотопа:

$$A_t = A_0 \times e^{-\lambda t}$$

*Активность радиоактивного изотопа* пропорциональна числу радиоактивных ядер и постоянной распада, – чем больше распадается ядер и выделяется частиц или энергии в единицу времени, тем выше активность изотопа.

Первоначально за единицу активности радиоактивного изотопа была принята активность 1 г чистого изотопа  $^{226}\text{Ra}$ , что составляло  $3,7 \cdot 10^{10}$  расп/с. Позднее ее назвали Кюри (Ки) в честь ученых Пьера и Марии Кюри. В практике часто используют ее производные:

$$1 \text{ Ки} = 1 \text{ г } ^{226}\text{Ra} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ расп/с}$$

$$1 \text{ мКи} = 3,7 \cdot 10^7 \text{ расп/с}$$

$$1 \text{ мкКи} = 3,7 \cdot 10^4 \text{ расп/с}$$

По единой международной системе измерений (СИ) за единицу активности принято 1 расп/с, а в 1975 г. по международному соглашению 1 расп/с назвали Беккерелем (Вq) в честь первооткрывателя радиоактивности.

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Вq} \quad 1 \text{ МВq} = 10^6 \text{ расп/с}$$

$$1 \text{ Вq} = 27 \text{ пКи} \quad 1 \text{ ГВq} = 10^9 \text{ расп/с}$$

$$1 \text{ кВq} = 10^3 \text{ расп/с} \quad 1 \text{ ТВq} = 10^{12} \text{ расп/с}$$

Постоянная распада ( $\lambda$ ) не дает четкого представления об активности изотопа. Для лучшего восприятия активности изотопа приняли другую величину – *период полураспада радиоактивных ядер* –  $T_{1/2}$ , то есть за какой-то промежуток времени распадается половина возбужденных ядер:

$$t = T_{1/2} \quad N_t = \frac{N_0}{2}$$

Введем второе условие и натуральные логарифмы в интегрированную форму активности и, соответственно, получим новое выражение:  $\lambda \cdot T_{1/2} = \ln 2 = 0,693$ . Данная формула устанавливает связь между периодом полураспада ( $T_{1/2}$ ) и постоянной распада ( $\lambda$ ):

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Следовательно, чем меньше период полураспада, тем больше распадается возбужденных атомов в единицу времени и, соответственно, выше активность изотопа.

Различные радиоактивные изотопы имеют неодинаковые периоды полураспада:  $^{232}\text{Th}$  –  $1,39 \cdot 10^{10}$  лет,  $^{226}\text{Ra}$  – 1590 лет,  $^{210}\text{Po}$  – 138 дней,  $^{32}\text{P}$  – 14,3 дня,  $^{218}\text{Po}$  – 3 мин,  $^{212}\text{Po}$  –  $3,0 \cdot 10^{-7}$  с. Для различных работ выбирают изотопы с таким периодом полураспада, чтобы по прошествии необходимого времени можно было определить остаточное количество распадающихся атомов с достоверной точностью.

В настоящее время для производственных работ радиоактивные изотопы получают искусственным путем, облучая атомы элементов высокоэнергетическими частицами излучений (нейтронами, бета- и альфа-частицами и др.). Большой выход новых радиоактивных изотопов отмечается при работе различных ускорителей элементарных частиц и атомных электростанций. После выделения и разделения их можно использовать в различных процессах.

*Детекторы.* За основу регистрации радиоактивного излучения взято появление различных эффектов в веществе или устройстве при воздействии на него излучения. Вещество или устройство, в котором возникает первичный эффект, называется детектором или счетчиком. При взаимодействии излучения с веществом через передачу энергии излучения атомам вещества образуются возбужденные атомы и свободные ионы, которые и были использованы для регистрации излучения. На основе этого методы и соответствующие детекторы регистрации излучений можно условно разделить на ионизационные, оптические и химические.

*Ионизационный метод регистрации излучения* использует возможность прохождения электрического тока при помощи образованных свободных ионов в веществе при прохождении радиоактивных частиц, расположенном в постоянном электрическом поле. Наибольшее распространение получили счетчики Гейгера-Мюллера, а в настоящее время – полупроводниковые счетчики (рис. 26). В первых в качестве детектора используются газообразные вещества, а у вторых – кристаллы полупроводников: кремния или германия. Данные счетчики позволяют регистрировать отдельные частицы или фотоны, что важно при проведении научных исследований. Ионизационные счетчики имеют «мертвое время» порядка  $10^{-4}$  с, что сказывается на точности результата при большой мощности излучения (возрастает просчет частиц). У полупроводниковых счетчиков «мертвое время» составляет порядка  $10^{-10}$ – $10^{-8}$  с, что позволяет регистрировать отдельные частицы в большом потоке частиц и различать их по спектру энергии, но для регистрации высокоэнергетических частиц и с большим пробегом не пригодны, т. к. не способны зафиксировать частицу.

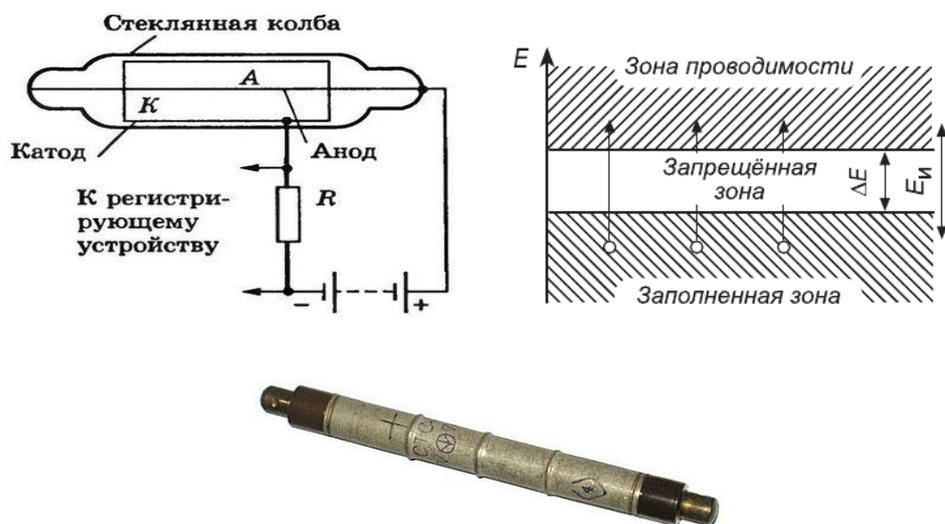


Рис. 26. Ионизационные и полупроводниковые счетчики

*Оптический метод* основан на регистрации вспышек света, которые появляются при переходе атомов из возбужденного состояния в стабильное. Данное явление получило название – сцинтилляция. Вещества, способные к сцинтилляции, называются сцинтилляторами или люминофорами или фосфорами. Для полной регистрации образующихся вспышек света разработан электровакуумный прибор – фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), в котором фотоны света преобразуются в электрический сигнал. Поэтому сцинтилляционный счетчик лучше работает только в паре детектор + ФЭУ (рис. 27; 28). В настоящее время данные счетчики наиболее широко используются для регистрации радиоактивного излучения. Они имеют больше преимуществ перед ионизационными счетчиками: имеют очень малое «мертвое время» ( $10^{-8} - 10^{-5}$  с), способны различать частицы по спектру энергии, проявляют избирательность к видам излучения, способны работать при низких напряжениях.

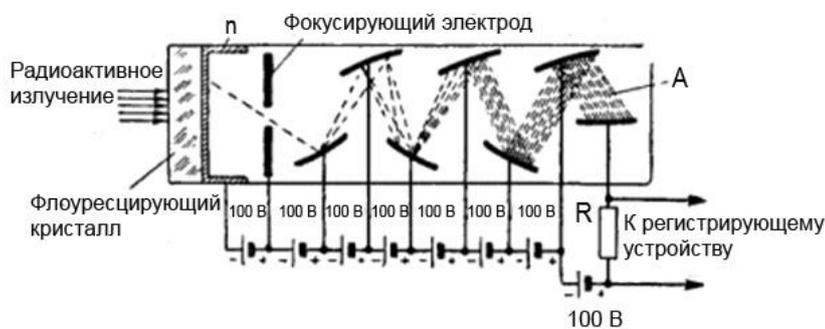


Рис. 27. Схема сцинтилляционного счетчика

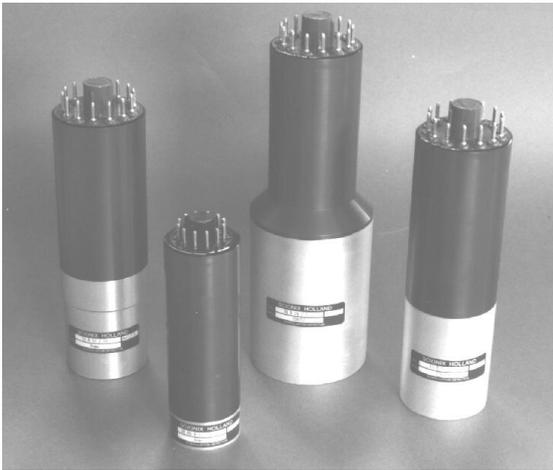


Рис. 28. Внешний вид сцинтилляционных счетчиков для регистрации  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений

*Химический метод* основан на способности излучений стимулировать химические реакции между атомами и молекулами при их возбуждении и ионизации. В результате этих реакций появляются новые вещества, которые количественно могут быть определены химическим анализом, что и будет служить мерой активности. Данный метод в настоящее время используется редко из-за низкой чувствительности и невозможностью зафиксировать каждую частицу в отдельности. Разновидностью химического является фотографический метод, в основу которого положено восстановление галогенного серебра ( $\text{AgBr}$ ) фотоэмульсии в металлическое (свободное) состояние под действием излучения. Фотографический метод не позволяет регистрировать отдельные частицы, только их интегральный поток. Большой интерес представляет его разновидность – автордиография, для изучения распределения и количественного нахождения радиоактивных изотопов в каком-либо веществе или живом организме (рис. 29). После введения радиоактивных изотопов через определенное время вещество или организм помещают на фотографический материал и выдерживают на нем определенное время. Фотографический материал дальше подвергают химической обработке и по степени почернения эмульсии судят о распределении и количественном содержании изотопа в веществе или организме. Трудность возникает только в сложности подбора фотоматериала для объектов большого размера.



Рис. 29. Фотография распределения меченого изотопа по растению

Для регистрации радиоактивных частиц и фотонов разработаны радиометрические установки, которые включают собственно счетчик, пересчетную систему с выдачей информации и блок питания, который обеспечивает электрическим током необходимого напряжения указанные устройства (рис. 30). При решении каких-либо задач с использованием радиоактивного излучения необходимо подобрать соответствующий счетчик, параметры которого нужно проверить на соответствие стандартным параметрам. Периодически проверять работоспособность счетчика измерением активности образцового препарата, показания счетчика должны соответствовать паспортным данным образцового препарата, что будет указывать на нормальную работоспособность счетчика. Также нужно измерять активность фона, чтобы определить истинную активность искомого препарата путем вычитания из показаний скорости счета препарата показания скорости счета фона. Измерение естественного фона необходимо выполнять перед началом измерений и в конце работы.



Рис. 30. Виды радиометрических установок

*Научные основы метода.* Каждый химический элемент состоит из изотопов и распространенность каждого выражается атомным процентом. Исходя из внутреннего состояния, отдельные изотопы будут находиться в стабильном состоянии, а другие – в возбужденном или радиоактивном положении и при распаде испускать радиоактивное излучение. Размышления и изыскания многих ученых навели на мысль, что такое положение изотопов может быть использовано при изучении различных химических реакций, поведения и распространения элемента в веществе или организме. Следовательно, если к атому элемента добавить ранее несуществующий радиоактивный изотоп или повысить или уменьшить содержание малораспространенного изотопа этого элемента, то можно проследить перемещение и распространение элемента в другом объекте. Такой способ действий получил название – *метод «меченых атомов»*. При проведении данной операции нужно добавить такое количество атомов изотопной метки, которое позволит их обнаружить. Вводимый изотоп получил название – *изотопный индикатор*. Изотопный индикатор и объект исследования называют соответственно *меткой* и *носителем*. При этом выделяют три основных вида меток: изотопный, изоморфный и инертный.

*Изотопная метка* представляет собой состав изотопов одного элемента. Поэтому предполагается, что вводимый изотоп будет вести аналогично носителю в эксперименте. Такая метка идеальна ( $^{32}\text{P}/^{31}\text{P}$ ,  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ). *Изоморфная метка* используется при отсутствии удобного для работы изотопа – метки. В этом случае в качестве метки выбирается изотоп из химических аналогов, то есть близких по химическим свойствам ( $^{86}\text{Rb}/\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}/\text{K}$ ,  $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$ ). Результаты, полученные с помощью изоморфной метки, будут иметь некоторую степень условности или приближения. *Инертная метка* представляет собой изотопно-меченые вещества в растворимой форме, в которой метка находится в анионной форме, что предусматривает их малую поглощаемость другим веществом. Данную метку используют при изучении перемещения жидкостей в какой-либо среде, например, в почве.

Способы введения метки в объект исследования разнообразны, но они должны обеспечивать равномерность распределения метки в объекте и не допускать потерь метки в течение эксперимента. Для ввода метки используют следующие способы:

1. Изотопный обмен (применяют любую доступную форму изотопа данного элемента для мечения вещества, используемого для исследования);
2. Химический синтез (с включением метки в нужное место в молекуле изучаемого вещества);
3. Биосинтез или метаболическое включение (с применением меченых веществ, которые участвуют в биосинтезе);
4. Механическое включение (часто используют инертную метку).

Важнейшим преимуществом метода меченых атомов является то, что для определения присутствия метки потребуется незначительное количество изотопа-метки, поэтому введение меченого вещества в исследуемую систему не способно в какой-либо степени изменить ее состояние. Кроме того важно еще то, что в процессе исследования не нужно выделять необходимое вещество из системы или сделать частичное выделение, что особенно удобно, когда выделение затруднено или невозможно: анализ сложных смесей, мешающие примеси, присутствие веществ-аналогов и очень низкие уровни содержания вещества. В то же время возможности метода меченых атомов могут быть ограничены проявлением некоторых специфических явлений, которые получили название: изотопные и радиационные эффекты и изотопный обмен.

*Изотопный эффект.* Изотопные атомы принадлежат к одному и тому же химическому элементу, но содержат различное количество нейтронов в ядре и соответственно различаются массой. Следовательно, эти различия могут влиять на свойства и поведение изотопных атомов. Прежде всего, отметим ход изменения отношений атомных масс изотопов с крайними массовыми числами. Для изотопов водорода оно составляет как 3:1=3, углерода – 14:11=1,3, натрия – 24:22=1,1 и так далее. Хотя изотопные атомы имеют одинаковую структуру электронных оболочек, различие в массах ядер должно сказаться на энергии связи изотопных атомов в химических соединениях, а это значит, что в явлениях переноса (диффузия, теплопроводность, внутреннее трение) должны наблюдаться кинетические изотопные эффекты. Разная скорость диффузии определяет различную концентрацию изотопов в разных

фазах системы. От массы изотопных атомов зависит энергия активации химических реакций, а от энергии активации скорость химических реакций. Следовательно, с увеличением атомного номера химического элемента отношения атомных масс изотопов уменьшаются, поэтому различия в свойствах и поведении изотопов в различных реакциях должны также уменьшаться. Исходя из этого, можно сказать, что изотопы химического элемента характеризуются не химической тождественностью, а близким химическим подобием. А это значит, что во всех химических реакциях их поведение будет во многом схоже. Соответственно, для проведения исследований с меткой необходимо подбирать изотопы по возможности с близкими массами и свойствами к наиболее распространенному изотопу изучаемого элемента, входящего в состав вещества.

*Радиационные эффекты.* Применение радиоактивной метки может вызвать воздействие излучения в результате распада возбужденных атомов на изучаемые процессы, например, на рост и развитие растений. Заметное воздействие отмечается при достаточно больших активностях, но в таких активностях нет надобности, достаточно индикаторных количеств радиоактивного изотопа для определения, которое не способно оказывать существенное радиационное воздействие. При работе с растениями нужно выбирать такую активность метки, которая находится в индикаторном пределе и не оказывает отрицательного влияния на рост и развитие растений.

*Изотопный обмен.* Еще в 1886 г. Д.И. Менделеев высказывал предположение, что в природе постоянно происходит атомарное обновление. Однако экспериментально обнаружить эти процессы удалось только после открытия изотопии химических элементов. Этот процесс позднее был назван изотопным обменом. Изотопный обмен – процесс самопроизвольного перераспределения изотопов данного элемента между различными фазами и его формами (атомными, ионными, молекулярными) в любых системах и при любых условиях, не приводящих к каким-либо изменениям химического состава и химических свойств системы.

Процессы изотопного обмена можно разделить на два типа: *физический* (диффузия, испарение, конденсация) и *химический* (обмен путем химических реакций). В зависимости от того, где происходит обмен, можно различать гомогенный (внутрифазный – газы, растворы) и гетерогенный (межфазный – почва, биологические ткани и др.) изотопный обмен. Механизмами обмена могут быть самые различные физико-химические и химические процессы: внутримолекулярные перегруппировки, обратимые химические реакции, окислительно-восстановительные реакции, обмен электронами, диссоциация-ассоциация, растворение-кристаллизация, испарение-конденсация и так далее. При этом процесс обмена может быть как равновесный, так и неравновесный. Изотопный обмен может легко протекать в способных к диссоциации неорганических веществах. В органических молекулах без труда обмениваются изотопы водорода при условии свободных электронных пар у элемента, с которым связан водород – O–H, S–H, P–H, но это не отмечается при связях – C–H, Si–H, N–H<sub>4</sub>. Не проявляется обмен у разных форм азотсодержащих веществ, таких как молекулярный азот, нитриты, аммоний, азот

аминокислот. Изотопные обмены в сложных молекулах легче осуществляются с периферическими атомами, чем с внутренними.

Процесс изотопного обмена в одних случаях облегчает выполнение эксперимента, а в других может осложнить. Например, затруднительно изучать превращение меченого вещества в другое состояние, если в изучаемой системе присутствует часть этого немеченого вещества в другой скрытой форме и обе эти формы способны к изотопному обмену между собой, то получаемые результаты в эксперименте окажутся неточными. В работе с растворами часто встречаются случаи потери метки или другие помехи от таких явлений, как адсорбция, соосаждение, образование радиоколлоидов. Одним из способов исключения таких явлений является введение в систему дополнительного количества нерадиоактивного носителя. На близком подобии свойств изотопов основан метод изотопных индикаторов или метод меченых атомов, – один из основных методов использования изотопов в биологии и сельскохозяйственной науке. В исследованиях применяют как стабильные, так и радиоактивные изотопы. Малораспространенные стабильные и радиоактивные изотопы можно использовать в качестве меток (индикаторов) для получения меченых химических элементов, соединений, макротел: газов, жидкостей, твердых частиц и даже живых организмов.

В химии изотопов используют различные термины, сущность которых нужно знать. *Немеченым элементом* называется химический элемент с его природным составом, *меченым* – химический элемент с искусственным измененным изотопным составом. Это можно отнести и к веществам. Меченые элементы можно получить путем повышения или понижения содержания в данном элементе стабильного малораспространенного изотопа или введением в состав данного элемента несуществующего до этого в нем радиоактивного изотопа. Например, можно повысить или понизить относительное содержание малораспространенного изотопа  $^{15}\text{N}$  среди всех изотопов азота или добавить к стабильному природному изотопу  $^{31}\text{P}$  искусственно полученный изотоп  $^{32}\text{P}$ . Различие между методом стабильных изотопов-индикаторов и методом радиоактивных индикаторов не принципиальное, а чисто техническое; используются различные методы и техника для регистрации меченых изотопов.

В основном изотоп-индикатор вводится в меченое вещество в незначительном количестве. Остальная часть массы меченого вещества получила название носителя изотопа – индикатора. В вышеприведенном примере носителями являются  $^{14}\text{N}$  и  $^{31}\text{P}$ . Но в некоторых случаях из-за отсутствия выше указанных условий используют изотопы других элементов с близкими химическими свойствами (химические аналоги). Например, для изучения поведения калия используют изотопы  $^{86}\text{Rb}$  или  $^{137}\text{Cs}$ , которые близки по химическим свойствам к калию (химические аналоги). Такие изотопы-индикаторы называются неизотопными индикаторами, а химический элемент – неизотопным носителем.

При применении метода радиоактивных индикаторов используют следующие определения:

1. Удельная активность радиоактивного изотопа – активность радиоактивного изотопа, отнесенная к единице его массы:

$$a_{\text{из}} = \frac{A}{m_{\text{из}}}, \text{ расп/с} \cdot \text{г.}$$

2. Удельная активность меченого элемента – активность радиоактивного изотопа, отнесенная к единице массы меченого элемента:

$$a_{\text{эл}} = \frac{A}{m_{\text{эл}}}, \text{ расп/с} \cdot \text{г.}$$

3. Удельная активность меченого соединения – активность радиоактивного изотопа, отнесенная к единице массы меченого соединения:

$$a_{\text{соед}} = \frac{A}{m_{\text{соед}}}, \text{ расп/с} \cdot \text{г.}$$

4. Объемная удельная активность среды – активность радиоактивного изотопа, отнесенная к единице объема среды:

$$a_v = \frac{A}{V_{\text{среды}}}, \text{ расп/с} \cdot \text{мл.}$$

5. Удельная активность раствора – удельная активность радиоактивного изотопа, отнесенная к единице объема раствора:

$$a_{\text{р-ра}} = \frac{A}{V_{\text{р-ра}}}, \text{ расп/с} \cdot \text{мл.}$$

Первые три перечисленные удельные активности являются массовыми, а две последние – объемными. Удельная активность меченого элемента является основной величиной, позволяющей перейти от результатов радиометрических измерений активности к абсолютному содержанию химического элемента в среде или веществе по известной формуле:

$$m = \frac{A \cdot M}{\lambda \cdot N_A} = \frac{A \cdot M \cdot T_{1/2}}{0,693 \cdot N_A},$$

где:  $A$  – активность;  
 $\lambda$  – постоянная распада;  
 $M$  – массовое число изотопа или грамм-атом элемента;  
 $N_A$  – число Авогадро ( $6,02 \cdot 10^{23}$ );  
 $T_{1/2}$  – период полураспада.

Метод меченых атомов разрабатывали и использовали в своих исследованиях Г. Хевеши, Ф. Содди, Е.С. Лондон еще в начале XX столетия. Г. Хевеши не только предложил метод изотопных индикаторов и разработал его основные принципы, но и сформулировал важнейшие направления использования метода:

1. Изучение пространственного переноса и локализации вещества;
2. Изучение процессов трансформации вещества, механизма превращения, скорости процессов;
3. Изучение химического состояния вещества, их строения, характера и прочности связей;
4. Проведение количественного анализа.

Кроме этих преимуществ данный метод обладает и другими достоинствами:

1. Специфичность – очень высокая, так как определение выполняется по радиоактивности или по другому признаку, который принадлежит

только изотопной метке. В одном исследовании иногда можно применить не одну, а несколько раздельно прослеживаемых меток;

2. Чувствительность определения вещества по метке зависит от массовой удельной активности исходного вещества и может находиться на уровне нано- и пикограммов, что намного превосходит многие инструментальные методы;

3. Высокая точность результатов определения радиоактивности с использованием современных измерительных средств;

4. Относительная простота постановки эксперимента, когда исключается выделение меченого вещества в химически чистом виде. Это упрощает методику и подготовку проб, что приводит к сокращению времени и затрат на реактивы.

5. Метод радиоактивных индикаторов можно причислить к неразрушающим или прижизненным методам анализа, которые особенно ценны в исследованиях *in vivo*.

6. Метод гарантирует минимальную нагрузку на изучаемую систему, которая от вводимой метки практически не изменяется, и результат получается более точным.

7. Метод дает возможность раздельного учета поступления элемента в объекты при одновременном внесении его в систему (позволяет определить доли поступления в растения элементов питания из удобрений и из почвы). Другие экспериментальные методы не дают такой возможности.

8. «Импульсная метка» (слежение за отдельной порцией меченого вещества) представляет большие возможности для выяснения пространственных, временных и других аспектов протекания процессов. Ценность ее возрастает в тех случаях, когда в системе не происходит видимых изменений концентрации вещества (диффузионные процессы).

9. Изотопно-индикаторные методы наиболее эффективны для определения обменных фондов вещества и скорости обновления среды. Они позволяют выполнять исследования в реальном динамическом развитии процессов, что выгодно отличает их от большинства исследований традиционными методами, которые основаны на статических наблюдениях.

10. Большой выбор изотопов и инструментальных средств для их детектирования, многообразие методических приемов и широкая область применения придают методу изотопных индикаторов высокую универсальность. Мечение стабильными изотопами, если нет удобных радиоактивных изотопов, позволяет решить большой круг вопросов благодаря уникальным возможностям метода, несмотря на значительные сложности при количественном определении содержания метки.

### **2.6.2. Радиоизотопные индикаторы в почвенно-агрохимических исследованиях**

При проведении работ с использованием радиоактивного индикатора определяется потребность в радиоактивном изотопе и оформляется заказ на его приобретение. Поставки радиоактивного изотопа выполняются в специальных контейнерах в виде раствора или твердого вещества. Например, фосфор-32 вводится в состав ортофосфорной кислоты ( $H_3PO_4$ )

или суперфосфата простого или концентрированного  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ . Если в виде раствора, то изотоп находится в малом объеме с высокой активностью, что неудобно для приготовления рабочего раствора. Для удобства в работе раствор-фасовку предварительно разбавляют до большего объема. Но с момента производства раствора-фасовки до момента проведения работ с изотопом проходит определенное время, за которое отмечается уменьшение первоначальной активности. Поэтому необходимо ввести поправку на распад, чтобы получать достоверный результат (табл. 12). Конечный результат можно получить по формуле:

$$a_1 = \frac{a_{\phi} \cdot V_{\phi}}{V_{\text{разб}} \cdot K}, \text{ мЛКи/мл,}$$

где:  $a_1$  – удельная активность рабочего раствора-фасовки после разбавления, мЛКи/мл;  
 $a_{\phi}$  – удельная активность раствора-фасовки на момент его изготовления, мЛКи/мл;  
 $V_{\phi}$  – объем поставляемого раствора-фасовки, мл;  
 $V_{\text{разб}}$  – объем рабочего раствора после разбавления раствора-фасовки (25, 50, 100 мл);  
 $K$  – поправка на распад за время от изготовления фасовки до приготовления рабочего раствора для работы.

Таблица 12 — Изменение содержания  $^{15}\text{P}^{32}$  в зависимости от времени \*

t	K	t	K	t	K	t	K	t	K
1	1,05	25	3,35	49	10,69	73	34,12	97	108,9
2	1,11	26	3,52	50	11,22	74	35,81	98	114,3
3	1,16	27	3,69	51	11,78	75	37,58	99	119,9
4	1,21	28	3,87	52	12,36	76	39,45	100	125,9
5	1,27	29	4,06	53	12,97	77	41,40	101	132,1
6	1,34	30	4,27	54	13,61	78	43,45	102	138,7
7	1,40	31	4,48	55	14,29	79	45,60	103	145,5
8	1,47	32	4,70	56	15,00	80	47,86	104	152,8
9	1,54	33	4,93	57	15,74	81	50,23	105	160,3
10	1,62	34	5,18	58	16,52	82	52,72	106	168,3
11	1,70	35	5,43	59	17,34	83	55,34	107	176,6
12	1,79	36	5,70	60	18,20	84	58,08	108	185,4
13	1,88	37	5,98	61	19,10	85	60,95	109	194,5
14	1,97	38	6,28	62	20,04	86	63,97	110	204,2
15	2,07	39	6,59	63	21,04	87	67,14	111	214,3
16	2,17	40	6,92	64	22,08	88	70,47	112	224,9
17	2,28	41	7,26	65	23,17	89	73,96	113	236,0
18	2,39	42	7,62	66	24,38	90	77,62	114	247,7
19	2,51	43	8,00	67	25,53	91	81,47	115	260,0
20	2,63	44	8,40	68	26,79	92	85,51	116	272,9
21	2,77	45	8,81	69	28,12	93	89,74	117	286,4
22	2,90	46	9,25	70	29,51	94	94,19	118	300,6
23	3,04	47	9,70	71	30,97	95	98,86	119	315,5
24	3,19	48	10,19	72	32,51	96	103,8	120	331,1

\*  $t$  — время от начала опыта, дни;  $K$  — коэффициент, на который надо умножить найденное количество импульсов для установления их количества в начале опыта.

Соответственно при разбавлении раствора-фасовки изменится и концентрация изотопа, которую можно рассчитать по формуле:

$$C_1 = \frac{C_{\phi} \cdot V_{\phi}}{V_{\text{разб}}}, \text{ мг/мл,}$$

где:  $C_1$  – концентрация изотопа в рабочем растворе-фасовке после разбавления, мг/мл;  
 $C_{\phi}$  – концентрация изотопа в растворе-фасовке на момент его изготовления, мг/мл;  
 $V_{\phi}$  – объем поставляемого раствора-фасовки, мл;  
 $V_{\text{разб}}$  – объем рабочего раствора после разбавления раствора-фасовки (25, 50, 100 мл).

Далее при приготовлении рабочего раствора для опыта с заданной массовой удельной активностью в первую очередь необходимо рассчитать общую активность изотопа для проведения исследования, исходя из задачи опыта, и определить какой объем рабочего раствора-фасовки нужно взять, чтобы приготовить рабочий раствор с заданными показателями. Такие расчеты можно выполнить по формулам:

$$A = a_{\text{из}} \times C_{\text{из}} \times V$$

$$V_1 = \frac{A}{a_1},$$

где:  $A$  – общая активность изотопа, необходимая для опыта, мКи;  
 $a_{\text{из}}$  – массовая удельная активность изотопа по условиям опыта, мКи/мг;  
 $C_{\text{из}}$  – концентрация изотопа вготавливаемом растворе, мг/мл;  
 $V$  – объемготавливаемого раствора, мл;  
 $V_1$  – необходимый объем рабочего раствора-фасовки для приготовления рабочего раствора при проведении опыта, мл;  
 $a_1$  – удельная активность рабочего раствора-фасовки, мКи/мл.

Если нужно приготовить рабочий раствор для опыта с заданной объемной удельной активностью, то рассчитывают общую активностьготавливаемого раствора для проведения опыта, исходя из задачи опыта, и определяют какой объем рабочего раствора-фасовки нужно взять, чтобы приготовить рабочий раствор с заданными показателями:

$$A = a_{\text{р-ра}} \times V \quad V_1 = \frac{A}{a_1},$$

где:  $A$  – общая активностьготавливаемого раствора, мКи;  
 $a_{\text{р-ра}}$  – удельная активностьготавливаемого раствора по условиям опыта, мКи/мл.

Если по условиям опыта нужно приготовить раствор с заданной концентрацией элемента, то первоначально надо определить, какое количество изотопа элемента будет внесено с рассчитанным объемом  $V_1$  и сравнить с необходимым количеством элемента на весь объемготавливаемого рабочего раствора:

$$M_{\text{из}} = C_1 \times V_1,$$

$$M_{\text{эл}} = C \times V,$$

где:  $M_{\text{из}}$  – количество изотопа во взятом объеме рабочего раствора-фасовки, мг;  
 $C_1$  – концентрация изотопа в рабочем растворе-фасовке после разбавления, мг/мл;  
 $V_1$  – необходимый объем рабочего раствора-фасовки для приготовления рабочего раствора для опыта, мл;  
 $M_{\text{эл}}$  – количество элемента для приготовления рабочего раствора с заданной концентрацией, мг;

C – концентрация приготавливаемого рабочего раствора для опыта, мг/мл;  
V – объем приготавливаемого раствора для опыта, мл.

Недостающее количество элемента надо внести в виде соответствующей соли:

$$M = M_{\text{эл}} - M_{\text{из}},$$

$$M_{\text{соль}} = \frac{M \cdot M_{\text{м}}}{M_{\text{а}}},$$

где:  $M_{\text{соль}}$  – количество соли для приготовления рабочего раствора с заданной концентрацией, мг;  
 $M_{\text{м}}$  – молекулярная масса соли, мг;  
 $M_{\text{а}}$  – атомная масса элемента, мг.

Наличие изотопии элементов позволяет решать множество задач: превращение элементов питания в почве, скорость и количество поступления их в растение, распределение по органам растения, участие в формировании новых веществ, влияние различных факторов на поступление в растение и т. д. По своим свойствам изотопы подразделяются на стабильные и радиоактивные. Технология их применения почти одинаковая, но различна методика определения, применяется различное технологическое оборудование. Радиоактивные изотопы при распаде испускают ионизирующее излучение, которое может отрицательно сказаться на развитии растений. Поэтому подбирают такое количество радиоактивного изотопа, активность которого будет находиться в пределах  $1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-7}$  Ки/кг, л вещества и не скажется отрицательно на развитии растений. Изменение количественного состава стабильного изотопа не должно сказаться на биологических процессах. Соответственно, рассмотрим по отдельности методику их применения.

#### 2.6.2.1. Определение запаса элементов питания растений в почве

Универсальным способом определения запаса элементов питания растений в почве является постановка полевых или вегетационных опытов с различными культурами, которые сопровождаются определением урожая, химическим анализом и диагностикой состояния растений, химическим анализом почвы. Данное исследование необходимо проводить на почве до тех пор, когда последующая культура практически перестанет расти. Общее содержание элемента в биомассе выращенных растений всех культур и будет определять количество доступного элемента питания для растений в данной почве. Однако, данный метод требует значительных затрат времени и средств, что не всегда оправданно.

Данная проблема может быть решена применением метода изотопного разведения, предложенного Г. Хевеши. Для выявления обеспеченности растений элементом питания почву обрабатывают растворителем, который своим действием на почву подобен действию корневых выделений. Но в большинстве случаев растворитель по своему действию превосходит действие их. Кроме того, в образовавшейся суспензии происходят процессы растворения и вторичного осаждения, что способствует перераспределению элемента между жидкой и твердой фазой почвы, то есть наблюдается равновесная среда. Перераспределение зависит от сорб-

ционного сродства данного элемента к твердой фазе почвы. Следовательно, из-за межфазного распределения количество элемента в вытяжке всегда будет меньше общего содержания доступного элемента в жидкой и твердой фазе почвы. Г. Хевеши для решения данной задачи предложил вводить в растворитель меченые атомы определяемого элемента с заданной активностью и известным количеством носителя. В результате изотопного обмена меченые атомы распределятся в жидкой и твердой фазах почвы. После взаимодействия растворителя с почвой небольшой объем вытяжки в подложке помещается под счетчик для измерения активности. Зная общую и удельную активность, массу исходных меченых атомов, удельную активность вытяжки, содержание элемента в вытяжке, можно рассчитать общее количество доступного элемента:

$$m = m^* \left( \frac{a_0 \cdot m_B}{a} - 1 \right) = \frac{A_0 \cdot m_B}{a} - m^*,$$

где:  $m$  – масса доступного элемента в почве, мг/кг;  
 $m^*$  – масса меченых атомов, введенных в растворитель, мг;  
 $m_B$  – количество элемента в вытяжке, мг;  
 $A_0$  – исходная общая активность меченых атомов, мЛКи  
 $a_0$  – исходная удельная активность меченых атомов, мЛКи/мг;  
 $a$  – конечная удельная активность меченых атомов, мЛКи/мг.

Если количество введенного радиоактивного изотопа крайне мало в сравнении с общей массой немеченого элемента в системе, расчет проводится проще:

$$m \cong A_0 \cdot \frac{m_B}{a} \quad \text{при } m^* \ll m$$

Для реализации данного метода целесообразно выполнять следующие положения:

1. Вводить меченые атомы с ничтожным содержанием носителя, чтобы не создавать повышения общего количества подвижного элемента в системе;

2. Вводить меченые атомы с известным содержанием носителя, массу которого следует учитывать в последующих расчетах.

Данный метод удобен и быстр, так как одновременно с растворителем вносятся меченые атомы с известным содержанием и активностью, и в дальнейшем остается только определить удельную активность и содержание элемента в вытяжке.

Выполнение анализа:

1. Приготовить раствор-растворитель необходимого объема, например, для определения фосфора по методу Ф.В. Чирикова. В мерной колбе на 1 л разбавить 30 мл концентрированной уксусной кислоты дистиллированной водой до метки (0,5 М);

2. Приготовить рабочий раствор из раствора-фасовки путем разбавления в мерной колбе на 200 мл. Раствор-фасовка поставлен объемом 5 мл с удельной активностью 15 мЛКи/мл и концентрацией фосфора 45 мг/мл. Находим удельную активность рабочего раствора после разбав-

ления по формуле с учетом прошедшего времени от изготовления раствора-фасовки, например, 15 дней, что составляет 1 период полураспада:

$$a_1 = \frac{a_\phi \cdot V_\phi}{V_{\text{разб}} \cdot K}, \text{ мЛКи/мл}$$

$$a_1 = \frac{15 \cdot 5}{200 \cdot 2} = 0,1875 \text{ мЛКи/мл},$$

где:  $a_1$  – удельная активность рабочего раствора-фасовки после разбавления, мЛКи/мл;  
 $a_\phi$  – удельная активность раствора-фасовки на момент его изготовления, мЛКи/мл;  
 $V_\phi$  – объем поставляемого раствора-фасовки, мл;  
 $V_{\text{разб}}$  – объем рабочего раствора после разбавления раствора-фасовки (200 мл);  
 $K$  – поправка на распад за время от изготовления фасовки до приготовления рабочего раствора для работы.

Соответственно при разбавлении раствора-фасовки изменится и концентрация изотопа, которую рассчитаем по формуле:

$$C_1 = \frac{C_\phi \cdot V_\phi}{V_{\text{разб}}} = \frac{45 \cdot 5}{200} = 1,125 \text{ мг/мл},$$

где:  $C_1$  – концентрация изотопа в рабочем растворе-фасовке после разбавления, мг/мл;  
 $C_\phi$  – концентрация изотопа в растворе-фасовке на момент его изготовления, мг/мл;  
 $V_\phi$  – объем поставляемого раствора-фасовки, мл;  
 $V_{\text{разб}}$  – объем рабочего раствора после разбавления раствора-фасовки, мл.

3. Определить, какой объем рабочего раствора нужно внести в раствор-растворитель, чтобы 1 мл вытяжки по активности превышал фон в 20 раз и составлял примерно 300–500 имп/мин при соответствующей эффективности счета счетчика, например, 0,2. Сначала нужно определить общую активность вытяжки:

$$A_{\text{выт}} = \frac{a_{\text{выт}} \cdot V_{\text{выт}}}{F \cdot 2,22 \cdot 10^9} = \frac{500 \cdot 100}{0,2 \cdot 2,22 \cdot 10^9} = 0,1126 \cdot 10^{-2}, \text{ мЛКи}.$$

Рассчитать объем раствора-растворителя на все почвенные образцы, например – 50 шт., и его общую активность:

$$V = V_{\text{выт}} \cdot 50 = 100 \text{ мл} \cdot 50 = 5000 \text{ мл} = 5 \text{ л},$$

$$A = A_{\text{выт}} \cdot 50 = 0,1126 \cdot 10^{-2} \text{ мЛКи/мл} \cdot 50 = 0,0563 \text{ мЛКи}.$$

Рассчитать, какой объем рабочего раствора нужно взять, чтобы раствор-растворитель объемом 5 л имел требуемую активность:

$$V_1 = \frac{A}{a_1} = \frac{0,0563_{\text{мЛКи}}}{0,1875_{\text{мЛКи/мл}}} = 0,3 \text{ мл};$$

4. В приготовленный раствор-растворитель объемом 5 л добавить 0,3 мл рабочего раствора с активностью 0,0563 мЛКи и перемешать;

5. Взять навеску почвы массой 4 г и перенести в колбу. В колбу прилить 100 мл раствора-растворителя, в течение часа встряхивать на ротаторе и оставить в покое на 23 часа;

6. По истечении времени отобрать часть вытяжки и определить содержание доступного фосфора выбранным методом. Например, содержание доступного фосфора составило 125 мг/кг;

7. Взять 1 мл вытяжки, перенести в подложку и высушить, чтобы не проявилось самопоглощение излучения раствором;

8. Измерить активность фона в течение 10 мин. Измерять активность фона в начале и конце работы. Рассчитать скорость счета фона:

$$N_{\phi} = \frac{n_{\phi}}{t_{\alpha}} = 210:10 = 21 \text{ имп/мин};$$

9. Подложку поместить на 2 позицию столика в свинцовом домике и измерить активность образца в течение 3 мин. Рассчитать скорость счета образца:

$$N = n/t = 1258/3 = 419,33 \text{ имп/мин};$$

10. Рассчитать истинную скорость счета образца:

$$N_{\text{ист}} = N - N_{\phi} = 419,33 - 21 = 398,33 \text{ имп/мин} \cdot \text{мл};$$

11. В другую подложку взять 1 мл раствора-растворителя, высушить и измерить активность в течение 5 мин. Рассчитать скорость счета препарата-эталоны:

$$N_{\text{эт}} = \frac{n_{\text{эт}}}{t_{\text{эт}}} = \frac{2870}{5} = 574 \text{ имп/мин} \cdot \text{мл};$$

12. Рассчитать истинную скорость счета препарата-эталоны:

$$N_{\text{эт.ист}} = N_{\text{эт}} - N_{\phi} = 574 - 21 = 553 \text{ имп/мин} \cdot \text{мл};$$

13. Определить запасное количество доступного фосфора:

$$M = m_{\text{в}} \frac{N_{\text{эт.ист}}}{N_{\text{ист.обр}}} = \frac{125 \cdot 553}{398,33} = 173,54 \text{ мг/кг}.$$

### 2.6.2.2. Изучение поглощения элемента почвой в зависимости от концентрации и времени взаимодействия

Метод меченых атомов позволяет определить величину поглощения элемента почвой и характер его превращения. В соответствующие бюксы с почвой массой 10 г вводится изучаемый элемент с концентрацией от минимального до максимального значения (примерно от 0,001 до 2–3 М) в составе раствора объемом 6 мл и с меткой такой активности, которую можно определить с необходимой точностью в конце эксперимента через самое большое заданное время. Такое соотношение почва : раствор приближает эксперимент к естественным условиям. В отдельных методиках рекомендуется более широкое соотношение – 10:20. Через заданные промежутки времени (минуты, часы, сутки) взаимодействия раствора с почвой равновесный раствор отделяется и измеряется его удельная активность с учетом поправки на распад во времени. Количество поглощенного элемента рассчитывают по формуле, исходя из уравнения баланса веществ:

$$S = \frac{V \cdot C_0}{m} \left(1 - \frac{\alpha}{\alpha_0}\right),$$

где:  $S$  – количество поглощенного элемента почвой, мг/г;  
 $V$  – объем приливаемого раствора, мл;  
 $C_0$  – концентрация исходного раствора, мг/мл;  
 $m$  – навеска почвы, г;  
 $\alpha_0$  – удельная активность исходного раствора, мКи/мл;  
 $\alpha$  – удельная активность равновесного раствора, мКи/мл.

После отделения равновесного раствора почва сразу промывается на воронке Бюхнера этиловым спиртом для удаления остатков равновесного раствора. Далее в почве можно проследить превращение элемента путем выделения его форм или соединений соответствующими растворителями по применяемым методикам и измерения удельной активности вытяжек с учетом поправки на распад изотопа. Определение количества формы элемента производится по изменению удельной активности вытяжки по сравнению с исходной активностью почвы и рассчитывается по формуле:

$$C_{\phi} = \frac{\alpha}{\alpha_0} \cdot S,$$

где:  $C_{\phi}$  – количество формы или соединения элемента, мг/г;  
 $S$  – количество элемента, поглощенного почвой, мг/г;  
 $\alpha$  – удельная активность вытяжки, мКи/мл;  
 $\alpha_0$  – удельная активность почвы, мКи/г.

Данная методика проведения исследований упрощает и ускоряет выполнение работы, так как исключает операцию по определению элемента в вытяжке по принятой методике. Кроме того можно определить время установления сорбционного равновесия в системе почва–раствор, что позволяет косвенно судить о доступности элемента корневой системе растения. Соответственно, чем медленнее наступает сорбционное равновесие, тем в большей степени будет доступен элемент. Установление сорбционного равновесия также будет зависеть от количества внесенного элемента, – чем больше внесено элемента, тем медленнее должно устанавливаться сорбционное равновесие.

Выполнение анализа:

1. Приготовить растворы изучаемого элемента с концентрациями от 0,01 до 1-2 М ( $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$ ) с заданной активностью ( $A$ ) и необходимого объема. Приготовить 4–5 растворов различной концентрации. Приготовление 1 М раствора. Взять навеску соли  $KH_2PO_4$  массой 136,09 г и растворить в 1 л дистиллированной воды. Растворы других концентраций готовят кратным уменьшением или увеличением навески соли в 1 л воды;

2. Приготовить рабочий раствор из раствора-фасовки путем разбавления в мерной колбе на 200 мл. Раствор-фасовка поставлен объемом 5 мл с удельной активностью 15 мКи/мл и концентрацией фосфора 45 мг/мл. Находим удельную активность рабочего раствора после разбавления по формуле с учетом прошедшего времени от изготовления раствора-фасовки, например, 15 дней, что составляет 1 период полураспада:

$$a_1 = \frac{a_\phi \cdot V_\phi}{V_{\text{разб}} \cdot K} = \frac{15 \cdot 5}{200 \cdot 2} = 0,1875 \text{ мЛКи/мл},$$

где:  $a_1$  – удельная активность рабочего раствора-фасовки после разбавления, мЛКи/мл;  
 $a_\phi$  – удельная активность раствора-фасовки на момент его изготовления, мЛКи/мл;  
 $V_\phi$  – объем поставляемого раствора-фасовки, мл;  
 $V_{\text{разб}}$  – объем рабочего раствора после разбавления раствора-фасовки (200 мл);  
 $K$  – поправка на распад за время от начала изготовления фасовки до приготовления рабочего раствора для работы.

Соответственно, при разбавлении раствора-фасовки изменится и концентрация изотопа, которую рассчитаем по формуле:

$$C_1 = \frac{C_\phi \cdot V_\phi}{V_{\text{разб}}} = \frac{45 \cdot 5}{200} = 1,125 \text{ мг/мл},$$

где:  $C_1$  – концентрация изотопа в рабочем растворе-фасовке после разбавления, мг/мл;  
 $C_\phi$  – концентрация изотопа в растворе-фасовке на момент его изготовления, мг/мл;  
 $V_\phi$  – объем поставляемого раствора-фасовки, мл;  
 $V_{\text{разб}}$  – объем рабочего раствора после разбавления раствора-фасовки, мл.

3. Определить, какой объем рабочего раствора нужно внести в исходный раствор  $C_1$ , чтобы 1 мл равновесного раствора по активности превышал фон в 20 раз и составлял примерно 300–500 имп/мин при соответствующей эффективности счета счетчика, например, 0,2. Для этого нужно определить общую активность исходного раствора  $C_1$ , необходимого для проведения опыта, например, 100 мл:

$$A_{\text{выт}} = \frac{a_{\text{пр}} \cdot V_{\text{исх}}}{F \cdot 2,22 \cdot 10^9} = \frac{500 \cdot 100}{0,2 \cdot 2,22 \cdot 10^9} = 0,1126 \cdot 10^{-2} \text{ мЛКи}.$$

Рассчитать, какой объем рабочего раствора нужно взять, чтобы исходный раствор объемом 100 мл имел требуемую активность:

$$V_1 = \frac{A}{a_1} = \frac{0,001126_{\text{мЛКи}}}{0,1875_{\text{мЛКи/мл}}} = 0,6 \cdot 10^{-2} \text{ мл}.$$

Такой объем рабочего раствора взять невозможно, поэтому нужно сделать промежуточное разбавление рабочего раствора. Например, взять 1 мл рабочего раствора в мерную колбу на 100 мл и добавить дистиллированной воды до метки. Соответственно отбираемый объем разбавленного раствора увеличится в 100 раз и составит 0,6 мл;

4. В приготовленный исходный раствор  $C_1$  объемом 100 мл добавить 0,6 мл разбавленного рабочего раствора с активностью 0,001126 мЛКи и перемешать;

5. Взять навески почвы массой 10 г и перенести в бюксы (колбы). Повторность исследования 3–4 кратная;

6. В бюкс (колбу) прилить 6 мл (20 мл) раствора соответствующей концентрации ( $C_1$ ) и перемешать суспензию стеклянной палочкой в течение 5–10 с, и оставить в покое на заданное время (мин, часы, сутки);

7. По истечению заданного времени отделить равновесный раствор при узком соотношении системы почва-раствор на воронке Бюхнера с помощью вакуумного насоса, а при широком соотношении – на центрифуге;

8. Если предполагается изучить превращение элемента, то почву промыть этиловым спиртом для удаления равновесного раствора и высушить;

9. Взять 1 мл равновесного раствора используемой концентрации ( $C_1$ ) и поместить в подложку, высушить и измерить активность ( $n$ , имп.) препарата примерно на второй позиции столика в течение нескольких минут ( $t$ , мин). Рассчитать скорость счета препарата ( $N_{пр}$ ) с учетом скорости счета фона:

$$N_{пр} = \frac{n}{t} - N_{ф}, \text{ имп/мин};$$

10. Предварительно определить среднее значение скорости счета фона ( $N_{ф}$ ) из нескольких измерений в течение 5–10 мин;

11. Взять в подложку 1 мл исходного раствора с концентрацией  $C_1$ , высушить и измерить активность препарата в течение нескольких минут ( $n_{исх}$ , имп.). Рассчитать скорость счета препарата ( $N_{исх}$ ) с учетом скорости счета фона:

$$N_{исх} = \frac{n_{исх}}{t} - N_{ф}, \text{ имп/мин};$$

12. Рассчитать количество ( $S$ ) поглощенного элемента почвой из раствора с концентрацией  $C_1$  за выбранное время  $T$  взаимодействия системы почва-раствор:

$$S = \frac{V \cdot C_1}{m} \cdot \left(1 - \frac{N_{пр}}{N_{исх}}\right),$$

где:  $S$  – количество поглощенного элемента почвой, мг/г;

$V$  – объем приливаемого раствора, мл;

$C_1$  – концентрация исходного раствора, мг/мл;

$m$  – навеска почвы, г;

$N_{исх}$  – удельная активность исходного раствора, мКи/мл;

$N_{пр}$  – удельная активность равновесного раствора, мКи/мл.

13. Действия 4–12 выполнить по каждой концентрации исходного раствора и по каждому заданному промежутку времени взаимодействия системы почва-раствор;

14. Показать графическую зависимость сорбции элемента почвой от концентрации раствора и времени взаимодействия (пункт 12). Дать пояснения.

### 2.6.2.3. Определение емкости поглощения элемента почвой

В условиях применения удобрений важно знать, как протекает процесс поглощения питательного вещества почвой и в каком количестве, качественный состав поглощенного элемента. Изотерма сорбции, построенная по результатам опыта, является важной характеристикой почвы, так как отражает условия протекания сорбционного процесса. Выпуклая изотерма указывает на то, что сорбционный процесс протекает в благоприятных условиях: большая энергия связи взаимодействующего сорбируемого элемента с сорбентом, отсутствие других конкурирующих компонентов за сорбционные места. Линейная изотерма указывает на то, что в сорбционном процессе участвуют одинаковые по конкурирующей способности и сорбционной связи другие компоненты, процесс протекает при относительно малых концентрациях растворов. Вогнутая изотерма указывает на то, что сорбционный процесс

протекает в неблагоприятных условиях: малая энергия связи взаимодействия сорбируемого элемента с сорбентом, участие в сорбционном процессе других веществ, которые сорбируются сильнее, чем данный элемент.

Изотерму сорбции получают в условиях статики. В соответствующие бюксы с почвой приливаются растворы с концентрациями от 0,005 до 1–2 М и с такой активностью, которую к концу эксперимента после распада можно зарегистрировать с достоверной точностью. Время эксперимента устанавливается таким, чтобы в системе установилось сорбционное равновесие, которое наступает в большинстве случаев после 10 суток взаимодействия. В дальнейшем равновесный раствор отделяется и определяется его активность. По изменению соотношения активностей исходного и равновесного растворов рассчитывается величина поглощения ( $S$  мг/г почвы) элемента и величина равновесной концентрации раствора ( $C$  мг/мл):

$$S = \frac{V \cdot C_0}{m} \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{\alpha_0}\right)$$

$$C = \frac{\alpha}{\alpha_0} \cdot C_0,$$

где:  $S$  – количество поглощенного элемента почвой, мг/г;  
 $C$  – концентрация равновесного раствора, мг/мл;  
 $V$  – объем приливаемого раствора, мл;  
 $C_0$  – концентрация исходного раствора, мг/мл;  
 $m$  – навеска почвы, г;  
 $\alpha_0$  – удельная активность исходного раствора, мКи/мл;  
 $\alpha$  – удельная активность равновесного раствора, мКи/мл.

По полученным результатам строится изотерма сорбции, которая показывает процесс поглощения элемента почвой. При изучении качественных изменений элемента почву отмыть от равновесного раствора этиловым спиртом, высушить и по принятой методике определить образовавшиеся в почве формы элемента.

Выполнение анализа:

1. Приготовить исходные растворы изучаемого элемента с концентрациями от 0,005 до 2 М ( $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$ ), с заданной активностью ( $A$ ) и необходимого объема. Для подробного построения изотермы приготовить не менее 15 растворов в данном интервале концентраций. Приготовление 1 М раствора. Взять навеску соли  $KH_2PO_4$  массой 136,09 г и растворить в 1 л дистиллированной воды. Растворы других концентраций готовят кратным уменьшением или увеличением навески соли в 1 л воды;

2. Приготовить рабочий раствор из раствора-фасовки путем разбавления в мерной колбе на 200 мл. Раствор-фасовка поставлен объемом 5 мл с удельной активностью 15 мКи/мл и концентрацией фосфора 45 мг/мл. Находим удельную активность рабочего раствора после разбавления по формуле с учетом прошедшего времени от изготовления раствора-фасовки, например, 15 дней, что составляет 1 период полураспада:

$$a_1 = \frac{a_{\phi} \cdot V_{\phi}}{V_{\text{разб}} \cdot K} = \frac{15 \cdot 5}{200 \cdot 2} = 0,1875 \text{ мКи/мл},$$

где:  $a_1$  – удельная активность рабочего раствора-фасовки после разбавления, мЛКи/мл;  
 $a_\phi$  – удельная активность раствора-фасовки на момент его изготовления, мЛКи/мл;  
 $V_\phi$  – объем поставляемого раствора-фасовки, мл;  
 $V_{\text{разб}}$  – объем рабочего раствора после разбавления раствора-фасовки (200 мл);  
 $K$  – поправка на распад за время от изготовления фасовки до приготовления рабочего раствора для работы.

Соответственно при разбавлении раствора-фасовки изменится и концентрация изотопа, которую рассчитаем по формуле:

$$C_1 = \frac{C_\phi \cdot V_\phi}{V_{\text{разб}}} = \frac{45 \cdot 5}{200} = 1,125 \text{ мг/мл},$$

где:  $C_1$  – концентрация изотопа в рабочем растворе-фасовке после разбавления, мг/мл;  
 $C_\phi$  – концентрация изотопа в растворе-фасовке на момент его изготовления, мг/мл;  
 $V_\phi$  – объем поставляемого раствора-фасовки, мл;  
 $V_{\text{разб}}$  – объем рабочего раствора после разбавления раствора-фасовки, мл.

3. Определить, какой объем рабочего раствора нужно внести в исходный раствор  $C_1$ , чтобы 1 мл равновесного раствора по активности превышал фон в 20 раз и составлял примерно 300–500 имп/мин при соответствующей эффективности счета счетчика, например, 0,2. Для этого нужно определить общую активность исходного раствора  $C_1$ , необходимого для проведения опыта, например, 100 мл:

$$A_{\text{выт}} = \frac{a_{\text{пр}} \cdot V_{\text{исх}}}{F \cdot 2,22 \cdot 10^9} = \frac{500 \cdot 100}{0,2 \cdot 2,22 \cdot 10^9} = 0,1126 \cdot 10^{-2} \text{ мЛКи}.$$

Рассчитать, какой объем рабочего раствора нужно взять, чтобы исходный раствор объемом 100 мл имел требуемую активность:

$$V_1 = \frac{A}{a_1} = \frac{0,001126_{\text{мЛКи}}}{0,1875_{\text{мЛКи/мл}}} = 0,6 \cdot 10^{-2} \text{ мл}.$$

Такой объем рабочего раствора взять невозможно, поэтому нужно сделать промежуточное разбавление рабочего раствора. Например, взять 1 мл рабочего раствора в мерную колбу на 100 мл и добавить дистиллированной воды до метки. Соответственно отбираемый объем разбавленного раствора увеличится в 100 раз и составит 0,6 мл;

4. В приготовленный исходный раствор  $C_1$  объемом 100 мл добавить 0,6 мл разбавленного рабочего раствора с активностью 0,001126 мЛКи и перемешать;

5. Взять навеску почвы массой 10 г и перенести в бюкс или колбу. Повторность исследования 3–4 кратная;

6. В бюкс прилить 6 мл раствора с концентрацией  $C_1$ , перемешать стеклянной палочкой в течение 5–10 секунд и оставить в покое, например, на 15 сут.;

7. По истечении времени отделить равновесный раствор на воронке Бюхнера с использованием вакуумного насоса. При большем соотношении системы почва-раствор равновесный раствор отделить с помощью центрифуги;

8. Если предполагается изучить превращение элемента, то почву промыть этиловым спиртом для удаления равновесного раствора и высушить;

9. Взять 1 мл равновесного раствора используемой концентрации ( $C_1$ ) и перенести в подложку, высушить и измерить активность препарата ( $n$ , имп) примерно на второй позиции столика в течение нескольких минут ( $t$ , мин). Рассчитать скорость счета препарата ( $N_{пр}$ ) с учетом скорости счета фона ( $N_{ф}$ ):

$$N_{пр} = \frac{n}{t} - N_{ф}, \text{ имп/МИН};$$

10. Предварительно определить среднее значение скорости счета фона ( $N_{ф}$ ) из нескольких измерений в течение 5–10 мин;

11. Взять в подложку 1 мл исходного раствора с концентрацией  $C_1$ , высушить и измерить активность препарата в течение нескольких минут ( $n_{исх}$ , имп.). Рассчитать скорость счета препарата ( $N_{исх}$ ) с учетом скорости счета фона:

$$N_{исх} = \frac{n_{исх}}{t} - N_{ф}, \text{ имп/мин};$$

12. Рассчитать величину поглощенного элемента почвой из раствора с концентрацией  $C_1$  и величину равновесной концентрации –  $C$ :

$$S = \frac{V \cdot C_1}{m} \cdot \left(1 - \frac{N_{пр}}{N_{исх}}\right), \text{ мг/г}$$

$$C = \frac{N_{пр}}{N_{исх}} \cdot C_1, \text{ мг/мл};$$

13. Действия 4–12 выполнить по каждой концентрации приготовленных растворов;

14. По полученным результатам (пункт 12) для всех концентраций построить изотерму сорбции элемента почвой. Дать пояснения.

#### **2.6.2.4. Определение различных форм или фракций поглощенного элемента почвой по их растворимости**

При использовании удобрений большой интерес представляет не только как быстро и в каком количестве поглощается элемент питания почвой, но и в какие формы или соединения он превращается и какова их доступность корневой системе растений. Использование однократного извлечения изучаемого элемента каким-либо авторским методом не раскрывает сущности проходящего процесса. Для понимания природы поглощения и превращения внесенного в почву элемента некоторые исследователи предлагают обрабатывать почву растворителями с различной степенью растворения или последовательно обрабатывать почву различными растворителями. Это позволяет познать природу поглощения, но в то же время усложняет получение результата. Применение меченых атомов в исследованиях позволит ускорить и облегчить проведение работы, так как исключает непосредственное определение изучаемого элемента в полученной вытяжке. Достаточно определить активность почвы и полученной вытяжки, по изменению активности вытяжки можно рассчитать количество поглощенного элемента, находящегося в той или иной форме, и какова его доступность растениям.

Процесс образования различных форм элемента в почве рассмотрим на примере фосфора с использованием метода Ф.В. Чирикова по определению группового состава фосфатов в упрощенном варианте Э.И. Шконде или метода Чанга–Джексона в модификации Гинзбург–Лебедевой по определению фракционного состава фосфатов.

*Выполнение анализа: метод Ф.В. Чирикова.*

1. Приготовить 1 л воды, насыщенной углекислотой:

Приготовить 1 л 0,5 М раствора уксусной кислоты ( $C_2H_4O_2$ ).

Приготовить 1 л 0,5 М раствора соляной кислоты (HCL).

2. Взять 3 навески по 2 г почвы, полученной после изучения кинетики или статики сорбции фосфора при концентрации  $C_1$ , и перенести в соответствующие колбы объемом 400–500 мл.

3. В колбы прилить по 200 мл воды, насыщенной углекислотой, и встряхивать 2 ч.

4. Взять часть суспензии в пробирку и отделить твердую часть почвы на центрифуге, чтобы исключить задержание фосфора фильтром.

5. Взять 1 мл вытяжки в подложку, высушить и измерить активность препарата ( $n_{пр}$ ) в течение 3–5 мин ( $t$ ) на второй позиции столика. Рассчитать скорость счета препарата с учетом скорости счета фона ( $N_{\phi}$ ):

$$N_{пр} = \frac{n_{пр}}{t} - N_{\phi}, \text{ имп/мин.}$$

6. Предварительно измерить активность фона ( $n_{\phi}$ ) в течение 10 мин несколько раз. Рассчитать скорость счета и найти среднюю скорость фона ( $N_{\phi}$ ):

$$N_{\phi} = \frac{n_{\phi}}{t}, \text{ имп/мин.}$$

7. Взять еще одну навеску почвы массой 500 мг и перенести в подложку и измерить активность почвы ( $n_{п}$ ) в течение 3–5 мин ( $t$ ). Рассчитать скорость счета почвы ( $N_{п}$ ) с учетом скорости счета фона.

$$N_{п} = \frac{n_{п}}{t} - N_{\phi}, \text{ имп/мин.}$$

8. Рассчитать количество фосфора, перешедшее в данную вытяжку из почвы при концентрации  $C_1$ :

$$M_1 = \frac{N_{пр}}{N_{п}} \cdot S, \text{ мг/г,}$$

где:  $S$  – количество поглощенного фосфора почвой при взаимодействии с раствором концентрации  $C_1$  и заданным временем.

9. Операции 2–5 и 8 повторить с растворами уксусной и соляных кислот. Результаты измерения активности почвы и вытяжек привести к единому времени.

10. Операции 2–5, 8–9 повторить так же для почв после взаимодействия с растворами разных концентраций и различного времени взаимодействия.

11. Содержание фосфатов 1 группы равно количеству фосфора в первой вытяжке. Содержание фосфатов 2 группы равно количеству фос-

фора во второй вытяжке минус количество фосфора в первой вытяжке. Содержание фосфатов 3 группы равно количеству фосфора в третьей вытяжке минус количество фосфора во второй вытяжке. Сделать пояснения.

*Выполнение анализа: метод Чанга–Джексона в модификации Гинзбург–Лебедевой.*

1. Приготовить 1 л 1 % раствора  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  + 0,25 %  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$  с pH 4,8.  
Приготовить 1 л 0,5 М раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$  +  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  + 0,25 %  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$  с pH 4,2.  
Приготовить 1 л 0,5 М раствора  $\text{NH}_4\text{F}$  с pH 8,5.  
Приготовить 1 л 0,1 М раствора  $\text{NaOH}$ .  
Приготовить 1 л 0,5 М раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .
2. Взять 3 навески по 1 г почвы, полученной после изучения кинетики или статики сорбции фосфора при концентрации  $C_1$ , и перенести в 100 мл центрифужные пробирки.
3. В пробирки прилить по 50 мл раствора сульфата аммония, закрыть пробкой и встряхивать 30 мин на ротаторе.
4. Пробирки поместить в центрифугу и отделить твердую часть почвы в течение 10 мин при скорости вращения 2–3 тыс. об/мин.
5. Прозрачный раствор слить в отдельную колбу с меткой.
6. Взять 1 мл вытяжки в подложку, высушить и измерить активность препарата ( $n_{\text{выт}}$ ) в течение 3–5 мин ( $t$ ) на второй позиции столика. Рассчитать скорость счета препарата с учетом скорости счета фона ( $N_{\text{ф}}$ ):

$$N_{\text{выт}} = \frac{n_{\text{выт}}}{t} - N_{\text{ф}}, \text{ имп/мин.}$$

7. Для удаления остатков задержанного  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в пробирку с почвой прилить 50 мл насыщенного раствора  $\text{NaCl}$ . Встряхивать 10 мин и отделить раствор на центрифуге. Раствор слить и удалить.

8. В пробирки с почвой прилить 50 мл ацетата аммония и встряхивать в течение 30 мин. Далее поместить в центрифугу и отделить твердую часть почвы в течение 10 мин при скорости вращения 2–3 тыс. об/мин.

9. Прозрачный раствор слить в отдельную колбу с меткой.

10. Взять 1 мл вытяжки в подложку, высушить и измерить активность препарата ( $n_{\text{выт}}$ ) в течение 3–5 мин ( $t$ ) на второй позиции столика. Рассчитать скорость счета препарата с учетом скорости счета фона ( $N_{\text{ф}}$ ):

$$N_{\text{выт}} = \frac{n_{\text{выт}}}{t} - N_{\text{ф}}, \text{ имп/мин.}$$

11. Для удаления остатков задержанного ацетата аммония в пробирки с почвой прилить 50 мл насыщенного раствора  $\text{NaCl}$ . Встряхивать 10 мин и отделить раствор на центрифуге. Раствор слить и удалить.

12. В пробирки с почвой прилить 50 мл 0,5 М  $\text{NH}_4\text{F}$  и встряхивать в течение 30 мин. Далее поместить в центрифугу и отделить твердую часть почвы в течение 10 мин при скорости вращения 2–3 тыс. об/мин.

13. Прозрачный раствор слить в отдельную колбу с меткой.

14. Взять 1 мл вытяжки в подложку, высушить и измерить активность препарата ( $n_{\text{выт}}$ ) в течение 3–5 мин ( $t$ ) на второй позиции столика. Рассчитать скорость счета препарата с учетом скорости счета фона ( $N_{\text{ф}}$ ):

$$N_{\text{выт}} = \frac{n_{\text{выт}}}{t} - N_{\text{ф}}, \text{ имп/мин.}$$

15. Для удаления остатков задержанного  $\text{NH}_4\text{F}$  в пробирки с почвой прилить 50 мл насыщенного раствора  $\text{NaCl}$ . Встряхивать 10 мин и отделить раствор на центрифуге. Раствор слить и удалить.

16. В пробирки с почвой прилить 50 мл 0,1 М  $\text{NaOH}$  и встряхивать в течение 30 мин. Далее поместить в центрифугу и отделить твердую часть почвы в течение 10 мин при скорости вращения 2–3 тыс. об/мин.

17. Прозрачный раствор слить в отдельную колбу с меткой.

18. Взять 1 мл вытяжки в подложку, высушить и измерить активность препарата ( $n_{\text{выт}}$ ) в течение 3–5 мин ( $t$ ) на второй позиции столика. Рассчитать скорость счета препарата с учетом скорости счета фона ( $N_{\text{ф}}$ ):

$$N_{\text{выт}} = \frac{n_{\text{выт}}}{t} - N_{\text{ф}}, \text{ имп/мин.}$$

19. Для удаления остатков задержанного  $\text{NaOH}$  в пробирки с почвой прилить 50 мл насыщенного раствора  $\text{NaCl}$ . Встряхивать 10 мин и отделить раствор на центрифуге. Раствор слить и удалить.

20. В пробирки с почвой прилить 50 мл 0,5 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и встряхивать в течение 30 мин. Далее поместить в центрифугу и отделить твердую часть почвы в течение 10 мин при скорости вращения 2–3 тыс. об/мин.

21. Прозрачный раствор слить в отдельную колбу с меткой.

22. Взять 1 мл вытяжки в подложку, высушить и измерить активность препарата ( $n_{\text{выт}}$ ) в течение 3–5 мин ( $t$ ) на второй позиции столика. Рассчитать скорость счета препарата с учетом скорости счета фона ( $N_{\text{ф}}$ ):

$$N_{\text{выт}} = \frac{n_{\text{выт}}}{t} - N_{\text{ф}}, \text{ имп/мин.}$$

23. Предварительно измерить активность фона ( $n_{\text{ф}}$ ) в течение 10 мин несколько раз. Рассчитать скорость счета и найти среднюю скорость фона ( $N_{\text{ф}}$ ):

$$N_{\text{ф}} = \frac{n_{\text{ф}}}{t}, \text{ имп/мин.}$$

24. Взять еще одну навеску почвы массой 500 мг и перенести в подложку и измерить активность почвы ( $n_{\text{п}}$ ) в течение 3–5 мин ( $t$ ).

Рассчитать скорость счета почвы ( $N_{\text{п}}$ ) с учетом скорости счета фона:

$$N_{\text{п}} = \frac{n_{\text{п}}}{t} - N_{\text{ф}}, \text{ имп/мин.}$$

25. Рассчитать количество фосфора, перешедшее в каждую вытяжку из почвы при концентрации  $C_1$  с приведением активности к единому времени:

$$M_1 = \frac{N_{\text{пр}}}{N_{\text{п}}} \cdot S, \text{ мг/г,}$$

где:  $S$  – количество поглощенного фосфора почвой при взаимодействии с раствором концентрации  $C_1$  и заданным временем.

26. Операции 2–23 и 25 повторить так же с почвами после взаимодействия с растворами других концентраций и временем взаимодействия. Результаты измерения активности почвы и вытяжек привести к единому времени. Сделать пояснения.

#### **2.6.2.5. Изучение пространственного распределения и локализации элемента по профилю почвы**

Метод радиоактивных индикаторов дает уникальную возможность прямого наблюдения за перемещением различных веществ по профилю почвы. Скорость перемещения элемента питания по профилю почвы определяет его сохранность и доступность растению во времени, позволяет подобрать наиболее эффективные приемы и способы внесения удобрений. Исследования по изучению перемещения заданного элемента целесообразнее проводить в условиях микролизиметра.

Выполнение работы:

1. Открыть профиль почвы на глубину 50–100 см. По слоям почву перенести в емкость широкоугольной формы, создавая уплотнение близкое к естественному. Ширина сосуда должна быть в 2–3 раза больше, чем глубина. Высота сосуда должна превышать на 5 см общий слой отбираемой почвы. Желательно, чтобы одна широкая сторона была съемной. Дно сосуда закрыто закрепленной марлей. Поверхность почвы в сосуде должна быть ниже края сосуда на 3–5 см. По возможности можно отобрать почвенный монолит.

2. Изучаемый элемент с радиоактивным изотопом и активностью 10–20 мкКи в виде заданной соли и распределить по всей поверхности почвы или в одно место ниже поверхности почвы.

3. В сосуд приливать дистиллированной воды из расчета месячной или годовой нормы выпадения осадков или других заданных условий.

4. После впитывания почвой воды отделить широкую стенку сосуда.

5. Счетчиком-щупом с узким отверстием точно просканировать площадь почвенного монолита.

6. На схеме монолита в масштабе нанести результаты сканирования активности изотопа.

7. Измерить расстояние от места внесения радиоактивного изотопа до тех мест, где активность не определялась.

8. По полученным результатам сделать заключение о пространственном распределении элемента по профилю почвы.

9. В данном опыте можно изучить влияние объема приливаемой воды на степень перемещения элемента по профилю почвы.

### 2.6.3. Радиоактивные индикаторы в биологических исследованиях

Биология – одна из наиболее емких областей применения метода меченых атомов. Этот метод широко применяется при изучении пространственного переноса биологических объектов, поступления и химизма превращения веществ в биологических объектах. Метод меченых атомов можно рассматривать как своеобразный тонкий «инструмент-зонд», с помощью которого проникают в биологические объекты. Но получить правильные результаты исследований можно только в том случае, когда «зондирование» не нарушает нормального протекания биологических процессов в живом организме и передает правдивую информацию о процессах. Следовательно, метод меченых атомов должен отвечать следующим требованиям:

1. Введение меченых атомов в биологические системы не должно нарушать нормального течения биологических процессов;

2. Информация, получаемая с помощью меченых атомов, должна быть точной, объективно отражающей реальные процессы в биологических системах.

Для удовлетворения этих требований вводят следующие положения:

1. Радиоактивные и стабильные изотопы в определенных границах доз не оказывают любого биологического действия на живой организм (пределы индикаторных доз);

2. Изотопы одного и того же химического элемента одинаково участвуют во всех процессах, совершающихся в живых организмах.

При применении меченых атомов нужно иметь в виду следующее:

1. Введение в живой организм радиоактивных изотопов сопровождается внутренним облучением организма;

2. На организм могут оказывать действие ядра отдачи, возникающие при распаде радиоактивных изотопов и вызывающие ионизацию высокой плотности;

3. Образующиеся продукты распада могут оказать какое-либо действие на организм как химический реагент;

4. Меченый элемент – это химический элемент с искусственно измененным составом изотопов. Поэтому это может быть причиной биологического действия на живой организм, так как растения в процессе эволюции приспособились к естественному составу изотопов элемента.

Данные о биологическом действии радиоактивного излучения при распаде атомов весьма противоречивы, но в последнее время приближенным интервалом индикаторных доз принят следующий интервал:  $10^{-7}$ – $10^4$  Ки/л (кг). При меньших дозах отмечается стимулирующее действие излучения на живой организм, а при больших – угнетающее действие. Точно установить индикаторную дозу задача очень сложная, при этом надо учитывать вид и энергию излучения, контролируемые биологические признаки, вид живого организма, его возраст и биологическое состояние и т. д.

Соответственно, при применении метода меченых атомов в биологических исследованиях рассчитываемая активность применяемого изотопа должна находиться в пределах индикаторных доз. При работе с растениями

нужно учитывать, что растения не полностью используют внесенный элемент питания, он неравномерно распределяется по органам, величина массы растения зависит от времени выращивания и других факторов. Для получения достоверных результатов необходимо, чтобы активность пробы растения с малым содержанием элемента в конце эксперимента превышала активность фона приблизительно в 10 раз. Общую активность меченого элемента при проведении эксперимента с растением можно определить по формуле:

$$A = \frac{A_n \cdot M_p \cdot H \cdot K \cdot K_1}{F \cdot M_n \cdot 2,22 \cdot 10^{12}}, \text{ Ки},$$

где:  $A_n$  – активность навески растения, имп/мин;  
 $M_p$  – предполагаемая масса сухого вещества растения в конце эксперимента, г;  
 $M_n$  – масса навески для определения активности, г;  
 $H$  – неравномерность распределения элемента по органам растения;  
 $K$  – коэффициент усвоения элементом растением, %;  
 $F$  – эффективность счета используемого счетчика, %;  
 $K_1$  – поправка на распад изотопа за время эксперимента;  
 $2,22 \cdot 10^{12}$  – перевод имп/мин в Ки.

Если расчетная активность не входит в предел индикаторных доз, то по возможности можно сократить время эксперимента или выбрать счетчик с большей эффективностью счета или сухую массу перевести в золу и взять большую по массе навеску для измерения активности.

Метод меченых атомов позволяет выявить скорость поступления и пространственное распределение меченого элемента по растению. После внесения меченого элемента и высева семян к отдельным органам развивающегося растения устанавливают счетчики, и во времени фиксируют начало счета и активность различных органов. На этой основе можно определить скорость перемещения элемента по растению, для этого у растения на измеренном расстоянии устанавливают два счетчика и по началу счета с фиксацией времени по каждому счетчику определяют время, в течение которого проходило перемещение элемента по растению. Метод меченых атомов позволяет отдельно определить поступление элемента питания из почвы или удобрения. Для этого достаточно пометить удобрение и в дальнейшем определить активность растения и общее содержание элемента в нем. Сначала находят общую активность растения на основе удельной активности, далее рассчитывают массу элемента усвоенного растением из удобрения по формуле:

$$m_{\text{раст}}^* = m_0^* \cdot \frac{A_{\text{раст}}}{A_0}.$$

где:  $m_0^*$  – количество внесенного меченого элемента.

Далее рассчитываем коэффициент усвоения элемента из удобрения растением по формуле:

$$K_{\text{удоб}} = \frac{A_{\text{раст}}}{A_0} = \frac{m_{\text{раст}}^*}{m_0^*}.$$

### 2.6.2.7. Изучение раздельного питания растений из удобрений и почвы

При применении удобрений возникает вопрос, насколько эффективно усваивается элемент питания растением и повышается продуктивность растения. С этой целью вносят различные дозы удобрений, разными приемами и способами, в разных формах. Методы, применяемые для решения вопроса, часто сложны, дорогостоящие и не всегда дают достоверный ответ, так как изучаемый элемент всегда присутствует в почве. Вне-сенный элемент питания с удобрением, возможно, будет способствовать и большему усвоению данного элемента из почвы, что скажется на достоверности получаемого результата. Следовательно, использование метода меченых атомов позволит разделить потоки поступления элемента питания в растение и их количество. Данные исследования целесообразно проводить в условиях вегетационного или микрополевого опыта, что определяется высокой ценой меченых веществ (удобрений). Исследование проведем с применением, например, фосфора-32.

Выполнение работы:

1. Первоначально нужно определить начальную активность изотопа фосфора-32 и входит ли она в предел индикаторных доз:

$$A = \frac{A_n \cdot M_p \cdot H \cdot K \cdot Pr}{F \cdot M_n \cdot 2,22 \cdot 10^{12}} = \frac{300 \cdot 30 \cdot 2 \cdot 25 \cdot 128}{10 \cdot 0,05 \cdot 2,22 \cdot 10^{12}} = 0,518 \cdot 10^{-4} \text{Ки.}$$

В сосуд помещается 5 кг почвы; при этом индикаторная доза составит:

$$A_{\text{инд.}} = \frac{0,518 \cdot 10^{-4}}{5} = 0,1036 \cdot 10^{-4} \text{ Ки/кг}$$

Рассчитанная индикаторная доза входит в предел допустимых индикаторных доз.

2. Рассчитать, какой объем рабочего раствора-фасовки нужно взять, чтобы он имел активность 0,0518 мКи и тщательно перемешать с 5,35 г суперфосфата (1 г  $P_2O_5$ ):

$$V = 0,0518 : 0,01875 = 2,76 \text{ мл.}$$

3. Отвесить 5 кг подготовленной почвы и равномерно перемешать с 5,52 г суперфосфата. Пересыпать в сосуд, равномерно уплотняя почву по всему объему.

4. Провести посев семян культуры и полив заданным количеством воды. Поддерживать заданную влажность почвы в течение выращивания растений.

5. В конце опыта вегетативную часть растения срезать на уровне почвы или взять все растение, предварительно отмыть корневую систему. Растение высушить до воздушно-сухого или абсолютно сухого состояния и взвесить ( $M_{\text{раст}}$ ). Измельчить до мелкого состояния.

6. Взять 2–3 навески ( $m_n$ ) по 50 мг сухой массы растения и перенести в подложки. Измерить активность препаратов ( $n_{\text{пр}}$ ) в течение 3–5 мин на второй позиции столика и рассчитать скорость счета с учетом скорости счета фона ( $N_{\text{ф}}$ ):

$$N_{\text{пр}} = \frac{n_{\text{пр}}}{t} - N_{\phi, \text{имп/мин.}}$$

7. Предварительно измерить активность фона в течение 10 мин и считать скорость счета ( $N_{\phi}$ ). Измерения проводить в начале и в конце работы:

$$N_{\phi} = \frac{n_{\phi}}{t}, \text{имп/мин.}$$

8. Рассчитать активность всей массы растения с приведением величины активности к моменту внесения меченого суперфосфата:

$$N_{\text{раст}} = \frac{N_{\text{пр}}}{m_{\text{н}}} \cdot M_{\text{раст}} \cdot K, \text{имп,}$$

где:  $K$  – поправка на распад фосфора-32.

9. Рассчитать, какое количество фосфора поглощено растением, и коэффициент усвоения фосфора удобрений:

$$m_{\text{раст}}^* = m_0^* \cdot \frac{N_{\text{раст}}}{A}, \text{мг}$$

$$K_{\text{удоб}} = \frac{N_{\text{раст}}}{A} = \frac{m_{\text{раст}}^*}{m_0^*},$$

где:  $m_0^*$  – количество внесенного меченого фосфора с удобрением.

10. Рассчитать, какое количество фосфора поглотило растение из почвы. Взять 100 мг измельченной сухой массы, подвергнуть мокрому озолению и соответствующим химическим методом определить содержание фосфора. Рассчитать количество фосфора в целом растении:

$$P_{\text{раст}} = C_{\text{мг/г}} \cdot M_{\text{раст}}, \text{мг.}$$

11. Определить количество фосфора, поглощенное растением из почвы. Из общего содержания фосфора в растении вычесть количество поглощенного фосфора растением из удобрений:

$$P_{\text{почв}} = P_{\text{раст}} - m_{\text{раст}}^*.$$

#### 2.6.2.8. Определение распределения элемента питания по органам растения

Метод радиоизотопных индикаторов позволяет не только проследить поступление элемента питания из какого-либо вещества, но и его распределение по органам растения как *in vitro*, так и *in vivo*. Сначала рассмотрим изучение распределения элемента *in vitro*:

1. Провести закладку вегетационного опыта, как это было выполнено в предыдущей работе (пункты 1–4).

2. В конце опыта вегетативную часть растения срезать на уровне почвы или взять все растение, предварительно отмыть корневую систему и разделить на составные части или органы. Части растения высушить до воздушно-сухого или абсолютно сухого состояния и взвесить каждую часть ( $M_{\text{корн}}$ ,  $M_{\text{стеб}}$ ,  $M_{\text{лист}}$  и т. д.). Измельчить до мелкого состояния.

3. Взять 2–3 навески ( $m_n$ ) по 50 мг сухой массы каждой части растения и перенести в подложки. Измерить активность препаратов ( $n_{пр}$ ) в течение 3–5 мин на второй позиции столика и рассчитать скорость счета с учетом скорости счета фона ( $N_{\phi}$ ):

$$N_{пр} = \frac{n_{пр}}{t} - N_{\phi}, \text{ имп/мин.}$$

4. Предварительно измерить активность фона в течение 10 мин и считать скорость счета ( $N_{\phi}$ ). Измерения проводить в начале и в конце работы:

$$N_{\phi} = \frac{n_{\phi}}{t}, \text{ имп/мин.}$$

5. Рассчитать активность всей массы каждой части растения с приведением активности к моменту внесения меченого суперфосфата с учетом распада, например:

$$N_{корн} = \frac{N_{пр}}{m_n} \cdot M_{корн} \cdot K, \text{ имп,}$$

где:  $K$  – поправка на распад.

6. Рассчитать, какое количество фосфора поступило в каждую часть растения, например:

$$m_{корн}^* = m_0^* \cdot \frac{N_{корн}}{A}, \text{ мг,}$$

где:  $m_0^*$  – количество внесенного меченого фосфора с удобрением;

$A$  – активность внесенного суперфосфата, имп.

7. Рассчитать общее содержание фосфора в растении и относительные доли нахождения фосфора в разных частях растения от всего поступившего в растение, например:

$$P_{раст} = m_{корн}^* + m_{стеб}^* + m_{лист}^* + \text{и т.д.}$$

$$D_{корн} = \frac{m_{корн}^*}{P_{раст}},$$

$$D_{стеб} = \frac{m_{стеб}^*}{P_{раст}},$$

$$D_{лист} = \frac{m_{лист}^*}{P_{раст}} \text{ и т.д.}$$

8. Изучение распределения фосфора по органам растения можно провести и не нарушая его жизнедеятельности, то есть *in vivo*. Для этого счетчики поместить около каждого органа или части растения. Через некоторое время зафиксировать активность изотопа и, выполняя пункты 4–7, рассчитать поступление фосфора в органы и долю нахождения его по органам.

9. Так же, измеряя активность изотопа в органах через определенные промежутки времени, можно определить скорость поступления элемента в органы растения и распределения по органам растения, не нарушая его жизнедеятельности.

### 2.6.2.9. Изучение скорости перемещения элемента питания по растению

В некоторых случаях для повышения продуктивности растения проводятся подкормки элементами питания в виде удобрений. В данном случае предполагается, что элемент питания удобрения сравнительно быстро поглотится корневой системой и достигнет точки роста. Поэтому важно знать с какой скоростью перемещается любой элемент по растению и достигает точки роста. Применение химических методов не позволяет получить достоверную информацию, так как отбор растения приводит к его гибели. Внешние условия могут способствовать неодинаковому развитию растений и отобранные растения в один срок могут отличаться друг от друга, тем более во времени. Применение радиоизотопных индикаторов позволит получать более достоверную информацию без повреждения растения и проследить процесс перемещения элемента на одном и том же растении. Проследим процесс перемещения элемента по растению на примере изотопа фосфор-32.

Выполнение работы:

1. Вырастить изучаемое растение с использованием сосуда или взять выращенное растение с сосудом высотой 30–50 см.

2. Установить первый счетчик-щуп около стебля на высоте 5–10 см от поверхности почвы в сосуде. Установить второй счетчик-щуп около стебля на расстоянии 10–20 см от первого счетчика. Точное расстояние между счетчиками записать ( $l$ ).

3. Ввести при помощи шприца в нижнюю часть стебля раствор фосфата с изотопом фосфора-32 и активностью 1000 2000 имп/мин·мл или в почву в зону корней.

4. Записать время начала регистрации активности первым счетчиком ( $t_1$ ).

5. Записать время начала регистрации активности вторым счетчиком ( $t_2$ ).

6. Найти время, прошедшее от регистрации активности первым счетчиком до начала регистрации вторым счетчиком:

$$T = t_2 - t_1, \text{ ч.}$$

7. Определить скорость перемещения фосфора по растению:

$$V = \frac{l}{T}, \text{ м/ч.}$$

8. На таком принципе можно определить время, через которое элемент из почвы достигнет точки роста или какого-либо яруса листьев растения, регистрируя время внесения меченого элемента в почву и начало регистрации активности счетчиком, установленным около точки роста или листа яруса.

#### **2.6.2.10. Установление влияния способа внесения удобрения на время и интенсивность поступления элемента в растение**

Размещение удобрения в почве по отношению к семенам или корневой системе растения будет влиять на продуктивность растения. Чем быстрее и в большем количестве будут поглощены элементы питания, тем лучше будет развитие растений и, соответственно, их продуктивность. Применение радиоактивных изотопов в составе удобрений позволит проследить время и количественное поступление элемента питания из удобрения на фоне этого элемента, имеющегося в почве. Исследование целесообразно проводить в условиях вегетационного или микрополевого опыта.

Выполнение работы:

1. Подготовить 12 сосудов с почвой.
2. Подготовить 9 навесок суперфосфата массой 5 г с изотопом фосфора-32 и активностью 20 мкКи.
3. Первые три сосуда оставить в естественном состоянии.
4. В следующих трех сосудах верхний 10 см слой почвы перемешать с меченым суперфосфатом.
5. В последующих трех сосудах суперфосфат внести на глубину 5 см ниже ложа семян.
6. В последних трех сосудах суперфосфат внести на 5 см в сторону и на 5 см ниже ложа семян.
7. Во всех сосудах провести посев семян озимой пшеницы в одинаковом количестве. Провести полив сосудов необходимым количеством воды.
8. В процессе проведения опыта поддерживать постоянную влажность почвы.
9. После появления всходов отбирать по одному растению с каждого сосуда через некоторые промежутки времени и измерять их активность. Результаты записать.
10. По началу появления и величине активности сделать заключение о влиянии способа внесения удобрений на время и количество поступления элемента питания в растение.

#### **2.6.4. Стабильные изотопы в почвенно-агрохимических и биологических исследованиях**

Не все химические элементы имеют радиоактивный изотоп, особенно, являющиеся элементами питания растений. После разработки масс-спектрометрического и эмиссионно-спектрометрического методов возможность применения данного метода расширилась. В большей мере это проявилось в биологических и агрохимических исследованиях в отношении азота, составляющего основу живого организма. Он позволяет проследить за превращением его в различных системах, выявить поведение азота в почве и эффективность азотных удобрений.

Широкое использование метки в агрохимических, физиологических, биохимических, микробиологических исследованиях позволяет выявить особенности и закономерности питания растений, определить размеры и механизмы азотфиксации, установить особенности круговорота и баланса

азота в агроценозах, определить истинные коэффициенты использования азота удобрений и почвы растениями. На сегодняшний день с применением  $^{15}\text{N}$  в агрохимии проводят исследования по многим направлениям:

- углубленное изучение процессов трансформации азота в почве и расшифровка механизмов превращения азота удобрений и почвы в процессах иммобилизации, фиксации, минерализации и денитрификации;

- количественная оценка структуры и потерь азота и разработка эффективных приемов их предотвращения;

- изучение показателей баланса и круговорота азота в полевых условиях в различных почвенно-климатических зонах страны;

- научное обоснование, разработка и внедрение в производство новых энергосберегающих технологий рационального применения азотсодержащих удобрений, обеспечивающих повышение использования растениями азота и получение высокого урожая качественной продукции;

- комплексное изучение средств химизации (удобрения, гербициды, пестициды и др.), применяемых в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур;

- изучение экологических аспектов применения азота удобрений, научное обоснование почво- и природоохранных мероприятий, ограничивающих негативные последствия загрязняющих окружающую среду и потенциально опасных для здоровья людей и животных азотистых соединений;

- изучение вклада в баланс и круговорот азота симбиотической, не симбиотической и ассоциативной азотфиксации; разработка приемов, повышающих долю биологического азота в земледелии при возделывании сельскохозяйственных культур;

- расширение исследований по физиологии, биохимии и генетике азотного питания, процессам синтеза и ресинтеза белка в растениях, направленных на создание регулируемых систем и моделей.

В качестве меток в агрохимических исследованиях применяют только стабильные изотопы азота. Их использование как меток основано на том, что  $^{14}\text{N}$  и  $^{15}\text{N}$  встречаются в природе почти всегда в постоянном соотношении. За исключением небольших отклонений, соотношение изотопа  $^{14}\text{N}$  с изотопом  $^{15}\text{N}$  в природных азотсодержащих соединениях равно 272:1, то есть природный азот содержит около 0,366 ат. %  $^{15}\text{N}$ . Соединения азота с более высокой или низкой концентрацией  $^{14}\text{N}$  или  $^{15}\text{N}$  можно использовать в качестве меченых при условии, что их изотопный состав заметно отличается от изотопного состава немеченого азота в системе в момент отбора проб для анализа. Добавка соединений азота с высокой или низкой концентрацией  $^{15}\text{N}$  в какую-либо систему, содержащую обычный азот, приведет к увеличению или уменьшению количества  $^{15}\text{N}$  во всей системе или ее части. При этом степень изменения концентрации  $^{15}\text{N}$  будет зависеть от того, сколько меченого азота войдет в различные азотсодержащие компоненты этой системы. Изменение соотношения изотопов в образцах, взятых из этой системы, позволяет изучать превращения внесенного меченого соединения азота. Величина изменения изотопного соотношения по сравнению с исходным в системе позволяет рассчитать, в какой степени метка входит и становится частью системы (то есть знать долю участия меченого азота в общем азоте, находящемся в системе).

Химические свойства  $^{14}\text{N}$  и  $^{15}\text{N}$  одинаковы. Небольшие различия в их поведении в биологических системах являются функцией их различия по массе, т. е. физических свойств. Для большинства исследований с изотопной меткой  $^{15}\text{N}$  эти различия можно считать ничтожными. Специфика проведения опытов с применением стабильного изотопа азота  $^{15}\text{N}$  в агрохимических исследованиях определяется следующими основными моментами:

1. Работу следует начинать с предварительных расчетов для определения ориентировочной изотопной метки в анализируемых соединениях. С учетом полученных данных рассчитывают минимальную исходную величину обогащения азота изотопом  $^{15}\text{N}$  в удобрении;

2. В используемом меченом удобрении проверяют содержание азота и его изотопный состав;

3. Запасы природного азота почвы значительно больше дозы азотных удобрений. Поэтому для хорошей воспроизводимости результатов химических и изотопных анализов следует уделять особое внимание тщательности выполнения операций по равномерному распределению меченого удобрения в почве и отбору проб для анализа;

4. В опытах с  $^{15}\text{N}$  исследуемые образцы анализируют на содержание азота и его изотопный состав. Это определяет выбор химических методов анализа и величину аналитической навески. При проведении химического анализа азот образца необходимо перевести в аммонийную форму с последующим отгоном в дистилляционных аппаратах в раствор кислоты (общий азот в растениях и почве определяют по Кьельдалю-Иодельбауэру, азот нитратов после предварительного восстановления  $\text{N—NO}_3$  до  $\text{N—NH}_4$ ). Для выполнения изотопных анализов на масс-спектрометре в аналитической навеске должно содержаться не менее 0,5 мг азота;

5. После отгона аммиака оттитрованный раствор используют для определения содержания  $^{15}\text{N}$  на приборе. Для этого его подкисляют 2–3 каплями 0,02 н. раствора серной кислоты, выпаривают в фарфоровых чашках на водяной бане до объема 2–3 мл, переносят в пробирку.

Для анализа изотопного состава азота используют масс- или эмиссионные спектрометры. *Масс-спектрометрический* метод анализа изотопного состава азота основан на ионизации молекулярного азота потоком ускоренных электронов, последующем разделении ионов в электромагнитном поле в зависимости от величины  $M/e$  ( $M$  – масса иона;  $e$  – заряд) и регистрации их с помощью ионного приемника. При ионизации молекулярного азота в масс-спектрометре образуется целый ряд ионов с разной массой:  $[^{15}\text{N}^5\text{N}^+]$ ,  $[^{15}\text{N}^{14}\text{N}]^+$ ,  $[^{14}\text{N}^{14}\text{N}]^+$ ,  $[^{15}\text{N}]^+$ ,  $[^{15}\text{N}^{15}\text{N}]^{2+}$ ,  $[^{14}\text{N}^{15}\text{N}]^{2+}$ ,  $[^{14}\text{N}]^+$  и  $[^{14}\text{N}^{14}\text{N}]^{2+}$ . Изотопный состав азота лучше всего определять, измеряя токи ионов, соответствующие массам  $28[^{14}\text{N}^{14}\text{N}]^+$ ,  $29[^{15}\text{N}^{14}\text{N}]^+$  и  $30[^{15}\text{N}^{15}\text{N}]^+$ . Изотопный состав азота рассчитывают на основе этих измерений. Эмиссионно-спектрометрический метод определения изотопного состава азота основан на измерении относительной яркости изотопной структуры квантов электронно-колебательных полос в эмиссионном спектре азота при его возбуждении в высокочастотном разряде. Возбужденные молекулы азота массы  $28[^{14}\text{N}^{14}\text{N}]$ ,  $29[^{15}\text{N}^{14}\text{N}]$  и  $30[^{15}\text{N}^{15}\text{N}]$  имеют характерные свечения в области длин волн соответственно 2977, 2983 и 2989

ангстрем. Возбужденное свечение азота разлагается в спектр сканирующим монохроматором (или призмой) и преобразуется в электрические сигналы фотоумножителем. После усиления фототок регистрируется потенциометром. Изотопный состав азота рассчитывается по соотношению высоты пиков интенсивности излучения молекул  $^{28}\text{N}_2$ ,  $^{29}\text{N}_2$  и  $^{30}\text{N}_2$ . Чтобы получить хорошо воспроизводимые результаты с помощью масс-спектрометра, требуется 1–3 мг азота. Эмиссионный же спектрометр позволяет измерить изотопный состав при наличии около 0,01 мг  $^{15}\text{N}$ .

Для изотопного анализа азота на масс-спектрометре или оптическом анализаторе необходимо, чтобы все формы азота в образце (органические и минеральные) были превращены в молекулярный азот, то есть наиболее подходящую для измерения форму. Этот газ инертен, не реагирует с материалами оборудования, используемыми в масс-спектрометрах и оптических анализаторах, легко удаляется (откачивается) из прибора. Кроме того, интерпретация изотопных анализов молекулярного азота проста, так как помехи соединений других элементов в масс-спектрограмме незначительны. Поэтому большинство аналитических методов определения изотопного состава азота в жидких и твердых формах азотсодержащих соединений включают в себя стадию перевода азота образца в  $\text{N}_2$ . Обычно изотопные анализы состоят из трех основных этапов:

1. Перевод азота образца в форму аммония;
2. Окисление аммония до молекулярного азота;
3. Определение изотопного состава молекулярного азота на масс-спектрометре и оптическом анализаторе.

Когда необходимо измерить изотопный состав отдельных соединений азота, например обменного аммония или нитратов, их извлекают из почвы, применяя солевые вытяжки, и отгоняют  $\text{NH}_3$  в присутствии  $\text{MgO}$ . При определении нитратов их предварительно восстанавливают до аммиака. После отгонки  $\text{NH}_3$  в дистилляте определяют содержание аммонийного азота титрованием. Затем раствор доводят до слабокислой реакции, прибавляя несколько капель 0,02 н.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , и выпаривают в фарфоровых чашках на водяной бане до 2–5 мл. На втором этапе проводят окисление аммиака до элементарного азота гипобромитом натрия. Реакция протекает в щелочной среде:



Чтобы избежать разбавления полученного  $\text{N}_2$  при окислении аммиака азотом воздуха, реакцию проводят в специальной вакуумной установке при разряжении. Газообразный азот ( $\text{N}_2$ ) собирают в вакуум, и далее газ поступает на изотопный анализ.

Расчеты результатов изотопных исследований с меченым азотом по прописи Д.А. Коренькова (1999).

Методы расчета изотопного состава азота по данным измерения его на масс-спектрометре и эмиссионном спектрометре одинаковы. Здесь даются примеры расчета для результатов измерений на масс-спектрометре.

Во время масс-спектрометрического анализа  $\text{N}_2$  образуются ионы азота состава  $(^{14}\text{N}_2)^+$ ,  $(^{14}\text{N}^{15}\text{N})^+$ ,  $(^{15}\text{N}_2)^+$  и относительное содержание каждого вида ионов приближается к идеальному статистическому распределению, которое выражается уравнением:

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2,$$

где:  $a$  — атомная фракция  $^{14}\text{N}$ ,  
 $b$  — атомная фракция  $^{15}\text{N}$ ,  
 $a + b = 1$ .

Масс-спектрометр может измерять ионные токи  $M/e$  для масс 28, 29 и 30, которые пропорциональны соответственно количеству вышеприведенных ионов. При определении ат. %  $^{15}\text{N}$  расчеты проводят по уравнению:

$$\text{Ат. \% } ^{15}\text{N} = \frac{(I_{29} + I_{30}) \cdot 100}{2(I_{28} + I_{29} + I_{30})},$$

где:  $I_{28}$ ,  $I_{29}$ ,  $I_{30}$  — соответственно пики масс 28, 29 и 30.

В изотопных исследованиях обычно применяют термин «избыток атомного процента  $^{15}\text{N}$ » или «недостаток атомного процента  $^{15}\text{N}$ ». Он означает разность между атомным %  $^{15}\text{N}$  анализируемого образца и фона. За фон принимается естественный изотопный состав молекулярного азота атмосферного воздуха или какого-либо немеченого соединения азота, принимаемого за стандарт (например, сульфат аммония). Концентрация  $^{15}\text{N}$  в азоте атмосферного воздуха равна  $0,3663 \pm 0,0004$  ат. %.

Естественная изменчивость изотопного состава азота в природных объектах (например, в почве) обозначается величиной  $\Delta^{15}\text{N}$ . Она представляет отклонение содержания  $^{15}\text{N}$  от стандарта, которым обычно служит атмосферный молекулярный азот. Это отклонение выражается в промиллях (в частях на тысячу) и рассчитывается по уравнению:

$$\Delta^{15}\text{N} = \frac{\text{ат. \% } ^{15}\text{N} \text{ образца} - \text{ат. \% } ^{15}\text{N} \text{ атм.}}{\text{ат. \% } ^{15}\text{N} \text{ атм.}} \cdot 1000.$$

Большинство исследований с использованием изотопов азота по проблемам агрохимии включают в себя метод изотопного разведения. Он заключается в том, что определенное количество меченого  $^{15}\text{N}$  материала добавляют в систему (например, почву), содержащую немеченый азот, который в этой смеси является разбавителем внесенной метки. Для того, чтобы определить степень разведения метки, требуется только извлечь часть азота из этой смеси и определить в нем концентрацию  $^{15}\text{N}$ . Общая формула для расчета содержания в смеси отдельных компонентов (меченых и немеченых соединений азота), основанная на методе изотопного разведения, имеет следующий вид:

$$X_2 = \left( \frac{C_1}{C_2} - 1 \right) \cdot X_1 \cdot \frac{M_2}{M_1},$$

где:  $X_1$  — масса внесенного меченого соединения;  
 $X_2$  — масса неизвестного (немеченого соединения);  
 $C_1$  — содержание изотопа в исходном меченом соединении (избыток ат. %  $^{15}\text{N}$ );  
 $C_2$  — содержание изотопа (выраженное в виде избытка ат. %  $^{15}\text{N}$ ) в соединении, выделенном из смеси.

Соотношение  $M_2/M_1$  является поправкой на изменение молекулярной массы соединения, так как изотопный состав азота изменяется при разведении. На основе этого уравнения рассчитывают количество азота

меченого удобрения, находящегося в растениях или оставшегося в почве после выращивания растений:

$$N_{\text{уд.}} = \frac{N_{\text{общ.}} \cdot (C - B)}{(A - B)},$$

где:  $N_{\text{уд.}}$  – количество азота меченого удобрения в растениях (почве);  
 $N_{\text{общ.}}$  – количество общего азота в растениях (почве);  
 $A$  – ат. %  $^{15}\text{N}$  в азоте меченого удобрения;  
 $B$  – ат. %  $^{15}\text{N}$  в азоте немеченых растений (почвы);  
 $C$  – ат. %  $^{15}\text{N}$  в азоте меченых растений (почвы).

Количество почвенного азота, поступившего в растения, рассчитывают по уравнению:

$$N = N_{\text{общ.}} - \frac{N_{\text{общ.}} \cdot (C - B)}{(A - B)}.$$

Коэффициент использования азота удобрений растениями (в % от внесенной дозы  $N$ ) можно рассчитать по уравнению:

$$X = \frac{100 \cdot P \cdot (C - B)}{D \cdot (A - B)},$$

где:  $P$  – общий вынос азота урожаем растений, кг/га;  
 $D$  – доза внесенного меченого азота удобрения, кг/га;  
 $A$  – ат. %  $^{15}\text{N}$  в азоте меченого удобрения;  
 $B$  – ат. %  $^{15}\text{N}$  в азоте растений, выросших на удобренной азотом почве;  
 $C$  – ат. %  $^{15}\text{N}$  в азоте растений, выросших на почве, удобренной меченым азотом.

Если используют меченый азот, обедненный по  $^{15}\text{N}$ , тогда изменяют в этих уравнениях показатели  $(C - B)$  на  $(B - C)$  и  $(A - B)$  на  $(B - A)$ , что соответствует недостатку ат. %  $^{15}\text{N}$  в азоте растений и удобрения.

Обычно экспериментаторы получают меченые  $^{15}\text{N}$  материалы по обогащению более концентрированные, чем необходимо для опыта. Количество немеченого азота, которое должно быть добавлено к меченому соединению для того, чтобы получить азот желаемого обогащения по  $^{15}\text{N}$  можно рассчитать по уравнению:

$$D = \frac{T \cdot (A_0 - A_2)}{A_2 - A_1},$$

где:  $D$  – масса азота в немеченом препарате, г;  
 $T$  – масса азота в препарате высокого обогащения по  $^{15}\text{N}$ , который необходимо разбавить, г;  
 $A_0$  – ат. %  $^{15}\text{N}$  в азоте препарата с исходным высоким обогащением;  
 $A_1$  – ат. %  $^{15}\text{N}$  в азоте немеченого препарата;  
 $A_2$  – ат. %  $^{15}\text{N}$ , желаемый получить в азоте меченого соединения.

При планировании эксперимента с использованием изотопа  $^{15}\text{N}$  в качестве метки необходимо предварительно рассчитать, насколько разбавится метка в условиях эксперимента за счет почвенного азота или азота

питательного раствора (в водных и песчаных культурах). Предел разбавления всегда ограничен чувствительностью и точностью прибора (масс-спектрометра или оптического анализатора  $^{15}\text{N}$ ), на котором проводятся измерения концентрации  $^{15}\text{N}$ , а также естественными колебаниями в изотопном составе почвенного азота. Максимально возможное разведение изотопной метки в зависимости от исходного обогащения (обеднения) по  $^{15}\text{N}$  меченого азота можно рассчитать по уравнению:

$$X = \frac{C_1 - C_0}{C_0 \cdot K \cdot F},$$

где:  $C_1$  – ат. %  $^{15}\text{N}$  в меченом азоте удобрения;  
 $C_0$  – ат. %  $^{15}\text{N}$  в азоте атмосферного воздуха;  
 $K$  – относительная ошибка измерений естественного изотопного состава азота на масс-спектрометре, %;  
 $F$  – 3 (фактор предела точности измерения).

На основе данных изотопных исследований в опытах с применением меченых азотных удобрений можно рассчитать запасы доступного азота в почве, так называемую величину «А».

Величина «А» для азота в почве рассчитывается по уравнению:

$$A = \frac{B \cdot (1 - Y)}{Y},$$

где:  $A$  – запасы доступного растениям азота в почвах, кг/га N;  
 $B$  – количество меченого азота удобрений, поступившее в биологический урожай растений, кг/га N;  
 $Y$  – доля азота удобрения в общем азоте, поступившем в растения.

Кроме того можно изучить и другие вопросы по превращению азота и других стабильных изотопов в почве, растениях и других организмах, выполняя требования по расчету необходимого количества меченого элемента и правил внесения в объект исследования.

### **2.6.5. Меры безопасности при работе с $\beta$ -излучающими изотопами**

Радиоактивные изотопы могут оказать вредное воздействие на работающих при попадании внутрь организма, а также путем внешнего облучения.  $\beta$ -частицы обладают незначительной проникающей способностью и поглощаются поверхностными слоями кожи человека, но при попадании их внутрь организма при вдыхании, заглатывании или проникновении через поврежденную кожу они могут откладываться в отдельных органах, что может привести к серьезным поражениям.

*Помещения.* Работы с радиоактивными изотопами в количествах более 1 мс для  $\beta$ -излучающих изотопов должны проводиться в отдельных помещениях, в которых должны быть запрещены все другие работы, не связанные с применением радиоактивных изотопов. Работы с  $\beta$ -излучающими изотопами в количествах менее 1 мс могут проводиться в общих помещениях, но на отдельных столах, при выполнении всех описанных ниже мероприятий.

Полы рабочих помещений должны иметь гладкую поверхность, без щелей и выбоин – во избежание накопления радиоактивных веществ. В качестве покрытия для полов рекомендуется линолеум. Швы и края покрытий должны быть тщательно зашпаклеваны. Стены, потолки, двери должны быть гладкими. Стены необходимо покрыть масляной краской на высоту 2 м. Помещение должно быть оборудовано вентиляцией – вытяжным шкафом, скорость отсоса воздуха из которого в рабочем состоянии должна быть не менее 1 м в секунду.

Наружная поверхность рабочей мебели помещения должна быть сделана из непористых материалов, окрашенных масляной краской. Рабочие поверхности столов и вытяжного шкафа покрывают или линолеумом, или стеклом, или пластмассой.

*Правила работы.* Работы с радиоактивными изотопами рекомендуется проводить на противнях из фарфора, плексиглаза или нержавеющей стали, установленных на рабочих столах или в вытяжном шкафу и снабженных водосливными отростками. Целесообразно покрывать противни фильтровальной бумагой, особенно в случаях, когда проводятся работы с растворами. Все работы, связанные с возможностью поступления радиоактивных изотопов в воздух рабочего помещения в виде пыли, паров, газов, следует проводить в вытяжном шкафу.

Засасывание радиоактивных растворов пипеткой при помощи рта категорически запрещается. Для этой цели следует пользоваться резиновыми грушами, шприцами или специальными механическими пипетками.

При работе с концентрированными растворами и порошками, излучающими  $\beta$ -частицы высокой энергии, рекомендуется применять переносные экраны из стекла, плексиглаза, алюминия и пр., с толщиной стенок не менее 4 мм. При работе с изотопами, излучающими  $\beta$ -лучи слабых энергий,  $\beta$ -частицы поглощаются уже стеклом лабораторной посуды и защита от внешнего излучения излишня.

Все манипуляции с радиоактивными изотопами следует проводить в хлорвиниловых или резиновых перчатках. После окончания работы перчатки перед снятием с рук необходимо тщательно вымыть. Надевать и снимать перчатки нужно так, чтобы исключалась опасность загрязнения радиоактивными изотопами внутренней поверхности перчаток. При разрыве или проколе перчатки должны быть заменены другими.

При наличии опасности вдыхания радиоактивной пыли (при операциях просева, измельчения, пересыпки) работающие должны быть снабжены респираторами с удобно сменяемыми фильтрами.

Слив отработанных растворов в общую канализационную систему допускается при активности раствора не выше 220 имп/мин на 1 мл. Растворы с активностью, превышающей указанную, следует предварительно разбавить. После опорожнения посуду каждый раз необходимо промыть чистой водой. Твердые отбросы удаляют или растворением, или выдерживают их в специально отведенном помещении до уменьшения активности вследствие распада.

Во всех рабочих помещениях ежедневно производят уборку влажным способом, с обязательным мытьем столов и шкафа. Проветривать помещение следует перед началом работы и в середине дня. Полную

уборку помещения с мытьем стен, окон и дверей производят не реже одного раза в месяц. Для уборки необходимо иметь отдельные щетки, ведра, тряпки, использование которых в других комнатах запрещается.

*Меры личной профилактики.* Все работающие должны быть обеспечены индивидуальными халатом, шапочкой и перчатками. Для пошива халатов и шапочек применяют хлопчатобумажную ткань атласного переплетения — сатин, молескин. Цвет ткани должен быть светлым. Стирку халатов производят один раз в 10 дней. Стирка на дому запрещается.

В рабочих помещениях запрещается: прием пищи и хранение пищевых продуктов, курение и пребывание сотрудников без халатов. При выходе из рабочего помещения в столовую и прочие помещения, в которых не ведется работа с радиоактивными изотопами, необходимо снимать халаты, перчатки и другие защитные предметы одежды.

## **2.7. Определение содержания в почве доступных растениям элементов питания методом Нейбауэра-Шнейдера и Митчерлиха<sup>4</sup>**

Оригинальные методы определения потребности растений в удобрениях были предложены Митчерлихом и Нейбауэром. Метод Митчерлиха в свое время был принят Международным обществом почвоведов в качестве стандарта для оценки пригодности химических и микробиологических методов определения количества в почве усвояемых элементов питания. Метод Нейбауэра получил широкое распространение в практике сельского хозяйства, а также при почвенных обследованиях.

*Метод проростков Нейбауэра-Шнейдера.* Метод состоит в извлечении из почв элементов питания корнями проростков. Чтобы добиться быстрого извлечения из почвы элементов питания, в опытах, по Нейбауэру, на малое количество почвы (100 г) берется большое число растений (100 экземпляров).

Опытным растением в методе Нейбауэра-Шнейдера служит озимая рожь из семян урожая последнего года. Семена должны быть хорошо высушены, обладать высокой всхожестью (не менее 95 %) и большой энергией прорастания. Масса 1000 зерен должна быть около 40 г и не менее 37 г. Сорт ржи не имеет большого значения для результатов опыта, но все сравниваемые опыты должны иметь посевной материал из зерен одного сорта. Весьма важно следить за однородностью посевного материала. Отсутствие выровненности посевного материала может привести к большому расхождению между параллельными определениями и сделать результаты опыта недостоверными.

Перед протравливанием семена должны быть тщательно отобраны. Все легкие, мелкие и поврежденные семена отбрасываются. Протравливание семян производят раствором хлорфеноловой ртути или протравителем успулуном, в котором действующим началом является тоже хлорфеноловая ртуть. Раствор протравителя готовят следующим образом: 0,5 г протравителя растирают с раствором 0,15 г NaOH (или с 37 мл 0,1 н. NaOH), после чего раствор переносят в мерную колбу на 500 мл и доводят водой до метки. При протравливании необходимое для постановки опытов количе-

---

<sup>4</sup> Изложена по прописи А.В. Соколова (1967; 1975)

ство семян всыпают в стакан и заливают раствором протравителя, слегка взбалтывают и оставляют на 1,5 ч. По окончании указанного срока жидкость сливают, а семена раскладывают на фильтровальной бумаге для просушивания. Сушка семян продолжается от 2 до 7 дней.

Для опытов берут партии семян по 100 зерен, которые могут быть легко отсчитаны при помощи счетной доски Мюллера. Каждую сотню взвешивают и массу записывают на пакете, в который ее всыпают. Расхождение в весе для навесок зерна желательно иметь небольшое – не более 0,1 г; хотя в методе Нейбауэра Шнейдера при вычислениях и вносится поправка на вес семян, все же желательно иметь навески семян, близкие по массе, т. к. семена различной крупности могут быть в различной мере обеспечены  $P_2O_5$  и  $K_2O$ .

Сосудами для опытов служат стеклянные кристаллизаторы диаметром 11–11,5 см и высотой 7 см; они должны быть хорошо промыты перед посевом 5 %-ным раствором соды, а затем горячей дистиллированной водой. При заполнении сосуда в середину его вставляют короткую стеклянную трубку, оплавленную с двух концов, длиной немного меньше 7 см. Через эту трубку происходит полив сосудов. Сосуды с трубками взвешивают и при массовой работе тарируют до одинакового веса битым стеклом, промытым 5 %-ным раствором соды.

Для опытов берут кварцевый песок, который используется при постановке вегетационных опытов с песчаными культурами. Песок должен быть промыт соляной кислотой и отмыт сначала водопроводной, а затем дистиллированной водой до конца реакции на  $Cl$  (проба с  $AgNO_3$ ).

Почва должна быть пропущена через сито с диаметром отверстий в 1 мм. Влажность почвы должна быть определена до постановки опыта, так как в сосуд вносится навеска почвы, соответствующая 100 г абсолютно сухой почвы. Набивку сосудов производят следующим образом: навеску почвы смешивают с 50 г песка, полученную смесь высыпают в кристаллизатор, в середине которого устанавливают трубочку для полива сосудов. Поверхность смеси выравнивают и сверху насыпают 250 г песка, смоченного водой с таким расчетом, чтобы общее количество воды было равно 80 г на сосуд (вода почвы + вода, добавленная к песку, всего 80 г). Масса, до которой производится полив сосудов, должна быть равна сумме: общая масса сосуда + масса трубки + масса почвы (100 г) + масса песка (300 г) + масса воды (80 г) + масса 100 зерен.

Для гумусированных почв рекомендуется давать воды не 80 мл, а несколько больше; для песка можно установить и более низкую норму, в 60 мл.

Контрольные сосуды без почвы набивают так же, как опытные, только сначала высыпают на дно сосуда 150 г сухого песка, а затем 250 г песка, смоченного 80 мл воды.

При посеве семян сажальной доской делают 100 ямочек глубиной около 1,5 см. После этого пинцетом укладывают в ямки ростком вниз 100 зерен, которые заделывают стеклянной палочкой. В дневник опыта записывают номера сосудов и точный, до 1,0 мг, масса 100 посаженных в них зерен. По окончании посадки сосуды закрывают стеклом; между стеклом и краем сосуда вставляют кусок спички или бумаги для усиления вентиляции. Сосуды остаются закрытыми стеклом до тех пор, пока проростки не достигнут его и не начнут изгибаться.

Полив производят ежедневно, в начале опыта 1 раз в день через трубку, а в конце – 2 раза в день опрыскиваем сверху через маленькое сито и через трубку. Во время роста растений сосуды должны находиться на рассеянном свете; прямого солнечного света следует избегать. Температура помещения должна быть около 20°C. Максимальные колебания температуры допускаются в пределах +2°. Колебания температуры от 13 до 23°C приводят к изменению выноса более чем на 50 %. Наиболее правильным будет помещение сосудов в специальную комнату или в специальный термостат со стеклянной стенкой.

Уборку урожая производят на 14-й день после посева растений. Содержимое сосуда переносят на сито диаметром 26 см и высотой 7,5 см, с размером отверстий в 1 мм. При легком постукивании по стенкам сосуда удаётся всю массу целиком сразу перенести на сито. После этого, придерживая рукой ростки, начинают отмывать песок струей водопроводной воды. Когда песок и часть почвы будут смыты, переносят растения на тарелку и обрезают побеги ножницами непосредственно под зёрнами. Количество проростков должно быть не менее 94; если проростков меньше, сосуд выбраковывают. Ростки обмывают дистиллированной водой, а корни растений отмывают далее на сите сначала водопроводной, а затем 2 раза дистиллированной водой.

Если к анализу приступают непосредственно, то весь растительный материал измельчают ножницами, помещают в платиновую чашку, добавляют 15 мл известковой воды или раствора уксуснокислого кальция и выпаривают на водяной бане. Раствор  $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  готовится следующим образом: 2 г  $\text{CaCO}_3$  растворяют в небольшом количестве уксусной кислоты и доводят до 1 л. Сожжение производят осторожно, нагревая чашку на горелке с грибком и доводя дно чашки только до слабого покраснения. После сожжения добавляют в чашку 10 мл 10 %-ного раствора  $\text{HCl}$  и немного горячей воды, растворяют золу и выпаривают раствор на водяной бане. По окончании выпаривания оставляют чашку ещё на некоторое время на водяной бане для полноты отделения кремнекислоты. Золу, растворённую в горячей воде, подкисленной 4 каплями 10 %-ного раствора  $\text{HCl}$ , переносят в мерную колбу на 100 мл. Последнюю наполняют примерно на три четверти. После этого в колбу добавляют одну каплю фенолфталеина и приливают известковое молоко (приготовленное из чистой окиси кальция, полученной из мрамора) до появления устойчивой красной окраски. Доводят водой раствор в колбе до метки, встряхивают и фильтруют через 9-сантиметровый сухой фильтр (белая обмотка) в сухой стакан. В фильтрате определяют калий, в осадке –  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Ход вычисления результатов опыта можно видеть из следующего примера, приводимого Нейбауэром. Повторность в опыте была двукратная. Контрольные сосуды:

- а) 4,109 г семян, 21,58 мг  $\text{K}_2\text{O}$  и 24,05 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$ ;
- б) 4,327 г семян, 23,41 мг  $\text{K}_2\text{O}$  и 25,91 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Следовательно, на 1 г семян урожай ростков содержали:

- а) 5,25 мг  $\text{K}_2\text{O}$  и 5,85 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$ ;
- б) 5,41 мг  $\text{K}_2\text{O}$  и 5,99 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$ ;

в среднем 5,33 мг  $\text{K}_2\text{O}$  и 5,92 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Опытные сосуды со 100 г почвы:

- а) 4,240 г семян, 49,32 мг  $\text{K}_2\text{O}$  и 31,24 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$ ;

б) 4,415 г семян, 49,56 мг  $K_2O$  и 32,79 мг  $P_2O_5$ .

В урожае контрольных сосудов при соответственном весе семян было бы:

а) 22,60 мг  $K_2O$  и 25,11 мг  $P_2O_5$ ;

б) 23,50 мг  $K_2O$  и 26,15 мг  $P_2O_5$ .

Следовательно, за счет внесения 100 г почвы может быть отнесено:

а) 26,72 мг  $K_2O$  и 6,13 мг  $P_2O_5$ ;

б) 26,03 мг  $K_2O$  и 6,64 мг  $P_2O_5$ ; в среднем 26,4 мг  $K_2O$  и 6,4 мг  $P_2O_5$ .

При четырехкратной повторности, которую следует применять, и подборе навесок семян с расхождением их по весу не более чем на 0,1 г вычисление может быть упрощено. Берут среднее содержание  $K_2O$  и  $P_2O_5$  в контрольных сосудах и вычитают его соответственно из количества  $K_2O$  и  $P_2O_5$  в урожаях опытных сосудов. Ошибку опыта вычисляют по общим правилам, принятым при обработке результатов вегетационных опытов.

В основе вычисления предельных чисел (лимитов) по методу Нейбауэра лежит ряд условных допущений. В вегетационном опыте по методу Нейбауэра корни растений извлекают из почвы элементы питания при наличии хорошего снабжения их водой и воздухом и легкой проницаемости почвы. В поле растения находятся в худших условиях; они менее густо пронизывают почву своими корнями и поэтому берут из почвы меньшее количество элементов питания. Нейбауэр считает, что растения в течение вегетационного периода могут взять только некоторую часть находящихся в почве элементов питания, которая различна для разных видов растений.

Размер усвоения калия растениями в течение вегетационного периода определяется следующими величинами (в процентах от общего количества элементов питания почвы):

Ячмень	12
Пшеница	15
Картофель	25
Свекла	33
Овес, рожь, клевер, люцерна и травы на сенокосах и пастбищах	20

Степень усвоения  $P_2O_5$  составляет для всех растений, кроме ячменя, 33 %, для ячменя – 20 %.

Усвоение элементов питания растениями из минеральных удобрений принимается: для калийных – 60 %, фосфорных – 33 % (кроме ячменя, для которого величина усвоения принимается в 20 %).

При пересчетах Нейбауэр принимает, что 1 мг вещества на 100 г почвы соответствует 30 кг на 1 га (принимая вес пахотного слоя в 3 млн. кг). Но этот пересчет тоже весьма условен: объемный вес почвы в нем принят равным 1,5, тогда как обычно для пахотного слоя он ближе к 1,2.

Вычисление необходимой дозы удобрения на основе определения в почве количества доступных для растений  $P_2O_5$  и  $K_2O$  несложно. Приведем два примера. Растение – кормовая свекла, предполагаемый урожай 600 ц/га. Кроме минеральных удобрений, под свеклу вносится навоз в количестве 300 ц/га. Нейбауэр считает, что 100 ц навоза содержат в пересчете на минеральные удобрения 30 кг  $P_2O_5$  и 50 кг  $K_2O$ . Требуется расчи-

тать необходимые количества калийных удобрений. Определение  $K_2O$  дало соответственно 20 мг  $K_2O$  на 100 г почвы.

Вычисление дозы $K_2O$	$K_2O$ , кг
При 20 мг $K_2O$ на 1 га приходится	600
При 33 % усвояемости для свеклы это соответствует	200
600 ц свеклы выносят с урожаем	293
Не хватает	93
При 60 % усвояемости $K_2O$ в удобрениях надо	155
Вносится в виде 300 ц навоза	90
Требуется внести	65
65 кг $K_2O$ соответствуют 163 кг 40 %-ной калийной соли	

Предположим, что требуется определить дозу  $P_2O_5$  под ячмень. Урожай ячменя ожидается 28 ц. Навоз под ячмень не вносится. Содержание в почве усвояемой  $P_2O_5$  – 3 мг на 100 г.

Вычисление дозы $P_2O_5$	$P_2O_5$ , кг
При 3 мг $P_2O_5$ на 1 га приходится	90
При 20 % усвояемости $P_2O_5$ для ячменя это соответствует	18
28 ц ячменя выносят с урожаем	28
Не хватает	10
При 20 % усвояемости $P_2O_5$ в удобрениях надо	50
50 кг $P_2O_5$ соответствуют 278 кг 18 %-ного суперфосфата.	

Вычисление предельных чисел (лимитов), т. е. того минимального содержания в почве усвояемых элементов, при котором еще возможно получение определенной величины урожая, производится на основании тех же коэффициентов. Например, при урожае ячменя в 35 ц зерна с урожаем выносятся 85 кг  $K_2O$  и 35 кг  $P_2O_5$ . Использование корнерастворимого  $K_2O$  для ячменя – 12 %, для  $P_2O_5$  – 20 %; 30 кг на 1 га соответствуют 1 мг на 100 г почвы. Отсюда получаем лимиты:

для  $K_2O$

$$\frac{85 \times 100}{12} \times \frac{1}{30} = 24 \text{ мг/100 г,}$$

для  $P_2O_5$

$$\frac{35 \times 100}{20} \times \frac{1}{30} = 6 \text{ мг/100 г.}$$

В таблице 13 приведены лимиты для различных урожаев.

Во многих случаях пользуются только таблицей лимитов, не производя детального вычисления доз удобрений. Для разных почв и районов лимиты оказываются различными, поэтому необходимо районирование лимитов. Вначале Нейбауэр установил только два предельных числа: для  $K_2O$  – 24 мг и для  $P_2O_5$  – 8 мг.

Недостатком метода Нейбауэра, как и всякого физиологического опыта, является его меньшая воспроизводимость, чем химического анализа почвы. Для повышения точности опыта необходимо строгое соблюдение деталей методики и увеличение повторностей. Двукратная повтор-

ность недостаточна и поэтому заменена четырехкратной; 18-дневный срок, который был установлен ранее, был затем заменен более коротким – 14-дневным. Химические методы анализа золы (Лоренца для фосфора и хлорплатинатный и перхлоратный для калия) заменяют теперь физико-химическими. Определение калия производят спектральным анализом фотометрически, определение  $P_2O_5$  – фотоэлектроколориметром.

Таблица 13 – Урожай сельскохозяйственных растений, вынос элементов питания урожаем и предельные числа – лимиты (по Нейбауэру)

Растение	Урожайность, ц/га	Вынос, кг/га		Лимиты, мг/100 г		Урожайность, ц/га	Вынос, кг/га		Лимиты, мг/100 г	
		$K_2O$	$P_2O_5$	$K_2O$	$P_2O_5$		$K_2O$	$P_2O_5$	$K_2O$	$P_2O_5$
Ячмень	35	85	35	24	6	28	68	28	19	5
Овес	40	125	55	21	6	30	94	41	16	4
Пшеница	40	90	4	20	5	30	68	38	15	4
Рожь	35	100	50	17	5	28	80	40	13	4
Клевер	80	150	50	25	5	60	113	38	19	4
Картофель	320	280	60	37	6	240	210	45	28	5
Сахарная свекла	400	250	60	25	6	300	188	45	19	5
Кормовая свекла	800	390	70	39	7	600	293	53	29	6
Рапс	35	110	90	18	9	28	88	68	15	7
Люцерна	140	210	90	35	9	100	150	64	25	7
Луговое сено	80	150	50	25	5	60	113	38	19	4

**Метод Митчерлиха.** Отличительная особенность метода Е.А. Митчерлиха состоит в том, что о содержании в почве усвояемых элементов питания судят не по анализу урожая растений, а по величине прибавок урожая от внесения удобрений. В основе вычислений лежит предположение, что чем меньше в почве элементов питания, тем больше будет прибавка от его внесения в виде удобрений, если, конечно, остальные условия опыта обеспечивают благоприятные условия для роста растений. Если удобрение вносится в той дозе, при которой обеспечивается при данных прочих условиях максимальный эффект от его внесения, то разница между урожаем по удобрению и без удобрения может служить показателем обеспеченности почвы элементами питания. Зависимость прибавки урожая за счет внесения удобрения от содержания в почве элементов питания в первом приближении выражается следующей формулой:

$$\lg(A-Y) = \lg A - C(x + b),$$

где:  $A$  – максимальный урожай;  
 $Y$  – урожай при внесении изучаемого элемента в количестве  $x$ ;  
 $C$  – коэффициент действия изучаемого элемента;  
 $b$  – содержание элемента в исходной почве.

Митчерлих допускает, что коэффициенты действия элементов питания ( $C$ ) постоянны для всех растений и почв и равны для  $N$  – 0,122, для  $P_2O_5$  – 0,60 и для  $K_2O$  – 0,93.

## 2.8. Полевой опыт

*Опыты, организованные правильно, произведенные в разных местностях с соблюдением возможного равенства условий, опыты, производство которых и самые результаты подвержены всеобщей оценке, такие опыты необходимы как для того, чтобы ближе узнать условия русского земледелия, так и для того, чтобы избрать из научных выводов некоторые - выгодные для нашего сельского хозяйства. Такие опыты могут послужить немало и в самой науке, если будут ведены по строгим способам. Их результаты, положительные или отрицательные, заставят слагаться собственным умозаключениям, распространят лучше всех других способов ряд истин и дадут опоры для улучшений.*

**Д.И. Менделеев**

*Полевой метод является по существу своему методом синтетическим, дающим равнодействующую влияний различных факторов на жизнь растения в природной обстановке. В этом – его основное свойство и громадная, ничем не заменимая ценность.*

**А.А. Кудрявцева**

*Полевой опыт* – эксперимент, проводимый непосредственно в полевых условиях, на специально выделенном и подготовленном участке с целью установления количественного воздействия факторного признака (условий или агротехнических приемов) на результирующий – урожайность и качество продукции, изменение показателей плодородия почвы и сохранение экологической чистоты окружающей среды. Объектами изучения являются растение и факторы, влияющие на рост, развитие, урожайность, а также качество продукции сельскохозяйственных культур в конкретных почвенно-климатических условиях. В частности, в агрохимических полевых опытах изучают агроэкологическую эффективность удобрений, регуляторов роста растений и химических мелиорантов на определенной почвенной разновидности, на участке, выравненном по плодородию.

Полевой опыт относится к биологическим методам исследований. Зависимость результатов полевого опыта от конкретных почвенных и метеорологических условий, наряду с положительным моментом, является и ограничивающим его значение. Строго говоря, они применимы только к участку, на котором он проведен. Именно поэтому агрохимические полевые опыты обязательно сопровождаются сопутствующими исследованиями почв и растений. Почвенные исследования дают возможность установить типичность участка полевого опыта для определенного района или зоны, а следовательно, и распространять на них полученные результаты. Химический анализ позволяет судить о конечном результате изменения питательного режима почвы, отражаемом величиной урожая, и о самих изменениях форм и количества отдельных элементов питания растений в почве, а также о влиянии удобрений на качество урожая.

Полевые опыты подразделяют на две группы – *агротехнические и сортоиспытательные*. *Опыты по сортоиспытанию*, где сравниваются при одинаковых условиях генетически различные растения, служат для оценки сортов и гибридов сельскохозяйственных культур. На их основании наиболее урожайные, ценные по качеству и устойчивые к болезням, вредителям и неблагоприятным факторам окружающей среды сорта и гибриды районировывают и внедряют в сельскохозяйственное производство.

Полевые *агротехнические опыты* по задачам и направлению исследований, месту постановки, длительности, размеру делянок, географическому охвату делятся на несколько видов. Среди агротехнических опытов, классифицируемых *по месту проведения*, выделяют *опыты, проводимые на постоянных участках землепользования научных учреждений или учебных заведений, и опыты, проводимые в условиях производства*.

На опытах, заложенных на участках землепользования научных учреждений или учебных заведений, изучают: действие удобрений на урожайность и качество продукции сельскохозяйственных растений; трансформацию питательных веществ почвы и удобрений; нормы, способы и сроки применения удобрений; отзывчивость сортов на удобрения. Для опытов, проводимых на стационарных участках научных учреждений или учебных заведений, требуется создание определенного фона под опыт, обязательность учета урожайности как при прямом действии, так и в последствии удобрений, глубокие сопутствующие исследования в процессе вегетации растений. При проведении этих опытов обязательно: предварительное всестороннее изучение плодородия почвы; выбор участка, направления и формы делянок, числа повторений; соблюдение севооборотов, принятых в регионе. В таких опытах большое внимание уделяют построению схематического плана и распределению вариантов и повторностей. Границы полей стационарных опытов фиксируют реперами. Оптимальная общая площадь делянки в таких опытах 100–250 м<sup>2</sup>, учетная – 80–150 м<sup>2</sup>. Результаты опытов, выводы и рекомендации по ним используют в хозяйствах с типичными почвенно-климатическими и организационно-хозяйственными условиями.

В условиях производства различают следующие виды опытов: 1) опыты -пробы; 2) точные сравнительные опыты; 3) опыты по оценке эффективности новых агроприемов; 4) демонстрационные и 5) производственные.

*Опыты-пробы* проводятся на делянках-полосах, которые выделяются непосредственно в производственных посевах. Ширина полос, как правило, соответствует одному проходу уборочной техники. Длина таких делянок обычно превышает ширину в 5–10 раз. Положительные варианты опытов-проб изучаются затем в точных сравнительных опытах, которые проводятся в соответствии с методикой полевых опытов научных учреждений.

В *точных сравнительных опытах* ширина делянок изменяется от 5–10 м (пропашные культуры), до 8–16 м (культуры сплошного рядового способа посева). Общая площадь опытной делянки составляет 500–2000 м<sup>2</sup>. Здесь пользуются правилом, чтобы ширина делянки была кратной ширине почвообрабатывающих, посевных или уборочных агрегатов при полной механизации всех агротехнических процессов.

*Опыты по оценке эффективности новых агроприемов* проводят для проверки агроприемов, которые рекомендованы научными учрежде-

ниями, а также для усовершенствования их в конкретных почвенно-климатических условиях сельскохозяйственного предприятия. Для этих опытов в производственном посеве выделяют контрольные полосы, ширина которых должна соответствовать ширине прохода уборочного агрегата, а длина – длине загонок. Эти полосы-делянки должны охватить все различия участка как по урожайности культур, так и по плодородию почвы. Общая площадь полос-делянок может составлять от 2 до 3 га.

*Демонстрационный опыт* – производственный опыт, который проводится с целью пропаганды научных разработок. Например, эффективности комплексного применения удобрений и других средств химизации при интенсивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Закладывается на определенном поле севооборота. Размер делянок в демонстрационных опытах должен способствовать полной механизации агротехнических приемов и, как правило, они в два раза больше, чем крупноделяночные полевые опыты, т.е. 200-400 м<sup>2</sup>. С целью демонстрации достижений науки демонстрационные опыты проводятся также в научно-исследовательских учреждениях или в учебных заведениях.

*Производственные опыты* – это комплексное научное исследование, целью которого является изучение не отдельных элементов агротехники, а технологий, организационно-хозяйственных мероприятий. Производственный опыт с удобрениями – полевой опыт с удобрениями, проводимый в производственных условиях для проверки рекомендаций и экономической оценки действия удобрений на урожай и его качество и размещаемый на участке, размеры которого позволяют механизировать все операции. Площадь делянок колеблется от 500–5000 м<sup>2</sup> в зависимости от числа вариантов. Опыты в условиях производства по инициативе специалистов могут быть заложены на делянках с любой площадью. Производственный опыт закладывают ежегодно на новом участке (поле), а при изучении последовательности действия удобрений – в севообороте или его звене. Производственные опыты могут проводиться на всей площади севооборота, отдельного предприятия и даже целого административного района. К этим опытам предъявляют менее строгие требования: в них до минимума сведены сопутствующие исследования, в большинстве случаев ограничиваются анализом почв до закладки опыта и определением структуры урожайности, а иногда данными агрохимического обследования почв, проведенного в предшествующие закладке годы. Анализы растительных проб во время вегетации не проводят. Однако выбор земельного участка, фиксация границ делянок и всего опыта, внесение удобрений, обработка почвы, посев (посадка), уход за растениями должны соответствовать требованиям методики полевого опыта.

В зависимости от цели исследований опыты в научных учреждениях или учебных заведениях подразделяют на *предварительные* (ориентировочные, временные, летучие, рекогносцировочные) и *основные*.

*Предварительные опыты* носят ориентировочный, вспомогательный характер. Их закладывают на небольшой срок, вне севооборота. Они служат основой для разработки схем и программ основных опытов. В них не планируют проведение сопутствующих исследований, а ограничиваются лишь данными урожайности.

*Основные опыты* проводят по детально разработанным программам на длительное время. В отношении методики закладки и проведения к ним предъявляют строгие требования. Обязательно всестороннее изучение почвенного покрова участка, размещение делянок на одной почвенной разности, однородной по плодородию, соблюдение севооборота, схема опыта должна обеспечивать получение результатов высокой точности.

Основные и предварительные агротехнические опыты в зависимости от количества изучаемых факторов, подразделяются на **однофакторные** и **многофакторные**.

К *однофакторным* относят опыты, в которых изучают действие одного приема на неизменном, постоянном агротехническом фоне при строгом соблюдении принципа единственного различия. В однофакторных опытах могут изучаться виды и формы удобрений, нормы, сроки и способы их внесения, отзывчивость сортов на удобрения и другие агротехнические вопросы. Иллюстрацией однофакторных опытов могут быть следующие схемы из восьми вариантов:

Сорт риса	Доза удобрения	Вид микроудобрения
1. Лиман (стандарт)	1. N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> (контроль)	1. Без микроудобрений (контроль)
2. Рапан	2. N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> (1 доза)	2. В
3. Хазар	3. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> (2 дозы)	3. Mn
4. Гарант	4. N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>60</sub> (3 дозы)	4. Cu
5. Лидер	5. N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> (4 дозы)	5. Mo
6. Флагман	6. N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub> (5 доз)	6. Co
7. Новатор	7. N <sub>180</sub> P <sub>180</sub> K <sub>180</sub> (6 доз)	7. Zn
8. Фишт	8. N <sub>210</sub> P <sub>210</sub> K <sub>210</sub> (7 доз)	8. V

К *многофакторным* опытам относятся такие, в которых изучают действие двух и более факторов (переменных) на изучаемый признак (показатель), чаще всего урожайность культуры, например, норм и сроков внесения удобрений. Схемы многофакторных опытов сложнее, чем однофакторных, при составлении их необходимо более глубокое осмысление цели и задач исследований, а также возможностей научно-исследовательских учреждений в их проведении. Многофакторные опыты позволяют учесть роль каждого приема в отдельности и при их взаимодействии. Взаимодействие факторов может отсутствовать, быть положительным или отрицательным. При положительном взаимодействии результативный признак (показатель) изменяется на большую величину, чем суммарное воздействие каждого в отдельности, отрицательное – меньшую. Если при совместном воздействии факторов результативный признак изменяется на величину, равную их суммарному воздействию, факторы не взаимодействуют. Например, если от полива получена прибавка урожая 10 т/га, от удобрения – 5 т/га, а от совместного применения полива и удобрения – 20 т/га, то дополнительный положительный эффект равен 20–(10+5)=5 т/га. Положительное взаимодействие наблюдается при действии факторов в одном направлении.

Наиболее полную информацию о взаимодействии факторов дают полные факториальные эксперименты, т. е. включающие все возможные сочетания изучаемых градаций. Исключение хотя бы одного сочетания факторов снижает ценность эксперимента, который уже не будет много-

факторным. В практике полевых экспериментов количество факторов редко бывает больше четырех (чаще всего 2–3). Это связано с невозможностью размещения всех вариантов в однородных почвенных условиях, что снижает точность эксперимента, и сложностями в интерпретации полученных результатов, т. к. число вариантов бывает в несколько раз больше, чем в однофакторных опытах.

В зависимости от длительности проведения опыты делят на однолетние и многолетние. Более удачно подразделение на *краткосрочные* и *длительные*. К *краткосрочным* (однолетним) относят опыты, в которых действие одного приема (в агрохимических – удобрений) изучают в течение одного вегетационного периода. В опытах по изучению действия удобрений на урожайность какой-либо культуры учитывают лишь в первый год и не учитывают последствие на второй. Однолетние опыты могут закладываться в севооборотах научных учреждений и на полях хозяйств. Они сопровождаются сопутствующими исследованиями. Чтобы получить объективные данные, опыты по одной схеме и на одной почвенной разновидности необходимо проводить в течение 3–4 лет для того, чтобы оценить данные по эффективности изучаемых приемов в разных погодных условиях. В таком случае их называют однолетними в пространстве, но длительными во времени.

К *длительным* (многолетним) относят такие опыты, в которых эффективность однажды внесенных удобрений изучают в севообороте на нескольких следующих одна за другой культурах. В таких опытах можно изучить действие одноразового внесения удобрений, либо накапливающегося действия при систематическом внесении; учитывать прямое действие (в год внесения) и последствие (на второй и последующие годы). Многолетние и длительные опыты незаменимы при изучении физико-химических и биологических процессов, медленно протекающих в почве и агрофитоценозах, расчета баланса и учета потерь элементов питания, а также возможных масштабов загрязнения окружающей среды. Многолетние и длительные полевые опыты, как правило, широко используются для решения фундаментальных вопросов земледелия, для глубоких комплексных исследований, демонстрации роли основных факторов и условий в жизнедеятельности растений. Только с помощью длительных многолетних опытов можно выявить: последствие органических удобрений, известкования и гипсования почв, влияние окультуренности почв на эффективность удобрений, а также влияние удобрений на окультуривание самой почвы. Продолжительность многолетних опытов составляет 10–50 лет и более. Основная цель таких опытов – изучение действия, взаимодействия и последствия систематически осуществляемых агротехнических приемов или их комплексов, влияния бессменного возделывания культур на плодородие почвы, урожайность и качество продукции.

По охвату территорий агротехнические опыты подразделяют на *единичные* и *массовые*.

*Единичные опыты* проводят в отдельных пунктах независимо друг от друга по отдельным схемам и программам без координации с единым центром. К таким относится большинство стационарных как длительных, так и краткосрочных опытов.

*Массовые, или географические опыты* проводят одновременно в разных почвенно-климатических зонах по единой методике, разработанной научным координационным центром, который руководит исследованиями, принимает отчеты и дает рекомендации. Широкие массовые, или географические опыты с сортами проводит Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур, с удобрениями – Государственная агрохимическая служба и Географическая сеть опытов с удобрениями. Основная цель опытов Географической сети – выявление влияния природных условий на эффективность видов, форм, норм, сроков и способов внесения удобрений.

В зависимости от размера делянки различают *мелкоделяночные, лабораторно-полевые* и *крупноделяночные* опыты. Размер делянок в *мелкоделяночных опытах* колеблется от 1 до 10 м<sup>2</sup>. Защитных полос в мелкоделяночных опытах нет, а вместо них создают лишь дорожки для осмотра делянок и проведения учетов в опытах. Количество вариантов может быть большим или незначительным, когда изучается узкий вопрос. Однако количество повторностей в мелкоделяночных опытах должно быть не менее 6-8. При этом соблюдают правило: чем меньше площадь опытной делянки, тем большая повторность вариантов в опыте.

*Мелкоделяночные* опыты обычно имеют поисковый характер. Их используют для получения предварительных, ориентировочных данных по разнообразному кругу вопросов, факторов или приемов, чтобы отобрать наиболее перспективные из них для дальнейших исследований. Проводят эти опыты с ограниченным перечнем сопутствующих исследований и наблюдений. Чаще всего ограничиваются фенологическими наблюдениями, учетом урожая и анализом его структуры. К мелкоделяночным опытам прибегают при использовании сложных схем с большим количеством вариантов. Агротехнические работы в них проводят с использованием малогабаритной техники или вручную.

*Лабораторно-полевые* опыты закладывают с целью выявления взаимосвязи между растением и средой в типичных для данной зоны почвенно-климатических условиях. Изучают здесь те вопросы, факторы или приёмы, для решения которых необходимо требование полного соответствия опыта типичным условиям производства, а также новые приёмы и методы, для осуществления которых в производственных условиях еще нет или не достаточно необходимых материалов. Например, агрохимических средств, машин и орудий.

Лабораторно-полевые опыты, как правило, являются многофакторными, с большим количеством вариантов – 15–20 и более. Площадь опытных делянок составляет 11-50 м<sup>2</sup>, повторность вариантов 4-6-кратная. Лабораторно-полевые опыты по своей сущности являются аналитическими. Они обычно сочетаются со значительным количеством агрохимических, физиологических, биохимических, микробиологических и других исследований. В большинстве случаев данные, полученные в лабораторно-полевых опытах, проверяют в крупноделяночных и производственных опытах.

*Полевой, или крупноделяночный опыт* – проводят в типичных для данной зоны почвенно-климатических и производственных условиях. Его обычно размещают в наиболее типичном для зоны севообороте с применением по возможности всей современной сельскохозяйственной техники, на фоне высокоэффективных агротехнологий. Цель такого опыта – определить

агротехническую, производственную и экономическую эффективность новых агротехнологий, их отдельных элементов, приемов и их сочетаний. Размер делянок в крупноделяночных опытах колеблется от 51 до 500 м<sup>2</sup> и более, повторность 4-5-кратная. В крупноделяночных опытах, как правило, изучаются те варианты, которые оказались лучшими в лабораторно-полевых опытах, поэтому здесь количество вариантов меньше, в пределах десяти. С.В. Щерба и Ф.А. Юдин (1975) для такого подразделения существенной считают не величину делянок, а возможность применения нормальной полевой агротехники. К *мелкоделяночным* относятся опыты с таким малым размером делянок, который не позволяет поставить изучаемый фактор в условиях высокотехнологичной сопутствующей агротехники и заставляет прибегать к искусственным приемам, которые могут существенно изменить урожайность и эффективность изучаемого фактора. Все опыты, проводимые с соблюдением нормальных условий агротехники, они относят к обычным полевым опытам, независимо от абсолютных размеров делянок.

Эксперименты могут быть *пассивными* и *активными*. Предполагается, что в ходе пассивных экспериментов исследователь ведет наблюдение за некоторым неуправляемым и спонтанно изменяющимся процессом или ставит опыты каким-то произвольным образом, выбирая экспериментальные условия, основываясь на интуиции или на каких-либо случайных, входящих обстоятельствах. Пассивный эксперимент позволяет получать информацию путем пассивного наблюдения за системой. При активном эксперименте исследователь управляет значениями рассматриваемых факторов и фиксирует результаты протекающего независимо от экспериментатора процесса. Заметим, что при многофакторном эксперименте изучается влияние на рассматриваемый объект всех учитываемых факторов одновременно. Таким образом, активный эксперимент – это активное вмешательство в функционирование системы путем варьирования факторов.

### 2.8.1. Требования к полевому опыту

*Чтобы действительно знать предмет, надо охватить, изучить все его стороны, все связи и «опосредствования». Мы никогда не достигнем это полностью, но требование всесторонности предостерегает нас от ошибок.*

**В.И. Ленин**

*Орудие исследования – такой же продукт творческой мысли, как и учение, которое им подтверждается: это – сама мысль, кристаллизовавшаяся, принявшая осязательную форму.*

**К.А. Тимирязев**

Отличительной особенностью полевого опыта является то, что культурное растение изучается вместе со всей совокупностью почвенных, климатических и агротехнических факторов. Только полевой опыт может установить связь между урожаем и средствами воздействия на него. Кроме того, вне полевого опыта невозможно изучать последствие удобрений и их применение в севообороте.

В зависимости от видов опытов объем сопутствующих исследований, площадь и форма делянок, количество повторений в пространстве и времени могут быть разными, но независимо от этого к любому полевому эксперименту предъявляются ряд основных методических требований, от выполнения которых зависит ценность полученных результатов. Важнейшие из них – типичность, соблюдение принципа единственного различия, точность количественных результатов и достоверность опыта по существу.

Под *типичностью*, или *репрезентативностью*, полевого опыта понимается соответствие условий его проведения почвенно-климатическим и агротехническим условиям того района или зоны, где предполагается использовать его результаты. Это первое и важнейшее требование к земельному участку и полевому опыту.

Для полевых опытов с удобрениями почвенно-климатические условия имеют исключительное значение. Учитывая разнообразие почвенного покрова, полевые опыты необходимо закладывать на типичных в данной почвенно-климатической зоне, районе и хозяйстве почвенных разностях, с учетом гранулометрического состава, содержания гумуса, степени кислотности, обеспеченности подвижными формами питательных веществ. Чтобы соблюсти требование типичности в отношении климатических условий, опыт по одной схеме повторяют в течение 3–4 лет.

Сложнее выполнить требования типичности в отношении организационно-хозяйственных и агротехнических условий, т. к. не всегда ясно, что в этом плане считать типичным. Опыты с удобрениями нельзя проводить при низкой культуре земледелия. Необходимо закладывать их в условиях научно обоснованного севооборота, учитывать предшественники, агротехнику, уровень почвенного плодородия, степень обеспеченности хозяйства органическими удобрениями. Каждый полевой опыт должен давать перспективный ответ с учетом того, что когда результаты его будут внедрены в производство, будет достигнут известный прогресс в агротехнических и организационно-хозяйственных условиях зоны, района или хозяйства. Поэтому типичный агротехнический фон для опытов с удобрениями должен быть достаточно высоким. В понятие типичности входит также пригодность фона для исследования того или иного вопроса. Например, неверным и нетипичным будет изучение эффективности фосфоритной муки на почве, незадолго до этого произвесткованной.

Полевой опыт должен проводиться при общем высоком уровне агротехники. Опыты при низком уровне агротехники не имеют производственной ценности. Часто выбор некультуренной почвы в опытах с удобрениями не оправдан, так как не соответствует практическим условиям обычных почв. Несомненно, на бедных землях изучаемые удобрения будут более эффективны. Типичность опыта требует проведения исследования с районированными, перспективными сортами и характерными для данной зоны культурами.

Одним из условий методически правильно поставленного полевого опыта является соблюдение принципа *единственного логического различия*, т. е. при постановке экспериментов необходимо соблюдать единство всех условий, кроме одного – изучаемого. Цель этого требования – обеспечить сравнимость данных, полученных в разных вариантах полевого опыта.

Например, при изучении норм удобрений обработка почвы, предшественник, сорт, посев и уход должны быть одинаковыми. В опытах с удобрениями соблюдение принципа единственного различия подразумевает использование одинаковых форм удобрений, а при их сравнении – одинаковых норм внесения.

Необходимо обратить внимание, что это принцип единственного *логического* различия. Формальное его соблюдение на практике приведет к заведомо неправильным методам сравнения. Например, действие азотного и фосфорного удобрений на урожай озимых формально, казалось бы, надо изучать в одинаковых условиях, при одном и том же сроке и способе применения. Однако экспериментально доказано, – эффективность этих удобрений определяется сроком и способом применения. В частности, под рис азотные удобрения, а иногда и калийные, вносят до посева и в подкормку, фосфорные – до посева. Поэтому для получения достоверных данных схема опыта составляется таким образом, чтобы каждое удобрение применялось в наиболее подходящий для него срок. Это не нарушение принципа единственного различия, так как здесь вид удобрения, оптимальный срок и способ его внесения составляют единый комплекс, который и будет вариантом опыта. Сравнение вариантов, включающих комплекс условий, будет проводиться при тождестве всех прочих условий, которые не являются составными элементами сравниваемых комплексных приемов.

*Точность количественных результатов* – обязательное требование к качеству полевого опыта. Результат его всегда выражается количественно и служит объективным показателем эффективности изучаемого в опыте приема или фактора. В этой связи большинство исследователей выделяют такое обязательное требование к полемому опыту, как учет урожая и его качества. *Урожай и качество сельскохозяйственных растений – главный объективный показатель при характеристике изучаемых в опыте вариантов.* Величина урожая отражает и интегрирует действие на растение всех условий возделывания. Именно поэтому становится возможным количественно установить влияние изучаемых факторов. Это же в полной мере относится и к качеству урожая, для характеристики которого у различных культур существуют специфические показатели: например, содержание белка в зерне зерновых культур, крахмала в клубнях картофеля, сахара в сахарной свекле, длина волокна у льна.

Количественные результаты полевого опыта, проведенного в строгом соответствии с задачами исследования, с соблюдением требований методики и техники, всегда оказываются лишь некоторым приближенным выражением истинных результатов. Степень соответствия результатов, полученных в опыте, истинным результатам действия изучаемого приема или фактора определяет точность опыта. Чем меньше разница между результатами, полученными в опыте (учетные данные), и истинными, тем выше точность опыта и тем меньше его ошибка.

Причины расхождения фактически полученных в полевом опыте данных с истинными результатами связаны с неизбежными погрешностями, которые имеют место в любом полевом опыте. Погрешности в полевом опыте возникают по различным причинам. Различают три вида ошибок – случайные, систематические и грубые. *Ошибка – это расхождение между ре-*

зультатами выборочного наблюдения и истинным значением измеряемой величины. Оценка истинного значения результативного признака, например урожая, по полученным в полевом опыте данным является одной из основных задач математической статистики. Чтобы правильно решить эту задачу, необходимо знать основные свойства ошибок и причины их возникновения.

*Случайные ошибки* – это ошибки, возникающие под воздействием очень большого числа таких факторов, эффекты действия которых столь незначительны, что их нельзя выделить и учесть в отдельности. Возникают они при выполнении различных измерений и учетов: разбивке делянок, взвешивании удобрений перед их внесением и конечного урожая, анализе структуры. Наиболее существенные ошибки обусловлены не выравниваем исходного почвенного плодородия опытного участка, различным рельефом участка, а также невозможностью достичь абсолютно равномерной обработки почвы, внесения удобрения, размещения семян и т. п. Снизить влияние этих ошибок можно путем варьирования формы, величины и расположения делянок, а также правильным выбором необходимой в опыте повторности. Характерная особенность случайных ошибок – их тенденция взаимно погашаться в результате приблизительно одинаковой вероятности как положительных, так и отрицательных значений, причем малые значения встречаются чаще, чем большие. Благодаря такой тенденции к взаимному погашению разнонаправленных случайных ошибок при обобщении данных и выведении средних показателей погрешности уменьшаются по мере увеличения числа наблюдений.

*Систематические ошибки* искажают измеряемую величину в сторону преувеличения или преуменьшения в результате действия вполне определенной постоянной причины. Чаще всего систематические ошибки возникают вследствие неточности применяемых инструментов и приборов. Основную особенность систематических ошибок составляет их однонаправленность, т. е. они завышают или занижают результаты опыта. Это приводит к тому, что такие ошибки в отличие от случайных не имеют свойства взаимопогашения и, следовательно, целиком входят как в показания отдельных наблюдений, так и в средние показатели.

*Грубые ошибки*, или промахи, возникают чаще всего в результате нарушения основных требований к полевому опыту, недосмотра или небрежного и неумелого выполнения работ. Например, исполнитель опыта по небрежности дважды внес удобрение на одну и ту же делянку, допустил огрехи и просевы, перепутал делянки при взвешивании урожая, неправильно записал его массу. Кроме того делянки могут быть затоплены водой или повреждены скотом и т. д. Ни при каких условиях подобные ошибки не могут быть компенсированы. Для устранения их влияния на результаты опыта чаще всего применяют выбраковку некоторых делянок или выключку частей делянок, подвергшихся повреждению. Избежать грубых ошибок можно продуманной, тщательной организацией и проведением полевого опыта.

Полевой опыт должен отвечать требованиям достоверности. Принято различать *достоверность полевого опыта по существу* и достоверность или *существенность различий полевого опыта*.

Под *достоверностью полевого опыта по существу* понимают его соответствие поставленным задачам исследования. Для такой оценки проверяют правильность схемы опыта, данных сопутствующих наблюдений и исследований, результатов учета урожая. Оценивают соответствие методики опыта задачам исследования, тщательно анализируют методику и технику его проведения. Если полевой опыт проведен методически и технически доброкачественно и нет оснований для выбраковки полученных в нем данных, результаты его подвергают математической оценке для установления величины случайной ошибки, степени точности, а также достоверности, или существенности, полученных различий.

*Существенность (достоверность) различий* полевого опыта – математическая (статистическая) доказанность получаемой в опыте разницы в урожаях (или других показателей) сравниваемых между собой вариантов опыта. Статистическая оценка результатов полевого опыта позволяет определить границы возможных случайных отклонений полученных данных и установить наличие существенных различий между средними урожаями по вариантам опыта.

Достоверность различий и точность опыта – понятия тесно связанные, но не идентичные. Различие между точностью и достоверностью различий опыта проиллюстрируем на конкретном примере. Так, при изучении эффективности различных норм борных микроудобрений не было обнаружено заметных различий между вариантами по урожайности, несмотря на высокую точность опыта. Обнаруженные различия оказались значительно меньше, чем средняя ошибка опыта. Полученные в опыте различия математически недостоверны, находятся в пределах возможной ошибки опыта. В другом опыте, где изучалось действие микроудобрения, ошибка опыта была сравнительно высокой, но прибавка урожая по сравнению с неудобренным контролем во много раз превосходила вычисленную среднюю ошибку опыта. Таким образом, при меньшей точности опыта получена математически доказанная достоверная прибавка урожая.

Статистическая оценка результатов полевого опыта имеет чрезвычайно большое значение, однако, нужно ясно представлять себе, что она дает лишь объективную оценку точности опыта, но не повышает сама по себе эту точность, всецело зависящую от методики постановки и тщательности проведения опыта.

Важное методическое требование к полемому опыту – воспроизводимость его результатов. В соответствии с этим требованием исследователь, повторяя опыт по аналогичной методике и в идентичных условиях, должен получить результаты, как и в предыдущем опыте. Чтобы опыт можно было воссоздать в аналогичных условиях, исследователь должен описать подробно все условия его проведения: место, почвенно-климатические условия, предшественник, культуру, сорт или гибрид, агротехнику, машины и орудия механизации, схему опыта, размер опытного участка, ширину защитных полос, повторность, метод размещения вариантов, методику учетов и наблюдений, сроки выполнения полевых работ и другие условия проведения опыта.

## 2.8.2. Планирование эксперимента

*Опыт – единственный источник истины; он один может научить нас чему-нибудь новому; он один доставляет нам достоверность.*

### А. Пункаре

*Важнейшие и неотъемлемые качества истинного экспериментатора – отсутствие чувства непреложности авторитета и догматизма, признание сложности изучаемых объектов, осторожность и скромность в утверждениях. Это не означает, однако, что на каждом шагу следует ставить под сомнение все ранее установленное и проверенное точным опытом; наоборот, наука действует методом дальнейшего развития, а не отбрасывания уже достигнутого, но в поиске новых знаний исследователь должен обязательно учитывать возможные ошибки своих предшественников и современников.*

### Б.А. Доспехов

*Планирование эксперимента* – это совокупность специфических приемов выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной цели с требуемой точностью, а также приемов выбора методов математической оценки результатов эксперимента и принятия решений на основе полученных данных.

Основной задачей планирования эксперимента во многих случаях является построение статистической математической модели для описания поведения рассматриваемого объекта в определенных условиях. Таковую модель представляют в виде уравнения регрессии и обычно формируют как полином первой или второй степени.

План эксперимента – это полный перечень опытов, проводимых в эксперименте, с указанием для каждого из них условия его проведения в виде конкретных значений учитываемых факторов. В ходе проведения самого опыта фиксируются также и значения неуправляемых переменных, т.е. условий, если это возможно.

*Фактором* называется переменная величина, способная под управлением исследователя принимать в некоторый момент времени предусмотренное планом эксперимента значение и обладающая определенными способами воздействия на объект. Он может быть количественным или качественным. Количественный фактор – переменная, которую можно оценить количественно; качественный – характеризует качество (сорт возделываемой культуры, вид удобрения и тип севооборота). Факторы должны быть независимыми, измеряемыми и управляемыми. Требование *независимого воздействия* на объект возникает в связи с тем, что трудно управлять фактором, если он является функцией других. В эксперименте необходимо иметь возможность менять в некоторых пределах каждый фактор, не затрагивая остальные. Под *управляемостью* понимается возможность установки и поддержания нужного уровня фактора постоянным в выбранном диапазоне в течение всего опыта.

*Условие* проведения эксперимента – это неуправляемая переменная, воздействующая на объект исследования, например, агрохимические свойства почвы, погода.

В теории планирования эксперимента план принято представлять как матрицу независимых факторов, однозначно определяющих номенклатуру опытов и значения независимых переменных в виде уровней факторов. В матрице строки соответствуют различным опытам, а столбцы, т.е. вектор-столбцы, – значениям факторов. По существу, этой матрицей определяется множество точек, в которых необходимо измерить исследуемую величину, и их расположение в факторном пространстве. Выделяются несколько типов эксперимента: *экстремальный, дискриминантный, отсеивающий, имитационный, элиминирующий, сравнительный, демонстрационный*.

*Экстремальный эксперимент.* Цель его – отыскание экстремальных режимов функционирования изучаемого объекта, т.е. поиск комбинации значений уровней факторов, при которых функция отклика принимает экстремальное (максимальное или минимальное) значение.

*Дискриминантный эксперимент* – эксперимент по проверке конкретной статистической гипотезы. Необходимость проведения такого рода эксперимента возникает в случаях, когда требуется сравнить какие-либо средние величины, например, средние значения отклика между двумя уровнями факторов в дисперсионном анализе, средние значения вариантов испытания или двух выборок из какой-либо одной совокупности.

*Отсеивающий эксперимент.* Цель его заключается в выделении группы существенных факторов и отсеивании несущественных с тем, чтобы на втором этапе детально исследовать влияние первых. В отсеивающий эксперимент желательно включать максимальное число факторов, чтобы не пропустить ни одного из потенциально возможных, поскольку дальнейшие эксперименты могут потерять всякий смысл если некоторый существенный фактор не будет включен в программу исследования. Для отсеивающего эксперимента могут использоваться планы, построенные на базе греко-латинских квадратов, и различные комбинаторные планы, позволяющие сокращать перебор вариантов.

*Имитационный эксперимент,* как правило, связан с имитацией изучаемого явления на ЭВМ с помощью имитационной модели, описывающей динамику функционирования рассматриваемой системы с учетом вероятностной природы поведения элементов системы и законов распределения их параметров при заданных уровнях учитываемых факторов.

*Элиминирующий эксперимент.* Наличие неоднородностей дискретного и непрерывного характера типично для любого эксперимента. Как правило, источники неоднородностей не являются основными факторами, влияние которых интересует исследователя. Эти факторы, относящиеся к категории внешних, увеличивают ошибку эксперимента, создают большое шумовое поле. Влияние их более целесообразно исключить, чем оценить. Поэтому и планы нужно выбирать такие, чтобы свести ошибку эксперимента к минимуму и получить неискаженные оценки эффектов основных факторов. Однако нужно иметь в виду, что при переформулировке задачи эксперимента некоторые источники неоднородностей полученных результатов могут выступать в роли основных факторов.

*Сравнительный эксперимент.* Цель сравнительного эксперимента – построение предпочтительного ряда для некоторых изучаемых признаков. Здесь множество дискретных элементов нужно расположить в ряд по степени их эффективности для данного выходного параметра. При неполном переборе для сравнительного эксперимента могут использоваться латинские планы, блок-схемы и дробные реплики, при полном – полные факторные эксперименты.

Полученное в результате эксперимента множество значений измеренных величин в зависимости от рассматриваемых факторов трактуется как отклик. В зависимости от целей исследования в качестве отклика рассматривают различные величины: экономические; технико-экономические. Зачастую оптимизируются характеристики продукта или почвы: биофизические, физико-химические, механические и т. д. В любом случае отклик должен быть количественным. Множество значений, которые он может принимать, называются областью его определения.

При однофакторном эксперименте геометрическим образом отклика является линия, при двухфакторном – поверхность и при многофакторном – гиперповерхность (многомерная поверхность). В общем случае отклик описывают с помощью функции, аргументами которой являются учитываемые в эксперименте факторы – переменные.

*Планирование исследований* – наиболее ответственный этап в работе исследователя. Начинается планирование эксперимента с выбора темы и определения задач и объекта исследования. Затем изучается и критически анализируется современное состояние вопроса, на основании чего формулируется рабочая гипотеза, составляется программа исследования, выбираются методики. Многие неудачи в опытно-деловом деле вызваны не столько ошибками в технике и методике закладки опыта, сколько в неумении точно сформулировать цель и задачи опыта и, исходя из них, построить правильную схему опыта.

*Выбор темы.* Перечень проблем, над решением которых работают ученые-агрохимики, обширен. Выбор темы определяется интуицией ученого и потребностью сельскохозяйственного производства. Для удачного планирования эксперимента тема должна быть четко сформулированной, т. е. поставлена задача исследований и определены объекты.

*Изучение состояния проблемы.* Для того чтобы изучаемые вопросы не дублировались, не повторялись, необходимо изучить научную литературу по данному вопросу и провести патентные исследования. Знание литературы по данному вопросу дает возможность создать рабочую гипотезу, разработать программу и методику исследования.

*Создание рабочей гипотезы.* Формулируется положение, на котором будет основываться объяснение ожидаемых в поставленном опыте результатов.

*Рабочая программа.* В программе намечают способы проверки рабочей гипотезы. *Программа исследования* – это проект намеченного пути эксперимента. В программе четко формулируют цель и задачи исследований, представляют схемы опытов, описывают условия и методику их проведения, приводят перечень всех наблюдений, учетов и анализов с указанием методики и сроков их выполнения. Программа исследований составляется на весь период их проведения с детализацией по годам. В процессе реализации программы исследований, особенно при длительных экспериментах, может возникнуть необходимость в ее дополнении или частичном изменении. Все произведенные изменения должны быть тщательно задокументированы.

### 2.8.3. Основные понятия и элементы методики полевого опыта

*Изучая истину, можно иметь тройную цель: открыть истину, когда ищем ее; доказать ее, когда нашли; наконец, отличить от лжи, когда ее рассматриваем.*

**Блез Паскаль**

*Крупнейшие научные открытия – результат кропотливого наблюдения над мельчайшими фактами.*

**Андре Жид**

Под методикой полевого опыта подразумевают совокупность составляющих её элементов: число вариантов, площадь делянок, их форму и направление, повторность, систему размещения повторений, делянок и вариантов на территории, метод учета урожая и организацию опыта во времени.

Полевой опыт всегда закладывается по определенной схеме. **Схема полевого опыта** – совокупность всех вариантов, входящих в опыт и сравниваемых между собой. Каждый из них характеризуется видоизменением того фактора, который изучается в данном опыте. Примером простейшей схемы опыта может быть схема из двух вариантов; например, первый вариант – без удобрений, второй – с удобрением. Правильно составленная схема, соблюдающая принцип единственного различия и тождества прочих условий, позволяет оценить каждый вариант опыта и сравнить их между собой. Составление схемы полевого опыта является наиболее ответственной задачей, которую приходится решать экспериментатору. Схема опыта определяется целью и задачами исследований.

Схему опыта следует построить так, чтобы в ней был элемент сравнения, который позволит в результате исследований установить эффективность каждого варианта. В связи с этим, одним из вариантов схемы опыта должен быть контроль (стандарт), с которым сравнивают остальные варианты. Схема опыта должна быть простой, ясной и не громоздкой, включать в однофакторных опытах не более 12-16 вариантов, а делянок – не более 50-60. При необходимости иметь большое число вариантов следует составить две схемы и рассмотреть их как отдельные, самостоятельные опыты со своими контрольными вариантами или же увеличивать число контрольных вариантов. При изучении агротехнических приемов за контроль, как правило, берут те условия возделывания, которые на период планирования эксперимента в конкретных условиях производства или в конкретном хозяйстве являлись лучшими. При сортоиспытании за контроль берут лучший районированный сорт (гибрид), который в данном хозяйстве выращивался до постановки опыта. При изучении эффективности норм удобрений за контроль берут те нормы, которые в хозяйстве или конкретной зоне возделывания применялись как оптимальные. Вариант без удобрений (пестицидов) иногда может быть в опыте, но с ними нельзя сравнивать изучаемые варианты.

**Факторное пространство.** При проведении эксперимента значения учитываемых факторов дискретизируются с учетом возможного диапазона их изменений в ходе эксперимента. Конкретное значение дискретной величины

фактора называют уровнем фактора, а совокупность значений уровней фактора в конкретном опыте принято называть точкой наблюдения в факторном пространстве. Диапазон изменения между двумя смежными уровнями фактора рассматривается как шаг варьирования фактора, а среднее значение между нижним и верхним уровнями фактора – как центр варьирования фактора.

В общем случае количество уровней может быть любое, но предпочтительно одинаковое для всех факторов, а расстояния между ними могут быть различными. Оно определяется конкретной постановкой задачи, спецификой изучаемого фактора, а также предполагаемой сложностью изучаемого объекта. На выбор интервалов варьирования факторов накладываются естественные ограничения сверху и снизу. С одной стороны, интервал варьирования не может быть меньше ошибки задания фактора. С другой – он не должен быть настолько большим, что верхний или нижний уровни фактора оказались бы вне его рассматриваемой области. При выборе интервала уровня факторов следует учитывать, что чем ниже точность измерения и чем меньше кривизна поверхности отклика, тем шире должен быть интервал между уровнями факторов.

Любой фактор имеет область своего существования, границы которой не могут быть нарушены ни при каких обстоятельствах. Эта область задается исследователем исходя из условий проведения эксперимента, либо принципиальных или технико-экономических соображений. Например, в экспериментах с рисом нет причин вводить варианты глубины заделки семян на 15 см или подкормку растений в фазе полной спелости.

После выбора области определения факторов необходимо установить область проведения эксперимента, т. е. границы факторного пространства. Наилучшим условием поведения рассматриваемого объекта, устанавливаемым путем анализа априорной информации об объекте, соответствует определенная комбинация уровней факторов, формально представляемая многомерной точкой в факторном пространстве. Точку, соответствующую наилучшим условиям, принято рассматривать как исходную в построении плана эксперимента, т.е. как основной (нулевой) уровень учитываемых в эксперименте факторов. Тогда построение плана эксперимента сводится к выбору множества точек, обычно симметричных относительно нулевого уровня. Кроме того, координаты выбранного нулевого уровня должны лежать внутри области определения на некотором расстоянии от границы факторного пространства.

**Кодирование фактора.** В теории планирования эксперимента уровни факторов принято рассматривать в кодированном виде, достигая тем самым всеобщности подходов к построению модели отклика. *Кодирование* – это такое масштабирование факторов, при котором упрощается запись условий опытов в матрице планирования и обработки экспериментальных данных.

*Вариант опыта* – определенная совокупность приемов возделывания растений, осуществляемая на одной делянке или на нескольких так называемых повторных делянках. Вариант – это определенный вид или градация изучаемого в опыте фактора воздействия. В зависимости от содержания опыта в число всех вариантов обязательно включают один или несколько вариантов в качестве единиц сравнения, которые называют контрольными (стан-

дартными) вариантами, или контролями. Они позволяют определить степень чувствительности растений к изучаемому в опыте фактору. Контрольным вариантом следует брать оправдавший себя на практике прием, с тем, чтобы при исследовании изыскать еще более лучший. Варианты опыта размещаются на делянках опытного участка по определенному плану.

Количество вариантов в схеме любого опыта определяется его содержанием, целью и задачами. Число вариантов и способ их размещения на площади могут влиять на точность опыта, т. к. при прочих равных условиях опыт с большим числом вариантов будет занимать большую площадь, что увеличивает возможность ошибок и погрешностей, связанных с территориальной изменчивостью плодородия почвы. При планировании эксперимента надо стремиться, чтобы в опыте было не более 12–16 вариантов. Опыт с большим числом вариантов требует, как правило, более сложных методов постановки. Если вариантов мало, то требуется более высокая повторность, чтобы иметь достаточное число наблюдений для правильной оценки ошибки опыта.

Общее требование к подбору вариантов – они должны охватывать факторное пространство. Для определения направления изменения результата, выявления зависимости между результатом и количественными значениями контролируемого фактора необходимы и достаточны три варианта: в начале, середине и в конце факторного пространства, а при уверенности в линейной зависимости – два варианта – в начале и конце. Для вывода уравнения зависимости между результатом и уровнями контролируемого фактора необходимы как минимум 5 вариантов: по одному в начале и конце выбранного диапазона и три через равные промежутки между ними. Чтобы получить более достоверный результат, число вариантов увеличивают до 6–8. Если математическая модель заранее известна, то варианты располагают следующим образом: по одному в начале и конце диапазона; по три в точках перегиба или экстремума (минимума, максимума), по две на плавных участках кривой. При этом концевые варианты входят в число этих двух или трех, что уменьшает общее число вариантов на два.

В методической литературе можно встретить деление факторов и вариантов на количественные и качественные. В основу положен принцип разделения признаков на количественные и качественные<sup>5</sup>. Если фактором является количественный признак – фактор *количественный*, если качественный – *качественный*. Качественные – это растение, сорт, гибрид, предшественник, приемы возделывания – способ посева, способ обработки почвы, способ полива, семена различного качества и способ их подготовки, машины и орудия, применяемые при возделывании и уборке урожая. Количественные – это уровни качественных вариантов: дозы применения удобрений и ростовых веществ, нормы высева семян, площади питания, глубина и кратность обработки почвы и т. д. Вариантами количественного опыта служат уровни изменяемого фактора, выраженные числами.

---

<sup>5</sup> Качественные признаки учитываются по их наличию у отдельных единиц совокупности; количественные – путем подсчета или измерения.

**Повторение опыта в пространстве и во времени.** Точность полевого эксперимента и надежность средних данных по вариантам в большой степени определяются повторением опыта в пространстве и во времени. *Повторением* опыта называют часть площади опытного участка, занятую полным набором делянок всех вариантов схемы опыта, расположенных рядом друг с другом. Повторностью опыта на территории называют число одноименных делянок каждого варианта.

Применение повторностей в опыте позволяет учесть ошибки, связанные с неоднородностью почвы опытного участка, индивидуальными различиями растений, случайными повреждениями и ошибками технического порядка, а также связанные с различными метеорологическими условиями вегетационного периода.

Необходимое число повторений в опыте зависит от типичности условий, пестроты участка и требуемой точности эксперимента. Пестроту почвенных условий земельного участка устанавливают по данным дробного учета или глазомерной оценки уравнительного посева. При увеличении повторности, особенно до 4–6-кратной, заметно снижается ошибка опыта и дальнейшее повышение повторности сопровождается менее значительным уменьшением ошибки. Увеличение числа повторных делянок ошибку опыта снижает значительнее, чем увеличение площади делянки. Эффективность повторности особенно четко проявляется, если целые повторения, т. е. весь набор изучаемых вариантов опыта, располагать в пределах даже сильно различающихся, но достаточно однородных внутри себя частей земельного участка.

Повторностью опыта во времени называют число лет испытаний новых агротехнических и технологических приемов, технологий и сортов. Повторность во времени позволяет установить действие, взаимодействие и последствие изучаемых факторов в разных метеорологических условиях. Результаты полевого эксперимента сильно зависят от погодных условий года, поэтому, в большинстве случаев, для получения надежных результатов, наряду с повторностью на территории необходимо повторять полевые опыты во времени, т. е. по годам. Это не только повышает достоверность выводов, но и дает возможность получить очень ценную дополнительную информацию об эффективности изучаемых приемов и средств в разные по водообеспеченности (влажные, нормальные, сухие) и термическому режиму (жаркие, нормальные, холодные) годы, выявить последствие удобрений, агротехнических и мелиоративных приемов.

В краткосрочных опытах нельзя рассчитывать на получение исчерпывающего ответа менее чем за три года. Исследования в полевых опытах, в которых требуется наблюдение за такими медленно протекающими процессами, как изменение запасов гумуса и плодородия почвы в результате различных агротехнических приемов, требуют проведения многолетних стационарных опытов по специально разработанному плану. Опыты, направленные на изучения действия и последствия фактора (факторов) в зависимости от погодных условий, должны проводиться в течение не менее 10 лет. А опыты по изучению севооборотов с отслеживанием почвенных процессов могут продолжаться неопределенно долгое время, причем с годами их ценность и информативность возрастают.

Проведение опытов без повторности допустимо только в предварительных, рекогносцировочных и демонстрационных опытах.

*Опытная делянка* – элементарная составная часть опытного участка определенного размера и формы, на которой осуществляются все изучаемые приемы возделывания растений согласно какому-нибудь одному из вариантов схемы опыта. В делянке различают площади: посевную (делянка в целом) и учетную, которую учитывают при изучении опытного варианта. Размеры делянок в конкретных условиях полевого опыта зависят от характера изучаемого вопроса, степени пестроты почвенного покрова, особенности агротехники, машин и орудий, применяемых в эксперименте.

*Блок* – часть площади участка полевого опыта, поделенного на делянки, на котором размещают варианты схемы опыта случайными методами. Блок может быть полным, тогда он равнозначен повторению, или неполным – когда в блок входит лишь часть вариантов, в последнем случае несколько блоков составляют одно повторение.

#### **2.8.4. Особенности проведения полевого опыта**

*Мы тогда уверены в познании всякой вещи, когда узнаем ее первые причины, первые начала и разлагаем ее вплоть до элементов.*

**Аристотель**

*В естественной науке принципы должны подтверждаться наблюдениями.*

**К. Линней**

Основной отличительной особенностью условий проведения полевых опытов является сильная изменчивость в эксперименте внешних факторов роста и развития растений. Изменчивость метеорологических условий по годам, неоднородность почвенного плодородия участков, где закладываются опыты, исключительная сложность основных объектов исследования – растений и почвы, сезонность и продолжительность вегетационного периода, длительность получения научной информации создает значительные трудности в получении надежных и хорошо воспроизводимых результатов.

В зависимости от условий периода вегетации на одном и том же земельном массиве при одинаковой технологии возделывания урожая одного и того же сорта (гибрида) и эффекты изучаемых в полевом опыте факторов могут сильно колебаться по годам. Большая зависимость величины результативного признака, чаще всего это урожай, и эффектов вариантов от метеорологических факторов требуют от экспериментатора максимальной осторожности и объективности при оценке результатов однолетних исследований и их интерпретации. В большинстве случаев не целесообразно делать выводы по результатам одного года.

Сильная вариабельность неконтролируемых природных факторов требует обязательного повторения полевого опыта во времени (по годам). Для получения достаточно надежных и воспроизводимых результатов необходимо, особенно для доказательства незначительных эффектов изучаемого варианта, иметь не менее чем трехлетние данные учета урожая в опыте.

В поле экспериментатор не имеет возможности выбрать для закладки опыта идеально выровненный земельный участок, т.е. однородный во всех отношениях. Чаще всего проявляется значительная неоднородность почвенного плодородия, поэтому необходимо знать основные закономерности его территориальной (пространственной) изменчивости т. к. именно оно является главной причиной варьирования поделочных урожаев.

**Выбор участка.** При выборе участка для закладки полевого опыта необходимо, чтобы он соответствовал тем условиям, в которых предполагается использовать результаты опыта: свойствам и плодородию почв, рельефу местности, распространенному в данном районе, т. е. быть *типичным* и *репрезентативным*. Второе требование к опытному участку – *однородность его почвенного покрова*, обеспечивающая достаточную точность результатов опыта.

Типичность участка не всегда характеризуется только природными условиями; она может включать также и степень окультуренности почвы, которая создавалась предшествующей деятельностью человека. Поэтому независимо от того, насколько выдержана типичность почвенных условий опытного участка, совершенно необходимо точно знать степень окультуренности почвы. Результаты опыта, проведенного на неизвестной почве и при невыясненной степени ее окультуренности, теряют ценность, т. к. нельзя установить, к каким условиям они могут быть приложены, в т. ч. почвенным и агротехническим. Поэтому до закладки опыта необходимо установить почвенную характеристику выбранного участка и его хозяйственную историю не менее чем за три последних года.

**Рельеф.** Наличие ровной поверхности – одно из основных условий пригодности участка для опыта. Однако в некоторых регионах найти такой участок затруднительно. Поэтому не только трудность выбора участка, не имеющего склона, но и по соображению типичности допускают наличие на опытном участке умеренного склона (2,5 м падения на погонную длину 100 м). Склон должен быть односторонним и равномерным по крутизне, не иметь участков, обращенных к различным странам света, и особенно замкнутых понижений, т. е. западин, блюдец. При расположении опытного участка на склоне делянки располагают длинными сторонами вдоль склона, с тем, чтобы каждая делянка по возможности полно и одинаково с другими охватывала разнообразие условий в разных частях склона. Эти требования к рельефу не относятся, конечно, к тем случаям, когда влияние рельефа само собой является предметом изучения (опыты по изучению влияния склонов различной крутизны и экспозиции, опыты по изучению влияния эрозии).

**Почва.** Почвенное обследование опытного участка может иметь двоякую задачу: а) дать почвенную характеристику участка в целом для того, чтобы сделать возможным перенесение результатов опыта на сходные почвы; б) помочь наилучшим образом расположить опыт, разместив его целиком в пределах одной почвенной разности или, при невозможности этого, в пределах комплекса наиболее близких разностей при условии возможного однообразия этого комплекса для всех вариантов опыта (Щерба С.В., Юдин Ф.А., 1975).

Делянки опыта необходимо располагать в пределах одной почвенной разности. Если этого добиться невозможно (при большой пест-

роте почвенного покрова), приходится ограничиваться лишь требованием отсутствия в пределах размещения опыта резко различных почвенных разностей. Делянки располагаются таким образом, чтобы каждая из них охватывала весь комплекс почвенных разновидностей, представленных в пределах размещения опыта. Легче всего это достигается при делянках вытянутой формы.

*История опытного участка.* Необходимо убедиться, что на всей площади участка в течение последних 3–4 лет высевали одну культуру в соответствии с севооборотом, применяли единую систему удобрений и обработку почвы. Однообразными должны быть и агротехнические приемы, которые резко и на длительный период изменяют плодородие почвы – известкование, систематическое внесение минеральных и органических удобрений, углубление пахотного слоя, дренаж, посев бобовых культур. При наличии сведений о применении одного из этих приемов на какой-то части участка нельзя использовать его под закладку опыта без предварительного дробного учета урожайности, хотя со времени применения этого приема прошло и более 2 лет.

Участок, отводимый для размещения опыта, не должен иметь сильной и неравномерной засоренности, особенно с явно выраженными пятнами злостных сорняков, следами земляных работ, засыпанных ям и канав, раскорчевок и крупных пней, остатков от строений, бывших токов, стоянок скота, мест вывозки и хранения навоза, бывших грунтовых дорог. Не следует располагать опытный участок вблизи водоемов, древесных насаждений, построек, изгородей, которые создают неравномерность освещения вследствие затенения, неодинаковые условия влажности почвы и воздуха из-за повышенного испарения или излишнего накопления снега, задержки ветра, а также возможности повреждения и засорения опыта. Он должен находиться на расстоянии не менее чем 200 м от водоемов, 40–50 м от сплошного леса и отдельных построек, 25–30 м от отдельных деревьев и 10 м от плотных изгородей. Во избежание повреждений опыта и влияния на него дорожной пыли участок размещают на расстоянии 10–20 м от проезжей дороги и изолируют засеянной защитной полосой.

Изучение истории опытного участка диктуется также необходимостью иметь характеристику типичности участка – природной (рельеф, почвенно-генетические особенности) и хозяйственной (степень окультуренности, обеспеченность усвояемыми формами питательных веществ, реакция почвы). Следует подчеркнуть, что стремление к однородности участка в районах с высокой пестротой почвенного покрова нарушает требование к типичности. Однако участок, полностью удовлетворяющий требованиям типичности, может не вполне обеспечивать требуемую точность опыта. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо согласовывать требования типичности и точности, поступаясь, в допустимых пределах, либо типичностью условий, либо точностью результатов.

Для характеристики опытного участка необходимо провести его геодезическое, почвенное и хозяйственное обследование. Почвенная карта, результаты химических анализов почвы, нивелировочный план, хозяйственная история поля, а в некоторых случаях (целина или залежь) карта распределения естественной растительности позволяют путем их сопо-

ставления установить степень пестроты почвенного покрова и составить план расположения полевого опыта на определенном участке, наметить величину, форму и расположение делянок и размещение повторений.

**Подготовка участка.** Подготовка участка включает две самостоятельные задачи: выравнивание неодинакового плодородия участка при помощи одного или нескольких сплошных по всему участку, так называемых *уравнительных* посевов, и изучение распределения на площади участка исходной пестроты почвенного плодородия путем *дробного учета рекогносцировочных, или разведочных* посевов.

*Уравнительные посе́вы* – сплошной посев какой-либо культуры, проведенный на всей площади выбранного участка с целью выравнивания плодородия почвы. От обычного хозяйственного посева он отличается тем, что обработку почвы, внесение удобрений, агротехнические приемы по уходу за растениями проводят на более высоком агротехническом уровне, тщательно и однообразно. Уравнительные посе́вы хорошо устраняют почвенную пестроту, обусловленную предшествующей историей участка. Менее выражено их положительное действие в отношении пестроты, обусловленной природными факторами – рельеф, почва. Кроме выравнивания пестроты участка, *уравнительные посе́вы* позволяют создать фон для проведения опытов с удобрениями, способствуя в зависимости от поставленной задачи как повышению окультуренности, так, иногда, и понижению исходного плодородия. Для достижения этих целей *уравнительные посе́вы* могут проводиться несколько лет и включать самые разнообразные культуры. Возможно создание специальных подготовительных севооборотов или звеньев севооборота. В этих севооборотах могут вноситься, в зависимости от исходного и создаваемого уровня плодородия, навоз или минеральные удобрения или, наоборот, севообороты могут проводиться в течение ряда лет без всякого удобрения.

*Уравнительный посев* необходимо систематически тщательно осматривать для исключения на основании глазомерной оценки условий развития растений из опытного участка тех мест, которые отличаются большой пестротой. В некоторых случаях, когда этого требуют условия проведения опыта, последний *уравнительный посев* можно совместить с *рекогносцировочным*, подвергнув его *дробному учету*.

**Некоторые случаи специальной подготовки участка.** Приемы такой подготовки определяются особенностями участка или задачами опыта. Так, для опытов с орошаемыми культурами необходимым приемом подготовки является планировка участка, обеспечивающая равномерность орошения делянок и возможность тщательной регулировки и учета распределения воды между делянками. В районах избыточного увлажнения необходимым приемом подготовки некоторых участков под опыты будет их осушение при помощи открытых каналов или закрытого дренажа (гончарных труб и других типов дрен). Устройство осушительной системы должно быть точно и тесно увязано с предполагаемыми величиной, формой и направлением делянок, с тем, чтобы избежать различного влияния дрен или канав на отдельных делянках. С этой целью делянки желателен вытягивать поперек дрен, под каждой делянкой должно проходить по одной или по одинаковому числу

дрен (или они должны проходить по границам делянок). При осушении открытыми канавами последние должны быть расположены так, чтобы все делянки одинаково примыкали к канавам своими узкими концами.

**Рекогносцировочные посевы и дробный учет.** Рекогносцировочный посев – это сплошной посев какой-либо культуры на участке, предназначенном для опыта, с целью выявления пестроты почвенного плодородия дробным учетом урожая. Чаще всего рекогносцировочный посев совмещают с последним уравнивательным посевом (Юдин Ф.А., 1980). Для рекогносцировочных посевов чаще всего используют зерновые культуры, но это могут быть и корнеплоды или картофель. Из зерновых наиболее пригодны яровые культуры (овес), т. к. на пестроту стояния озимых накладываются, помимо плодородия почвы, условия перезимовки. Сущность дробного учета заключается в том, что урожайность культуры учитывается по отдельным, возможно более мелким, площадкам. Таким способом устанавливается пестрота плодородия внутри опытного участка.

Величина элементарных делянок дробного учета зависит от культуры, метода учета и технических возможностей опытного учреждения. Чем меньше делянки дробного учета, тем детальнее охватывают они пестроту участка и тем более гибко и разнообразно их можно комбинировать при проектировании величины, формы и расположения опытных делянок. При небольших площадях, подлежащих учету, и значительной пестроте участка можно рекомендовать размер элементарной делянки в 10 м<sup>2</sup>. При более крупных и более однородных площадях и при возможности постановки опытов на больших делянках (несколько сот квадратных метров) можно допустить и более крупные делянки дробного учета.

**Техника дробного учета.** Площадь рекогносцировочного посева необходимо разбить на элементарные участки. Способ и время разбивки определяется культурой – для пропашных их выделяют перед уборкой простым отсчетом борозд и растений в рядах, для зерновых желательнее это сделать до выхода растений в трубку. Учетные делянки разбивают кольщиками и ограничивают бороздками шириной 10–20 см, проведенными ручным планетом или мотыгой, натянутой проволокой или шпагатом. Уборку осуществляют вручную или малогабаритной техникой. Особенно удобны для этого самоходные комбайны. Вначале участок обкашивают для придания ему прямоугольной формы. Вдоль длинной стороны натягивают веревку, по которой идет маркер или колесо. Ширина учетной делянки определяется шириной захвата жатки. Длина зависит от пестроты участка и требуемой точности. Урожай каждой делянки учитывают отдельно.

Значительно ускорить и упростить дробный учет урожая позволяют современные комбайны, укомплектованные специальным оборудованием и программным обеспечением в автоматическом режиме учитывающие величину урожая на элементарной делянке.

**Использование данных дробного учета.** Непосредственные результаты взвешивания наносят на план. Для этого весь цифровой материал разбивают на группы с интервалами 0,5–1,0 и для каждой группы подбирают определенную интенсивность окраски (обычно более темную с повышением урожая), которой и закрашивают на плане каждую ячейку, соответствующую

элементарной делянке. При использовании специального оборудования план составляется автоматически. Такой план позволяет довольно хорошо ориентироваться в характере пестроты участка и выделить в его пределах более однородные площадки и, наоборот, выключить резко отличающиеся пятна. Легче судить о характере и степени пестроты участка, построив кривую Гаусса. Чем больше она отклоняется от нормальной кривой Гаусса, тем более необходима выбраковка отдельных частей участка. Бывают случаи, когда целесообразно его разделение на несколько самостоятельных частей.

Затем необходимо установить форму и размер опытной делянки, а также число повторений, при которых в наибольшей степени погасалась бы пестрота элементарных делянок. Для этого эмпирически комбинируем элементарные делянки по две, три и т. д. и суммируем их урожаи. Вычисляем среднюю квадратическую ошибку ( $m$ ) для элементарной делянки и для комбинированных делянок разной величины по формуле:

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение,  $n$  – число повторений.

Пользуясь этой же формулой, вычисляют число повторений, необходимое для того, чтобы ошибка опыта при данном размере делянок не превосходила заданной величины:

$$n = \left( \frac{\sigma}{m} \right)^2.$$

Все эти предварительные вычисления позволяют при минимальной затрате площади заложить опыт с заранее определенной точностью.

Таким образом, данные дробного учета дают возможность выбирать для опытов наиболее однообразные по плодородию участки и даже приближенно предсказывать точность будущих опытов.

Необходимо отметить, что отсутствие дробного учета рекогносцировочного посева не может служить препятствием применению правильной методики полевого опыта. Из-за чрезвычайной трудоемкости и громоздкости этой работы, многие исследователи высказывают сомнения в целесообразности новых дробных учетов. Для оценки пригодности участка для закладки полевого опыта бывает вполне достаточно провести почвенное обследование и нивелировку, изучить историю поля и дать визуальную оценку изменчивости плодородия на уравнительном или хозяйственном посеве. Часто вместо дробного учета рекогносцировочного посева выгоднее, при постановке опытов с однолетними культурами на новых землях, увеличить повторность, а затем по результатам первых экспериментов судить о пестроте почвенного плодородия поля и устанавливать необходимую повторность для последующих опытов (Доспехов Б.А., 1979).

**Размещение опыта на участке.** Основной задачей размещения опыта на участке является возможное уменьшение различий в исходном плодородии сравниваемых делянок, вызванных пестротой участка. Пест-

роту опытного участка, обусловленную микрорельефом, мелкими изъянами агротехники, неравномерностью предшествующего распределения удобрений можно нивелировать величиной отдельной делянки. Если неоднородность участка вызвана расчлененностью макрорельефа, различными предшествующими культурами и разным естественным плодородием, то их элиминирование (устранение) достигается путем размещения на них делянок и повторения опытов.

*Величина делянки.* Размер делянок определяется назначением и задачами опыта, культурой, степенью и характером пестроты почвенного покрова, агротехникой и применяемыми орудиями и машинами.

Повышение точности опыта (уменьшение ошибки) с увеличением площади делянки идет не пропорционально этому возрастанию. За известным пределом, увеличение площади делянки может привести к понижению точности, т. к. возрастает общая площадь, занятая опытом, а это приводит к увеличению неоднородности участка. Перекрыть макропестроту почвы увеличением размера делянки практически невозможно. На основании большого числа мелких учетов рекогносцировочных посевов установлено, что точность опыта повышается по мере увеличения площади делянки примерно до 100 м<sup>2</sup>.

Выбор площади делянки связан с возможностью и удобством проведения на ней необходимых сельскохозяйственных работ, прежде всего обработки почвы. Обычно для полевого опыта проектируют величину делянки, равную минимальной площади, обеспечивающей необходимую точность опыта и допускающей проведение всех работ по опыту, включая учет урожая с максимальной механизацией. Предел, меньше которого не должна быть площадь делянки, зависит от возможности соблюдения нормальной агротехники возделываемой культуры с использованием требующихся для нее сельскохозяйственных машин и орудий.

Размер делянок зависит также от биологических особенностей изучаемой культуры. Чем больше растений произрастает на единице площади, тем меньшего размера приемлемы делянки. В связи с этим площадь делянок при изучении культур сплошного сева меньше, чем пропашных. Величина делянки будет изменяться в зависимости от тематики опыта. Если обработка, посев и уход проводятся однородно на всем участке, то она может быть меньшего размера, чем в случае, когда по характеру темы каждую делянку обрабатывают, засевают и ведут на ней уход за посевами отдельно (изучение способов внесения удобрений, эффективность рядкового способа внесения удобрения, подкормок во время вегетации пропашных культур).

Многолетние опыты закладывают на делянках большей площади, чем однолетние, т. к. в длительных опытах может возникнуть необходимость разделения делянок на части для введения дополнительных вариантов или наложения нового фона на имеющиеся варианты.

Необходимость проведения всех работ по опыту, связанных с закладкой, посевом, уходом (прополка, подкормка, полив) одновременно и на высоком уровне агротехники, а также строгий учет урожая в короткие сроки ограничивают возможность увеличения площади делянки сверх оптимальной, обеспечивающей требования точности и типичности опыта. Кроме того, расширение размера делянки неоправданно, т. к. приводит к

большому расходу удобрений, семян, дополнительным затратам труда, что значительно удорожает опыт.

Учитывая все отмеченное выше и на основании многолетней практики научных учреждений, опыты с удобрениями рекомендуется закладывать на делянках 50–100 м<sup>2</sup> для растений сплошного посева и 100–200 м<sup>2</sup> для пропашных культур. В опытах с отдельной обработкой и посевом каждой делянки, с механизированным внесением удобрений площадь делянки увеличивается до 300 м<sup>2</sup>, иногда и больше; в многолетних опытах рекомендуются делянки от 200 до 300 м<sup>2</sup>; в лабораторно-полевых опытах, где соблюдение типичности в производственном отношении необязательно, при применении конной обработки для культур сплошного посева размер делянки может быть 20–25 м<sup>2</sup>, а при ручной обработке и еще меньшим. Отсутствие специальных малогабаритных машин и орудий заставляет увеличивать делянки, что нежелательно, так как снижается качество работы. Указанные размеры примерные, они требуют уточнения в каждом отдельном случае (Щерба С.В., Юдин Ф.А., 1975).

*Защитные полосы.* Различают боковые и концевые защитные полосы. *Боковые* защитные полосы выделяют вдоль длинных сторон делянок для исключения влияния растений соседних вариантов и краевых эффектов. Обычно их ширина колеблется в пределах 0,5–1,5 м, но может быть и несколько больше. В любом случае они должны позволять полностью исключить любое влияние соседних вариантов. *Концевые* защитные полосы шириной не менее 2 м выделяют для предохранения учетной части делянки от случайных повреждений. При механизированной закладке опыта, уходе за растениями и уборке необходимо выделять защитные полосы для разворота техники.

*Форма делянки.* Форма делянки имеет исключительное значение, особенно в условиях почвенной пестроты опытного участка, т. к. влияет на точность опыта. Наиболее точно выбрать форму делянки можно, используя данные дробного учета урожая рекогносцировочного посева. Если таких данных нет, или опыт закладывается на полях научных учреждений, имеющих незначительную почвенную пестроту, необходимо руководствоваться следующими положениями.

Вытянутая форма делянки обеспечивает обычно бóльшую точность опыта, т. к. чем длиннее делянка, тем полнее она охватывает пестроту участка. Они должны быть вытянуты в направлении изменения свойства участка. Так, при закладке опыта на склоне делянки обязательно должны быть вытянуты вдоль склона, равномерно захватывая все его части. При наличии на участке каких-либо полос различного плодородия делянки должны располагаться поперек этих полос. Вытянутую форму делянки следует предпочесть, если обрабатывают и засевают каждую делянку отдельно. В таких случаях вытянутые делянки располагаются в один ряд, чтобы машины могли делать развороты за пределами делянки для перехода на следующие повторения. Ширина делянки определяется изучаемой культурой и средствами механизации. При рядковом посеве ширина делянки должна быть кратной ширине междурядий.

Недостаток делянок вытянутой формы, у которых отношение длины к ширине более 10, – их большой периметр и, следовательно, защитные полосы

занимают большую площадь. Поэтому при ограниченной площади участка и малых размерах делянок (меньше 50 м<sup>2</sup>) им следует придавать форму, близкую к квадрату, а повышения точности опыта добиваться увеличением повторности. Считаются приемлемыми такие величины и формы делянок, при которых на защитные полосы приходится около 25% площади опытного участка.

*Повторность.* Наиболее действенным способом повышения точности опыта является введение нескольких повторных делянок для каждого варианта схемы. Повторные делянки можно рассматривать как части одной более крупной делянки, но размещенные в различных местах опытного участка. Такое размещение дает возможность более полно охватить каждым вариантом всю пестроту участка. Поэтому при одинаковом увеличении суммарной площади, нужной для одного варианта, введение повторных делянок при увеличении их числа дает большее повышение точности, чем соответствующее увеличение площади одной делянки. Кроме того, присутствие в опыте нескольких делянок для каждого варианта дает возможность количественно определить эту точность. Повторность одноименных делянок нужно считать обязательной для всякого полевого опыта.

Необходимая повторность должна устанавливаться для каждого конкретного случая и участка в зависимости от его пестроты. Лучше всего руководствоваться при этом данными дробного учета урожайности, на основании которых находят коэффициент вариации ( $V$ , %). Исследователь сам выбирает точность опыта ( $m$ , %), которую он рассчитывает получить (при этом считается, что разницы в урожаях меньше 5 % полевым опытом не улавливаются), и необходимое число повторений ( $n$ ) вычисляет по формуле:

$$n = \left( \frac{V}{m} \right)^2$$

Например: по данным дробного учета урожайности для делянок площадью 100 м<sup>2</sup> коэффициент вариации составляет 10 %. Чтобы провести опыт с точностью 5%, необходимо иметь повторность будущего опыта  $n = (10:5)^2 = 4$ .

При отсутствии данных дробного учета урожайности рекогносцировочного посева руководствуются опытом работы на сходных площадях и следующими соображениями.

В стационарных условиях, как правило, полевые опыты не закладывают с повторностью меньше, чем 4-кратная. Большинство полевых опытов при размерах делянок 50–100 м<sup>2</sup>, а иногда и больше ставят в 4-кратной, реже в 6-кратной повторности; это дает возможность иметь точность опыта около 2–4%. При постановке опытов на делянках 20–10 м<sup>2</sup> повторность повышают до 6–8-кратной. Минимальная повторность – 2-кратная. Ее недостатком, даже когда она обеспечивает необходимую точность опыта, является риск выпадения одной делянки по случайным причинам, что ведет к выбраковке из опыта всего варианта. Кроме того, при значительном расхождении результатов двух параллельных делянок невозможно судить о том, какой из результатов ближе к истинной величине урожая: отсюда желательно иметь, как минимум, 3-кратную повторность. 2–3-кратная повторность применяется в предварительных, рекогносциро-

вочных и демонстрационных опытах, а также в производственных опытах на площади делянки свыше 1000 м<sup>2</sup> (Щерба С.В., Юдин Ф.А., 1975).

При установлении повторности надо также учитывать технические возможности проведения опыта. Большое число повторений может не позволить выполнить все работы по закладке и проведению опыта одновременно на всем участке, а также значительно увеличит затраты материально-технических средств. Увеличение повторности, а следовательно, и количества делянок значительно усложняет работу.

*Расположение опыта.* Способы расположения повторений и вариантов в опыте преследуют цель охватить каждым вариантом более полную пестроту почвенного плодородия опытного участка, создать условия наилучшей сравнимости между вариантами. Это обеспечивает большую репрезентативность и точность опыта, повышает достоверность его результатов. Выбор способа размещения повторений в пространстве опытного участка зависит от величины и степени пестроты почвенного плодородия, числа вариантов, площади делянок. Необходимо учитывать и технические условия постановки и проведения опыта.

Различают два способа размещения опыта: *методом неорганизованных повторений* или *полной рендомизацией* и *методом организованных повторений*.

При использовании метода неорганизованных повторений, или полной рендомизации опыт размещается без территориального объединения делянок в повторения. Этот метод не имеет широкого распространения, т. к. нет достаточно больших участков, однородных по почвенным условиям. Это послужило основой для введения другого метода (рис. 31).

2	1	3	2
1	3	2	1
3	2	1	3

Рис. 31. Схема расположения 3-х вариантов в 4-х повторностях методом полной рендомизации

*Метод организованных повторений* предполагает объединение делянок в повторения и их компактное размещение. Применяют два способа размещения организованных повторений: сплошное и разбросное. При *сплошном* размещении все повторения располагают компактно на одном участке, в один, два и несколько рядов, имея общие границы между отдельными повторениями. При *разбросном* размещении отдельные повторения по одному или по несколько размещены на отдельных опытных участках, разбросанных по разным частям одного поля или даже находящихся на разных полях. При таком расположении повторений варьирование плодородия разных повторений должно быть независимым друг от друга. Разбросное расположение повторений чаще всего вызывается отсутствием однородного опытного участка достаточного размера для сплошного размещения всех повторений опыта (рис. 32). Иногда разбросное расположение

может диктоваться целью и задачами эксперимента. Например, при изучении влияния предшественников на эффективность применения удобрений, или когда необходимо оценить эффективность удобрений при широкой амплитуде почвенных и агротехнических условий.

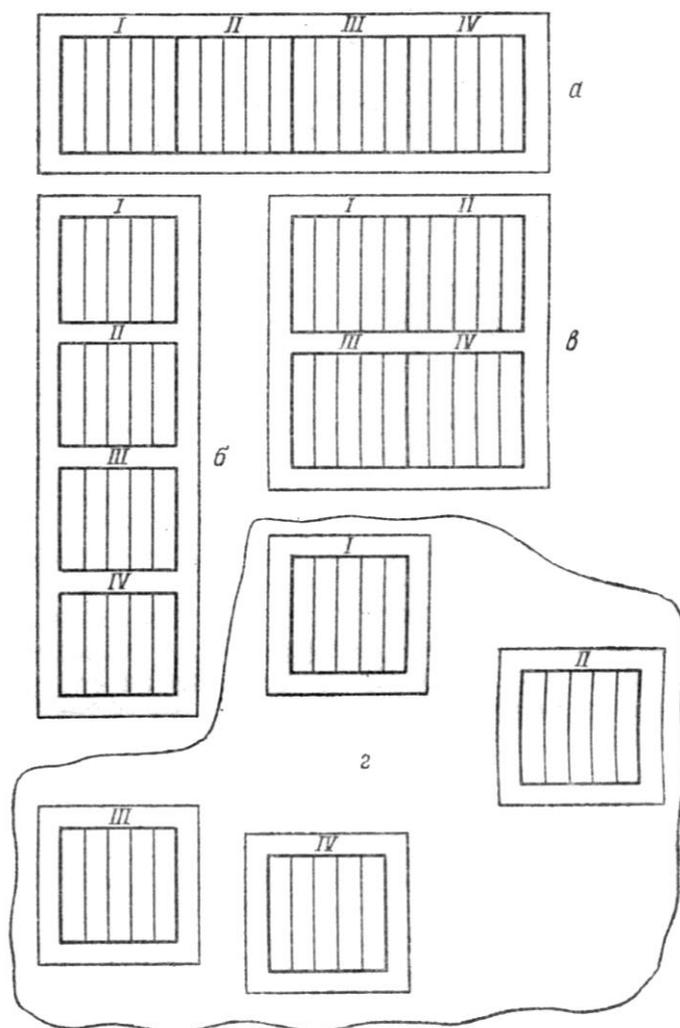


Рис. 32. Способ размещения на участке опыта с 4-мя повторениями и 5-ью вариантами:  
а, б, в – сплошное, з – разбросное

**Размещение вариантов в полевом опыте.** Расположение вариантов на делянках внутри повторности также важно для соблюдения требований к эксперименту. Наиболее удачным можно считать такое их расположение, при котором достигается наиболее высокая точность опыта. Различают стандартное, систематическое и случайное (рэндомизированное) размещение (рис. 33; Доспехов Б.А., 1979).

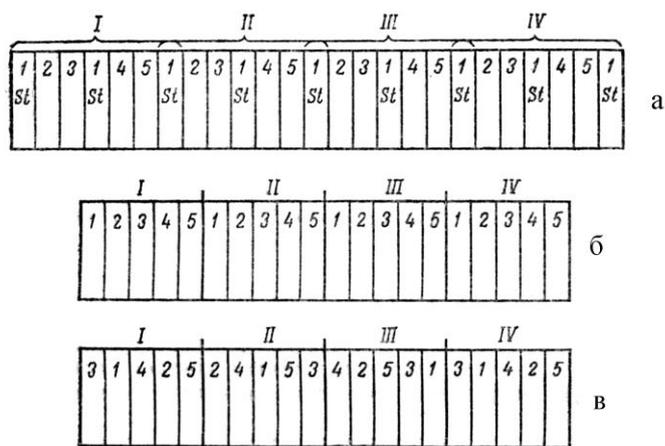


Рис. 33. Размещение 5 вариантов по делянкам 4-х повторений:

а – стандартное, б – систематическое; в – рендомизированное

**Стандартные** методы расположения характеризуются увеличенным числом контрольных (стандартных) вариантов в каждом повторении и способом вычисления прибавок. Стандартные методы очень просты и были предложены в качестве способа устранения влияния пестроты почвенного плодородия (рис. 34; Щерба С.В., Юдин Ф.А., 1975).

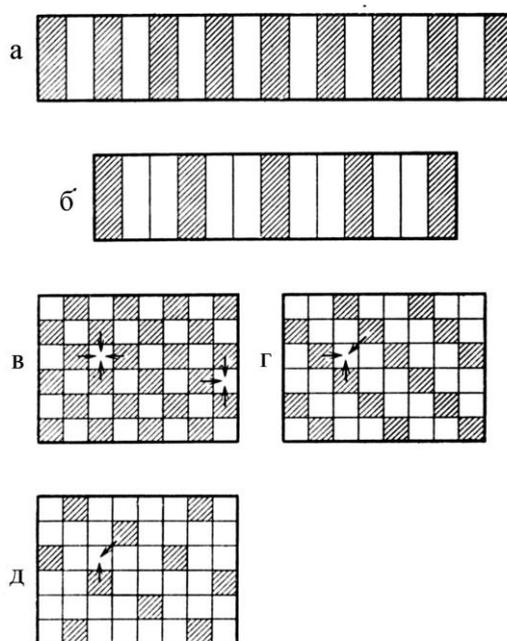


Рис. 34. Схемы стандартных способов расположения контрольных (стандартных) и опытных вариантов (заштрихованные клетки) на делянках опыта:  
а – ямб-метод; б – дактиль-метод; в – в шахматном порядке; г – метод измерительных делянок; д – по ходу шахматного коня

Различают несколько стандартных методов расположения вариантов на делянках повторения. Если контрольные (стандартные) делянки размещены через одну изучаемую делянку, то такой метод называют *ямбическим* или ямб-методом; через две – *дактилическим* или дактиль-методом. В этих методах прибавки урожая вычисляют для каждой изучаемой делянки, сравнивая со своим контролем, который определяется как среднее из двух соседних контролей для ямб-метода, или по интерполяции между соседними контролями для дактиль-метода.

При многорядном расположении опыта контрольные делянки размещают в *шахматном* порядке. В этом случае контроли (стандарты) размещены в ряду через одну делянку и сдвинуты на одну в каждом следующем ряду. Шахматный способ расположений дает очень высокую точность определения прибавок, так как каждая изучаемая делянка сравнивается со средним из четырех или трех контролей. Этот прием чаще используют в мелкоделяночных опытах, потому что он требует значительного числа добавочных делянок. *Метод измерительных делянок* Гольстмарка и Ларсена отличается от шахматного расположения тем, что в каждом ряду контроль (или стандарт) помещен через две изучаемые делянки. Сравнение ведут со средним из трех соседних контролей, два из которых соприкасаются с изучаемой делянкой сторонами, а третий – лишь углом. Следует отметить еще способ размещения повышенного числа контролей при многорядном расположении опыта, по *ходу шахматного коня*. Сравнение можно вести со средним из двух соседних контролей – один прилегает стороной, а другой соприкасается углом. При этом способе площадь, занятая дополнительными контролями, значительно меньше.

Все описанные методы расположения повышенного числа контролей могут быть использованы как для стандартного вычисления прибавок путем сравнения со средним соседних контролей, так и для обычного вычисления прибавок сравнением каждого варианта со средним контролем для всего опыта. Однако экспериментально было доказано, что сравнение с рядом расположенным контролем не всегда увеличивает точность оценки. Недостатком такого размещения вариантов является снижение точности при сравнении вариантов, расположенных далеко друг от друга, и существенное увеличение площади под опытом. Так, стандарты, размещенные через два опытных варианта, занимают 40 % площади под опытом, а через один – 50 %. В силу отмеченных недостатков стандартные методы не имеют широкого применения в агрохимических полевых опытах.

Систематическое расположение предусматривает неизменное чередование вариантов во всех повторениях опыта. Способ размещения вариантов по этому методу определяется расположением повторений. При их размещении на опытном участке в один ярус используется наиболее простой способ – последовательный. Последовательность расположения вариантов определяется чаще всего организационно-техническими факторами – удобство обработки почвы, внесения удобрений, посева, ухода за растениями, уборки. При размещении повторений в нескольких ярусах варианты чаще всего размещают ступенчато; они идут в одном направлении, но в каждом следующем ряду начало схемы сдвигается на одну, две или больше делянок, а конец ее переносится в начало ряда. При любых способах размещения вариантов нельзя допускать территориального сближения одноименных делянок.

Главное достоинство систематических методов – простота, а недостаток – возможные и часто непредвиденные искажения эффектов по вариантам, ненадежность в статистической оценке ошибки опыта. При систематическом размещении вариантов имеется большая вероятность корреляции между системой изменения плодородия и системой расположения вариантов, что увеличивает вероятность накопления систематических ошибок. При этом одни варианты будут находиться внутри повторения на делянках, расположенных рядом или близко, а другие – на делянках, удаленных одна от другой, что приводит к неравноточным сравнениям вариантов друг с другом и контролем. Это несколько сглаживается при многорядном расположении повторений и ступенчатом размещении вариантов внутри повторений, т. к. систематическое изменение плодородия внутри отдельных повторений опыта не будет коррелировать с системой расположения вариантов. Главным недостатком систематических методов размещения делянок является существенное различие между теоретической и исчисленной ошибкой опыта.

Полноценно статистически доказать существование различий по вариантам можно лишь при *случайном (рендомизированном) распределении делянок* по опытному участку. Это обусловлено тем, что методы статистического анализа базируются на принципе случайного отбора. *Рендомизированное* размещение предусматривает распределение вариантов на делянках опыта по жребию или же по специально составленным таблицам случайных чисел. При таком размещении каждый вариант имеет равный шанс попасть на любую делянку.

При рендомизации значительно меньше возможностей корреляции между изучаемыми в опыте вариантами, что делает более равноточными их попарные сравнения. При систематическом изменении плодородия почвы рендомизация уравнивает его влияние внутри каждого повторения и тем самым предотвращает накопление систематических ошибок, превращая их в случайные.

Еще процитируем аргументы Дж. У. Снедокора (1961) в пользу рендомизированного размещения делянок в опыте. Он пишет: «Экспериментатор, вооруженный достаточно совершенной техникой эксперимента, знающий и учитывающий внешние условия проведения опыта, часто уверен в том, что все нити у него в руках и что он способен определить и учесть все существенные элементы и составные части эксперимента. Однако если он думает так, то глубоко ошибается, ибо необходимость и случайность, как известно, составляют диалектическое единство, и поэтому участие случайности во всяком сколь угодно точном и хорошо продуманном эксперименте неизбежно. Поэтому правильная организация эксперимента возможна только тогда, когда, кроме планирования и учета контролируемых элементов эксперимента, учитываются и по-своему «планируются» и элементы эксперимента, связанные со случайностью. Рендомизация является этим «планированием» эксперимента в части, касающейся элементов опыта, имеющих случайный характер, введением этих элементов в определенные рамки. Следовательно, рендомизация – это отнюдь не подчинение экспериментатора воле случая, а, наоборот, подчинение случая воле экспериментатора, при котором случайность, оставаясь сама собой, т. е. обусловленной неконтролируемой причинностью, становится в то же время в известном смысле контролируемой».

При случайном размещении вариантов различают *метод неорганизованных повторений* (полную рендомизацию) и *метод рендомизированных повторений*.

*Метод неорганизованных повторений* (полная рендомизация), т. е. неограниченная рендомизация условий эксперимента. Эффективен при незначительной почвенной пестроте и небольшом числе вариантов (2–4), когда есть основания не вводить в опыт контроль. Отсутствие контроля возможного закономерного варьирования плодородия почвы компенсируется увеличением числа степеней свободы для ошибки.

По мере увеличения числа делянок в опыте расстояния между сравниваемыми вариантами, а вследствие этого и пестрота плодородия почвы, возрастают, что снижает эффективность метода неорганизованных повторений.

*Метод рендомизированных повторений* – заключается в рендомизации вариантов внутри каждого повторения, т. е. в повторности варианты по делянкам располагают в случайном порядке по жребью. В пределах каждой повторности почвенные условия должны быть по возможности однородными. Желательно чтобы площадь, занимаемая повторением, была близка к квадрату, что позволит улучшить сравнимость вариантов при любом размещении делянок в пространстве.

*Метод латинского квадрата* состоит в том, что число повторений ( $n$ ) в опыте равно числу вариантов, а общее число делянок равно  $n^2$ . При размещении опыта методом латинского квадрата опытный участок квадратной или прямоугольной формы разбивают на горизонтальные и вертикальные ряды по числу вариантов (рис. 35). В горизонтальном и вертикальном ряду помещают полный набор всех вариантов; это возможно только тогда, когда одноименные делянки не повторяются дважды ни в горизонтальном, ни в вертикальном ряду. Внутри этих рядов варианты на делянках расположены по жребью; здесь мы имеем рендомизацию с двумя ограничениями. В пределах латинского квадрата возможно и систематическое ступенчатое размещение вариантов на делянках. Метод латинского квадрата используется при числе вариантов от 4 до 7. Если вариантов больше, постановка опытов таким методом становится затруднительной и ее можно заменить латинским прямоугольником.

1	2	3	4	5	6
2	3	4	5	6	1
3	4	5	6	1	2
4	5	6	1	2	3
5	6	1	2	3	4
6	1	2	3	4	5

а

3	5	2	1	4	6
2	6	5	4	1	3
1	4	6	3	2	5
6	2	4	5	3	1
4	1	3	6	5	2
5	3	1	2	6	4

б

Рис. 35. Размещение вариантов опыта методом латинского квадрата  
а – систематическое; б – рендомизированное

Метод латинского прямоугольника предусматривает, что число вариантов в опыте кратно числу повторений, т. е. число вариантов должно без остатка делиться на число повторений. Частное от их деления дает число делянок, на которое необходимо расщепить столбец соответствующего латинского квадрата. Варианты по делянкам рендомизируются так, чтобы ряд и столбец имели полный набор вариантов (рис. 36; Доспехов Б.А., 1979). Приемы статистической обработки результатов опыта с размещением вариантов методом латинского квадрата и прямоугольника позволяют в значительной степени устранить влияние систематического изменения плодородия почвы в двух взаимно перпендикулярных направлениях и снизить ошибку опыта.

Метод расщепленных делянок – это эксперимент, в котором делянки одного опыта используются как блоки для другого (рис. 37; Доспехов Б.А., 1979). Таким методом закладывают многофакторные или многолетние (длительные) опыты. Расщепленные делянки используются также в случаях, когда необходимо в стационарном опыте ввести дополнительные варианты, сохранив все первоначальные. Сущность метода заключается в том, что опыт разбивается на делянки 1-го порядка (например, обработка почвы или предшественник); затем каждая делянка 1-го порядка разбивается на делянки 2-го порядка (например, срок применения удобрения – некорневая подкормка в фазе кущения и выметывания), делянка 2-го порядка разбивается на делянки 3-го порядка (нормы удобрений). Варианты по главным делянкам и субделянкам размещают рендомизированно. При этом варианты главных делянок рендомизируются самостоятельно по каждому повторению, а варианты делянок 2-го и последующего порядков рендомизируются отдельно для каждой главной делянки заново в каждом повторении.

<i>15 вариантов (3×3×5)</i>															
	<i>I</i>					<i>II</i>					<i>III</i>				
<i>I</i>	3	13	12	14	11	2	1	5	15	6	7	9	4	10	8
<i>II</i>	9	10	4	8	7	13	14	3	12	11	5	6	1	15	2
<i>III</i>	1	5	6	15	2	8	7	4	9	10	14	12	3	13	11

<i>18 вариантов (3×3×6)</i>																		
	<i>I</i>						<i>II</i>						<i>III</i>					
<i>I</i>	12	2	9	5	8	7	6	13	3	15	10	1	14	17	4	11	16	18
<i>II</i>	4	14	16	18	3	10	17	8	16	12	2	11	6	9	1	5	7	13
<i>III</i>	13	1	17	16	11	6	5	14	7	4	9	18	8	3	10	2	12	15

<i>16 вариантов (4×4×4)</i>																
	<i>I</i>				<i>II</i>				<i>III</i>				<i>IV</i>			
<i>I</i>	7	9	12	3	15	16	1	6	2	4	14	13	11	8	5	10
<i>II</i>	8	6	5	14	11	2	4	7	12	3	1	10	9	16	13	15
<i>III</i>	2	11	10	4	5	13	9	8	6	15	16	7	3	14	12	1
<i>IV</i>	15	1	16	13	3	10	12	14	11	8	5	9	2	7	4	6

<i>20 вариантов (5×5×4)</i>																				
	<i>I</i>				<i>II</i>				<i>III</i>				<i>IV</i>				<i>V</i>			
<i>I</i>	10	2	1	14	9	20	3	15	13	5	8	19	16	4	18	11	7	6	17	12
<i>II</i>	3	20	15	9	8	19	13	5	17	7	12	6	2	1	14	10	11	16	18	4
<i>III</i>	13	5	19	8	16	4	11	18	20	9	15	3	12	6	7	17	14	2	10	1
<i>IV</i>	4	11	16	18	6	12	17	7	14	1	2	10	15	20	9	3	13	19	8	5
<i>V</i>	6	12	7	17	2	1	14	10	18	11	4	16	19	8	13	5	20	15	9	3

Рис. 36. Схема размещения опытов с 15–20 вариантами методом латинского прямоугольника

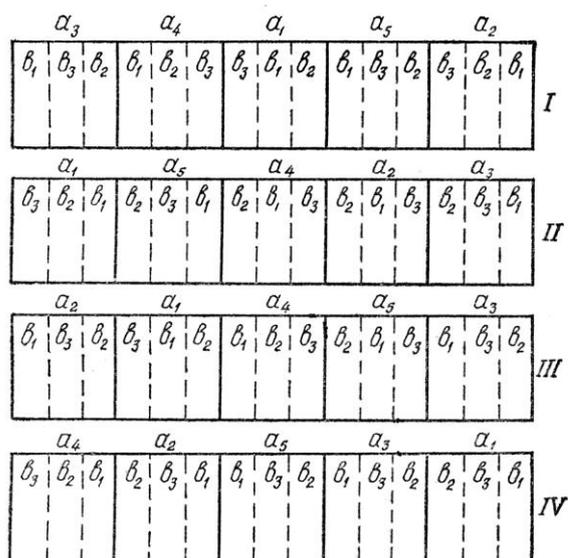


Рис. 37. Схема размещения двухфакторного опыта с 15 вариантами (5x3) методом расщепленных делянок, повторность 4-кратная

Постановка опытов методом расщепленных делянок диктуется и техническими условиями проведения эксперимента. Так, при изучении эффективности норм внесения азотных удобрений, на различном фоне фосфорно-калийных удобрений на делянках первого порядка создается фон – P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>, P<sub>60</sub>K<sub>45</sub>, P<sub>90</sub>K<sub>60</sub>, а затем на каждом фоне вносят азотные удобрения. Технически осуществить такую методику намного легче, чем методом полной рендомизации. Нелишне отметить, что и точность такого сравнения будет несколько выше, т. к. сравниваемые делянки будут располагаться ближе друг от друга, что повышает вероятность их размещения на близкой по плодородию почве.

Схема расщепленных делянок или ее разновидность — схема расщепленных блоков часто используется для факториальных экспериментов, в которых природа экспериментального материала или операции, связанные с его проведением, затрудняют возможность одинакового воздействия на все сочетания факторов, или в тех случаях, когда исследователь желает увеличить точность оценки одних эффектов, жертвуя точностью оценки других. Основу схемы расщепленных делянок составляет размещение вариантов одного фактора по главным делянкам (делянкам 1-го порядка), расположенным, в свою очередь, по схеме полной рендомизации, рендомизированных блоков или латинского квадрата. Варианты другого фактора размещаются по субделянкам (делянки 2-го порядка) каждой главной делянки. Схема обычно жертвует точностью оценки средних эффектов вариантов главных делянок. Часто она повышает точность сравнения средних эффектов вариантов, расположенных по субделянкам, и при наличии взаимодействия сравнения эффектов вариантов субделянок одной главной делянки. Это связано с тем, что экспериментальная ошибка для главных делянок обычно больше, чем экспериментальная ошибка, используемая для сравнения вариантов субделянок. Обычно величина ошибки для вариантов субделянок меньше, чем ошибка, получаемая в случае размещения всех сочетаний вариантов по схеме рендомизированных блоков.

**Повторение опыта во времени и увязка его с севооборотом.** Как уже отмечалось, полевой опыт с удобрениями, кроме повторности в пространстве, должен иметь повторность во времени. В связи с этим возникает проблема ежегодно добиваться одинаковой последовательности чередования культур. Подобные опыты, как правило, ставят в определенном севообороте. Для этого в научных учреждениях создается типичный севооборот с большими размерами полей, на которых размещают одновременно несколько опытов. Каждый опыт ежегодно ставят на новом поле в соответствии с чередованием культур. Основной недостаток способа – удаленность отдельных клиньев и культур каждого опыта друг от друга; это снижает сравнимость данных за разные годы. Однако при этом способе обработку почвы, борьбу с вредителями и сорняками, а также другие общие агроприемы, не являющиеся предметом изучения, можно проводить механизировано, что дает экономию рабочей силы и времени. Для устранения недостатка такого севооборота был предложен способ, при котором для каждого многолетнего опыта выделяют специальный севооборот. Это создает большую однородность всех клиньев и позволяет лучше приспособить севооборот к особенностям опыта. Однако такой способ вызывает некоторые затруднения с обработкой отдельных полей. Если в опыте не исследуются приемы обработки почвы, то С.В. Щерба и Ф.А. Юдин (1974) предлагают комбинировать описанные способы. При такой комбинации для нескольких опытов отводят один опытный севооборот с полями удлиненной формы, расположенными параллельно друг другу. Поля отдельных опытов проходят в перпендикулярном направлении через все поля севооборота. Комбинированный способ дает возможность проводить одновременно одинаковую механизированную обработку одноименных клиньев севооборота всех опытов. В то же время он территориально объединяет все клинья каждого опыта, что создает лучшую сравнимость его данных за разные годы из-за их большей однородности.

Развертывание севооборота, пригодного для проведения опытов с удобрениями, должно проходить постепенно. Ежегодно в опыт вводится новый клин, начиная каждый год с определенной культуры. Клин в севообороте может быть столько, сколько в нем полей (и культур), но не менее 3–4. Это особенно важно при постановке опытов по изучению различных вариантов системы удобрения в севообороте, т. к. наложение отдельных удобрений должно идти в строго определенной последовательности, что обусловлено необходимостью изучения эффективности как отдельных элементов (изучаемых вариантов) системы удобрений, так и различных ее вариантов в целом за ротацию.

**Закладка и проведение полевых опытов.** Полевой опыт дает объективную оценку изучаемым вариантам в том случае, если эксперимент проведен с соблюдением всех требований методики. Ошибки технического характера, допущенные на любом этапе экспериментальной работы, нарушают сравнимость вариантов и исключают их эффект. Эти ошибки не могут быть исправлены никакой математической обработкой и, следовательно, могут полностью обесценить полученные результаты. Поэтому важнейшим условием получения точных данных, пригодных для объективной оценки действия изуча-

емых в опыте факторов (агротехнических приемов или сортов), является соблюдение всех технических правил проведения эксперимента в поле.

**Разбивка опыта.** Прежде чем приступить к разбивке участка для опыта, исследователь на основании данных уравнильных и рекогносцировочных посевов, учитывая площадь и размер опытного участка, выбирает посевную площадь делянки и расположение повторений. Прежде чем приступить к разбивке опыта в натуре, необходимо нанести намеченное размещение клиньев севооборота и делянок опыта на схематический план участка и уже по нему вести разбивку.

Для разбивки участка потребуются эккер, стальная мерная лента, сажень, вешки, колья различной величины, мотыга, молоток, шнур, карандаш.

Разбивку участка начинают с обозначения общего контура опыта. Проводят ее с особой тщательностью, т. к. установленные при ней точки будут служить исходными при всех последующих разбивках. Допустимая невязка при разбивке общего контура не должна превышать 5–10 см в зависимости от общей длины периметра.

Разбивку производят следующим образом. Отступают от краев участка на расстояние защитной полосы и закрепляют кольшком левый угол контура. От него провешивают горизонтальную линию, натягивают шнур и делают мотыгой борозду. Отмеряют стальной мерной лентой длину контура опыта и отмечают его конец кольшком. От обоих концов в перпендикулярном направлении провешивают вертикальные линии, на которых отмеряют ширину контура опыта. Концы закрепляют кольями. При правильной отбивке углов в четырех точках длина противоположных сторон контура должна быть одинаковой. Допустимое отклонение – до 10 см на 100 м. Если оно больше, проводят повторную отбивку углов. Успех разбивки зависит от точности построения прямых углов. Отбивка прямых углов чаще всего производится эккером, причем восьмигранный эккер удобнее в работе и точнее, чем зеркальный. Построить прямые углы можно и с помощью мерной ленты и шнура. Такие способы менее точны, и рекомендовать их не следует, однако знать о них исследователь.

С помощью мерной ленты разбивку опытного участка осуществляют следующим образом. Провешивают горизонтальную линию, на которой отмеряют длину контура участка под опытом. Концы ее закрепляют кольями: на рисунке 38 они обозначены точками А и В. От точки А в перпендикулярном направлении отмеряют 3 м (точка  $C_1$ ), а по линии АВ – 4 м (точка  $B_1$ ). Если угол прямой, то в соответствии с теоремой Пифагора (квадрат гипотенузы равен сумме квадратов катетов), прямая линия, соединяющая точки  $C_1$  и  $B_1$ , должна составлять 5 м. В противном случае линию АС передвигают влево или вправо до тех пор, пока не будет установлен прямой угол. Затем провешивают вертикальную линию контура (АС). Точно так же отбиваются остальные три угла.

Построить прямой угол можно и с помощью шнура. Провешив лцевую сторону опыта АВ, ставим кольшек в точке А, по провешенной линии АВ в обе стороны от точки А отмеряем по 6 м и ставим кольшки. Берем шнур длиной 20 м (или два по 10 м) и точно в середине (10 м) привязываем шпагат. Затем концы шнура привязываем к кольшкам. Натягиваем

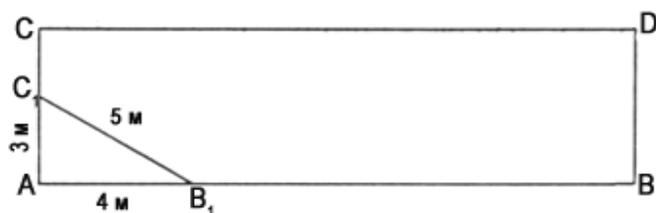


Рис. 38. Построение прямого угла с помощью мерной ленты

шнур в направлении стороны, противоположной  $AB$ , и в образовавшемся углу, в вершине его, ставим кольцо  $A_1$ , который определяет направление линии  $AC$  под прямым углом. Для большей точности прямой угол отбивают и в противоположном направлении, где ставят вторую вешку  $A_2$ . Если угол отбит правильно, то точки  $A, A_1, A_2$  должны располагаться по прямой линии под прямым углом к  $AB$  (рис. 39).

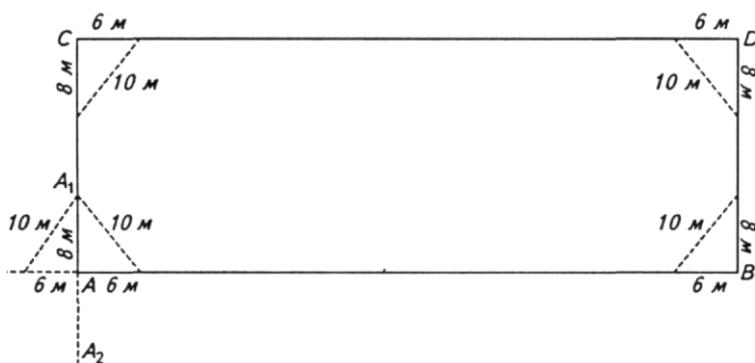


Рис. 39. Построение прямых углов с помощью рулетки и 20-метрового шнура

После отбивки общего контура приступают к разбивке участка опыта на делянки. Эта работа проводится мерной лентой или рулеткой. При расположении опыта в один ярус по обеим сторонам участка отмеряют ширину делянок и отмечают их границы кольшками. Ширина последней делянки должна оказаться одинаковой с остальными, в противном случае работу нужно проделать заново. При 2-х и более ярусном расположении сначала размечают ярусы, включая и дорожки между ними, если они предусмотрены. Разбивку на делянки можно производить для каждого ряда в отдельности или же отложить их ширину только по крайним линиям, а на промежуточных границах или дорожках расставить кольшки, провешивая прямые линии с одной стороны на другую. Если опыт очень большой и вешки на контурных линиях его плохо видны, приходится ставить промежуточные вешки или натягивать шнур и по ним отмерять ширину делянок. Если в конце разбивки опытного участка получилась незначительная погрешность, то ее нужно равномерно распределить по всей длине опыта, т. е. раскидать на все делянки.

Фиксацию границ делянок проводят с помощью кольшков длиной 50–60 см, вбиваемых в почву. Затем делянки нумеруются. Номер делянки пишут

простым карандашом на крайних левых кольшках. Отсчет ведут слева направо. При расположении опыта в несколько ярусов нумеровать делянки в каждом ярусе также следует слева направо. Это значительно уменьшит вероятность ошибки при рассеве удобрений на делянках. Хотя наблюдения за опытом удобнее вести, если делянки пронумерованы челночным способом.

При закладке стационарного опыта в севообороте сущность работы остается той же, но сначала отбивают общий контур всего севооборота, затем его разбивают на клинья с выделением дорожек между ними и, наконец, каждый севооборотный клин разбивают на делянки. Если опыт не закладывают сразу на всех клиньях севооборота, то на делянки разбивается только тот клин, на котором опыт закладывается в данном году.

**Закрепление границ опыта.** Сделанную разбивку необходимо закрепить, чтобы можно было восстановить границы делянок на тот случай, если угловые (временные) колья будут выпаханы или сдвинуты при обработке. Для этого основные линии участка опыта (по крайней мере – две) продолжают по прямой в обе стороны за пределы обрабатываемой площади (на края канав, обочины дорог и т. п.) и на этих продолжениях устанавливают уже постоянные колья (реперы, фиксировочные колья). Расстояния от постоянных (фиксировочных) до угловых временных колеьев тщательно измеряют и записывают с тем, чтобы всегда можно было восстановить утраченные колья. Постоянные колья могут быть сделаны из самого различного материала. Чаще всего для них употребляют толстые деревянные колья с перекладиной или крестовиной внизу, зарываемые до 50–75 см в землю. Могут быть также использованы отрезки железных труб, рельсов, каменные столбики. Очень удобны в качестве реперов металлические трубы с приваренной на них проволокой длиной 60 см. Трубы вкапывают в почву на глубину 30 см, а концы проволоки находятся на поверхности. Это не мешает обработке почвы, проезду техники. Однажды зафиксированные границы опытных полей позволяют избежать затрат на их восстановление в осеннее или весеннее время при закладке опыта с очередной культурой.

В многолетних опытах часто фиксируют не только их границы, но и границы отдельных делянок, что значительно облегчает повторную разбивку участка. Для этого вдоль основной стороны опыта устанавливают угловые прочные кольшки с выносом их на необрабатываемую полосу (дорогу) между полями. Кольшки забивают почти до уровня поверхности почвы и сверху прибавляют гвоздями металлическую бляшку с номером делянки.

**Внесение удобрений в почву** – один из ответственных моментов закладки полевого эксперимента. Удобрения в одном опыте необходимо внести в течение одного дня. Главное требование к этой операции – равномерное распределение по площади делянки точно соответствующего норме количества удобрения. Это важно не только в опытах, где удобрение является изучаемым фактором, но и где оно служит фоном для других сравниваемых приемов. Неправильно взвешенная навеска или неравномерное распределение ее на делянке приводят к искажению истинного урожая, появлению ошибки и снижению точности опыта. Сделанная при внесении удобрений ошибка впоследствии никак не может быть исправлена, а большей частью и не бывает обнаружена.

Для эксперимента используются виды и формы удобрений, соответствующие ГОСТам. Нормы удобрений указываются в расчете на содержание основного питательного вещества (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O). Для расчета количества удобрений на делянку (X) в килограммах или, если делянка 50 м<sup>2</sup> и менее, в граммах пользуются формулами:

$$X = \frac{a \cdot c}{100 \cdot b}, \text{ кг} \quad \text{или} \quad X = \frac{10 \cdot a \cdot c}{b}, \text{ г}$$

где: *a* – норма питательного вещества в кг/га;  
*b* – содержание питательного вещества в удобрении, %;  
*c* – площадь делянки, м<sup>2</sup>.

Навеску менее 1 кг отвешивают с точностью до 1 г, от 1 до 10 кг – с точностью до 10 г, выше 10 кг – с точностью до 100 г. В зависимости от величины навески взвешивание производится на различных весах. Навески до 1 кг взвешивают на технико-аналитических, а свыше 1 кг – на технических весах.

Навески берут в лаборатории заблаговременно, но гигроскопичные удобрения (например, аммонийная селитра) не должны храниться в развешенном виде больше 2–3 дней. Все порошковидные удобрения перед развеской должны быть тщательно измельчены и просеяны через сито с отверстиями 3 мм, а гранулированные – через сито 5 мм. Развешивают удобрения в бумажные пакеты, полиэтиленовые мешочки или мешки, которые выбрасываются после однократного употребления. На пакетах должны быть написаны вид удобрения и величина навески, а в мешки вложена и привязана к ним соответствующая этикетка.

Если схема опыта предусматривает внесение 2–3 видов удобрений, следует учитывать их слеживаемость и изменение физико-химических свойств. Если удобрения можно смешивать, то навески разных видов удобрений объединяют в один пакет. За 2–3 дня до внесения можно брать навески аммонийной селитры, сульфата аммония, мочевины и смешивать их с суперфосфатом и калийными удобрениями. Кальциевая и натриевая селитры из-за большой сорбционной способности водяных паров при длительном хранении могут слеживаться, так же как и смеси с ними.

Подготовленные навески, для удобства группируют в соответствии со схемой опыта. Для этого их можно связывать по делянкам, нанизывать на нитку, укладывать в большие мешки или в ящики. В таком состоянии их доставляют к полю.

Перед внесением удобрений границы делянок обозначают натягиванием шнура, шпагата или тонкой веревки. Если делянок много, в целях экономии шпагата можно по натянутому шпагату провести на почве борозды. Пакеты с навесками удобрений раскладывают по всем делянкам опыта, после чего проверяется правильность раскладки. Число навесок должно точно соответствовать количеству делянок; при этом условии ошибка в раскладке сейчас же обнаруживается недостатком или, наоборот, излишком пакета с удобрением.

Внесение удобрений требует определенного навыка. Чтобы добиться равномерного распределения их по делянкам, ручной рассев удоб-

нее производить из круглых или продолговатых железных тазов. При небольшой массе удобрения рекомендуется предварительно смешивать навеску с землей, взятой с той делянки, для которой предназначается удобрение. При этом желательно доведение всех удобрений до одинакового объема, что позволяет сеятелю лучше приспособиться к равномерному высеву на делянку. Чтобы равномерно распределить удобрение по площади делянки, следует выполнить некоторые рекомендации: распределять его по делянке в два приема, проходя ее вдоль и поперек; рассеивать надо так, чтобы иметь остаток удобрений, который всегда можно разбросать по всей делянке; в случае нехватки удобрений на какую-то часть делянки должна считаться испорченной. Если делянка большая, то лучше разбить ее и, соответственно, навеску на несколько равных частей, и вносить соответствующие доли удобрения на каждую часть в отдельности.

При внесении на делянку нескольких видов удобрений, если допустимо их смешивание, лучше вносить их в смеси, т. к. при этом лучше обеспечивается одинаковое соотношение питательных веществ на всей площади делянки. Если смешивание недопустимо, каждый вид удобрения рассеивается отдельно.

Если площадь делянки достаточно большая и имеется небольшая туковысеивающая сеялка, удобрения следует вносить ею. Механизированное внесение обеспечивает более равномерное распределение, а кроме того устраняет необходимость в предварительной развеске удобрений для каждой делянки, т. к. следует лишь точно настроить сеялку на определенный высев. Планируя механизированное внесение удобрений, следует предусмотреть расположение опытных делянок в один ярус, их форма должна быть вытянутой, а ширина – кратной ширине захвата сеялки. При механизированном внесении удобрений вначале засевают все повторные делянки одним удобрением (или одной комбинацией удобрений), сеялку тщательно очищают от остатков этого удобрения, производят установку на новую норму и приступают к высеву следующего удобрения и т. д. Еще экономичней внесение удобрений комбинированными сеялками.

Количество органических удобрений (навоз, компосты и др.) на делянку ( $X$ , кг) рассчитывают, исходя из рекомендуемой нормы на 1 га, но правильнее вносить их по расчету на сухое вещество по формуле:

$$X = \frac{a \cdot c}{100 \cdot b}, \text{ кг}$$

где  $a$  – норма удобрения в кг;  
 $c$  – площадь делянки в м<sup>2</sup>;  
 $b$  – содержание действующего вещества, %.

Расчеты по сухому веществу делаются так же, как и по содержанию питательных веществ для минеральных удобрений. В некоторых опытах требуется установление нормы по содержанию соответствующего питательного вещества.

Пробы на влажность и содержание питательных элементов берут за 2–3 дня до внесения удобрений в строгом соответствии с требованиями

нормативных документов. Знание химического состава органического удобрения необходимо не только для установления нормы, но и в дальнейших расчетах при определении выноса, коэффициентов использования элементов, изменений почвенного плодородия. Если анализ нужен не для расчета навески навоза на делянку, а для каких-либо последующих расчетов, пробы лучше брать в момент самого взвешивания из каждого воза или носилок, соединяя затем эти отдельные пробы и отбирая из них средние. Перед взятием навесок органические удобрения должны быть тщательно перемешаны, для того чтобы иметь однородную массу как по содержанию неразложившихся органических веществ, так и питательных элементов.

Взвешивание органических удобрений проводят на больших площадочных весах, приспособив для этих целей деревянные ящики или носилки. Как и при рассеве минеральных удобрений, большое внимание должно быть уделено равномерному их внесению. Сыпучие органические удобрения (торф, компосты) вносят путем разбрасывания лопатами, а полуперепревший навоз – вилами. Внесение органических удобрений с помощью навозоразбрасывателей допускается в опытах с большой площадью делянок (500 м<sup>2</sup> и более).

При закладке опытов по изучению некорневых подкормок удобрения вносятся чаще всего вручную, а на производственных опытах – с применением авиации. При использовании авиации необходимо соблюдать соответствующие предписания и рекомендации.

**Обработка опытных делянок.** Удобрения, применяемые под основную обработку почвы, заделывают плугом, культиватором, дисковыми боронами одновременно на всем опытном участке в день внесения удобрений. Недопустимо оставлять удобрения, особенно органические, на поверхности почвы даже на 1 сутки. Обработка опытных делянок проводится с соблюдением всех агротехнических требований к выполняемым операциям. Особое внимание уделяется их однородности на всех делянках опыта. Для этого все операции должны быть выполнены одновременно, одними и теми же орудиями на всех делянках опыта. Глубина заделки удобрений, прикатывание почвы или боронование так же должны быть одинаковыми. При обработке почвы необходимо избегать свальных и развальных борозд на делянках, которые следует располагать за пределами опытного участка или по границам ярусов так, чтобы они входили в защитные полосы, и их можно было исключить из общей площади делянок.

Если обработка почвы или способ заделки удобрений не являются изучаемым фактором, то одновременно обрабатывается весь участок под опытом или севооборотный клин. Обработки проводят поперек делянок, чтобы огрехи, разница в глубине отдельных борозд и другие подобные дефекты не нарушили сравнимости между ними. В опытах допускается только загонная пахота, а повороты обрабатывающих орудий должны проводиться за пределами опытного участка. В стационарных опытах повороты проводят на дорогах, отделяющих поля севооборотов, а в общих посевах – за пределами опытного участка. Для этого по коротким концам участков или клиньев должны оставаться свободные дорожки не менее 10–12 м. Не допускается никаких остановок агрегатов в пределах опыта.

При вытянутой форме делянок обработка почвы производится, как правило, поперек делянок, т. е. по длине участка. Однако при этом необходимо, чтобы пласт отваливался при первой обработке в одну, а при следующей – в обратную сторону. При квадратной форме делянок и многорядном их расположении обработку почвы целесообразно производить в обоих взаимно перпендикулярных направлениях. Для того чтобы свалы и развалы не попадали на учетные делянки, производят одновременно вспашку двух рядов делянок, пригоняя свал или развал на их границу. При достаточной ширине защитных полос (не менее 2 м) и аккуратной работе свал или развал не захватывают учетную часть делянок. Однако лучше для этой цели посередине опытного участка сделать специальную дорожку шириной 1–2 м. Вспашки участка всвал и вразвал должны чередоваться между собой. При однорядном расположении делянок или многорядном, но при малой величине делянок и отсутствии средней дорожки, на опытном участке вспашку нужно производить в одну сторону.

**Посев и посадка в опытах.** Посев (посадку) необходимо провести в течение одного дня и с большой тщательностью. Сеялки и сажалки должны быть отрегулированы и установлены на норму высева и посадки. Норму высева рассчитывают, учитывая рекомендованную густоту стояния растений, массу 1000 семян, их всхожесть и хозяйственную годность. Для проведения опытов рекомендуется использовать только высококачественный посевной материал.

Посев (посадку) на опытных участках производят обычно через все делянки повторности, перпендикулярно их длинным сторонам, чтобы случайные дефекты, например, забившийся сошник, влияли одинаково на все варианты опыта. Включение и выключение сеялок производят за пределами собственно опыта, не ближе 1 м от границы (линии угловых кольев). Чтобы посев был ровным, первый проход сеялки делают либо по шнуру, либо по предварительно сделанной по шнуру бороздке. Недопустимы остановки сеялки на делянках. Разумеется, это относится к опытам, в которых норма высева семян и сорт культуры не являются изучаемым фактором.

При изучении норм гранулированных удобрений их внесение и посев семян производят одновременно комбинированными сеялками. В таком случае каждая делянка засеивается отдельно, т. е. сеялка движется вдоль длины делянки. Нормы высева семян на всех делянках одинаковы, изменяются только нормы внесения удобрений. Поэтому удобно засеивать делянки на всех повторностях с первой нормой удобрения, а затем следующие. При выборе формы делянок для таких опытов необходимо, чтобы их ширина была равной ширине сеялки или нескольким проходам. Для исключения заездов на соседнюю делянку, трактор должен идти по натянутому шнуру. Включение и выключение высевающего аппарата проводят за пределами опытного участка, не ближе 1 м от границы.

Посев (посадку) проводят поперек делянок. На всех делянках необходимо обеспечить произрастание одинакового числа растений. Для этого ширина междурядий и расстояния между растениями в рядках подбираются таким образом, чтобы на делянку приходилось целое число рядков, борозд и кустов. Более удобно и методически правильнее длину и ширину делянки делать кратными стандартным расстояниям между растениями и рядами.

При изучении влияния подкормок посев удобно производить селекционными малогабаритными сеялками. При их использовании разбивка участка под опыт значительно упрощается. Отбивается только лицевая сторона опыта и перпендикулярно к ней провешивается и отмечается шпагатом или бороздой на почве правый край участка. Посев производится только в одном направлении. После завершения посева (посадки) производят обсев участка под опытом. Обсев не должен касаться опытных делянок, его проводят за их границами.

**Защитные полосы.** Чтобы добиться выравнивания условий произрастания растений, учет урожая ведется не со всей делянки, а лишь с ее части, называемой учетной площадью. Совершенно ясно, что условия произрастания растений на границе делянок несколько отличны от условий, наблюдаемых в ее середине. Происходит это вследствие того, что во время внесения удобрений, при их заделке и обработке почвы, посевах культур возможно частичное перемещение удобрений с одной делянки на другую. Перемещения удобрений особенно значительны при орошении. Кроме того, растения, произрастающие на краях делянок, могут своими корнями использовать питательные вещества соседней делянки. Особенно сильно действие так называемого краевого эффекта проявляется на делянках без внесения удобрения. Влияние краевого эффекта на общую урожайность делянки тем сильнее, чем меньше ее площадь. При больших площадях делянок действие краевого эффекта сглаживается и ошибка опыта снижается.

Защитные полосы отбивают по обе стороны границы делянок (рис. 40). Размеры защитных полос определяются не только возможным распространением краевого эффекта (обычно более высокий уровень питания распространяется не далее двух-трех крайних рядков для зерновых и одного рядка для пропашных культур, а перенос удобрений на границе двух делянок может захватывать более широкую полосу, особенно в многолетних опытах), но и обязательно необходимо учесть габариты агрегатов,

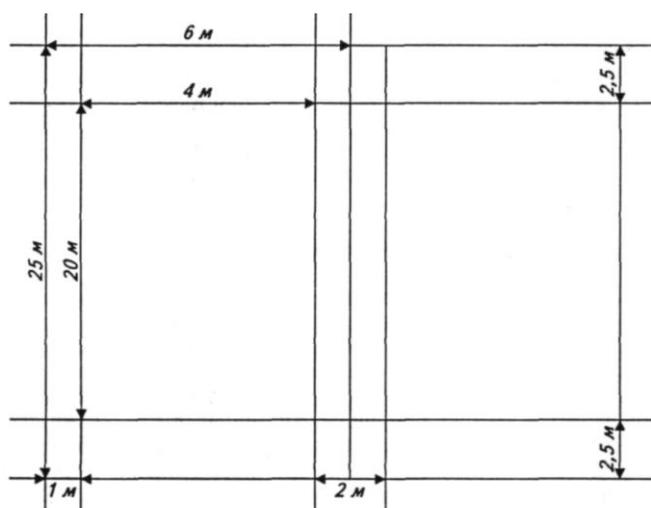


Рис. 40. Расположение защитных полос

используемых для внесения удобрений, обработки почвы, посева, ухода за растениями и уборки. Минимальная ширина защитных полос в многолетних опытах 1 м от каждой делянки (2 м в сумме от обеих соседних делянок); однолетних – 75 см (1,5 м в сумме).

Защитные полосы обрабатывают, удобряют и засевают вместе со

всей делянкой. Растения убирают на них непосредственно перед уборкой учетных делянок. На пропашных культурах учетные делянки отбивают перед уборкой путем отсчета нескольких крайних рядков и растений. За 2–3 дня до уборки и учета урожайности от кольев, фиксирующих границы делянок, натягивают шнур и исключают определенное количество растений. На культурах сплошного сева удобнее зафиксировать их границы заранее. Такую отбивку производят после появления всходов, пока растения еще малы. В обе стороны от кола, разделяющего соседние делянки, отмеряют ширину защитной полосы, вбивают колья с лицевой и противоположной сторон делянки; натягивают шпагат (тонкую проволоку) или пробивают по шнуру мотыгой полосу шириной 15–20 см по границе между учетной делянкой и защитной полосой (в сторону защитной полосы). Обязательна защитная полоса при соприкосновении делянки с незасеянными дорожками, которые часто устраивают между боковыми сторонами делянок, ярусами и с лицевой стороны опыта.

Обсев опыта также выполняет функции защитной полосы. Ширина ее может варьировать в широких пределах, от одного до двух десятков метров. Убирают ее перед уборкой деляночных защитных полос или одновременно с ними.

После отбивки защитных полос против каждой делянки устанавливают этикетки с указанием номера делянки. На лицевой стороне опыта устанавливается этикетка с указанием темы исследований. Каких-либо особых требований к этикеткам не предъявляют, они должны быть покрашены и таких размеров, чтобы были хорошо видны, и на них размещалась необходимая информация.

**Уход за растениями** на опытных делянках должен соответствовать технологии выращивания культуры. Все работы, предусмотренные технологией, производятся в соответствии с агротехническими требованиями к ним и должны быть выполнены в срок с высоким качеством и одновременно (в течение одного дня) на всем опыте или хотя бы в пределах каждого повторения. Особое внимание уделяется борьбе с сорняками, вредителями и болезнями, развитие которых существенно влияет на результаты опыта. В агрохимических опытах для борьбы с вредителями и болезнями растений необходимо выбирать способы, не влияющие на питательный режим почвы и интенсивность потребления растениями элементов питания. Так, нельзя применять в опытах с фосфатами суперфосфат для борьбы с полевым слизнем или томасшлак для борьбы с блошкой.

Кроме того, на опытном поле выполняются такие специальные работы, как поддержание в чистоте дорожек и запольных участков, обрезка по шнуру концов делянок после появления всходов. Дорожки и дороги на опытном поле, как между отдельными участками опыта, так и между клиньями севооборотов, либо поддерживаются в черном пару, либо засеваются после окончания весенних работ какой-нибудь культурой, чаще всего вико-овсяной смесью. Некоторыми опытными учреждениями практикуется содержание дорожек под дерниной. Это удобно для езды и ходьбы, но задернелые дорожки могут служить рассадником всевозможных вредителей, в частности проволочника.

**Учеты и наблюдения в опытах.** Для обоснованной интерпретации результатов опыта необходимы дополнительные данные о росте и развитии растений, пищевом режиме почв, условиях роста растений. Наблюдения и учеты, проводимые для их получения, называют *сопутствующими*. Сопутствующие наблюдения определяются, прежде всего, сельскохозяйственной культурой, на которой проводятся исследования, и поставленными задачами. Сроки и методика их проведения определяются на стадии планирования исследований и отражаются в рабочей программе.

Программу сопутствующих исследований разрабатывают для каждого опыта отдельно. В различных опытах перечень их может быть неодинаковым, т. к. они вытекают из задач эксперимента, должны отражать его особенности и включать необходимые наблюдения, учеты и анализы, которые могут помочь понять и обосновать эффективность изучаемого приема, способа или явления. Учеты и наблюдения позволяют давать характеристику хозяйственных признаков урожая, судить о качестве проведения опыта, выявлять противоречия в результатах отдельных наблюдений. Одна группа учетов и наблюдений характеризует общие условия проведения опытов. Другие учеты позволяют описать условия, которые имеют место только на отдельных вариантах опыта. К этой группе относится большая часть учетов и наблюдений, проводимых в период вегетации растений. Все учеты и наблюдения можно разделить на количественные, которые проводят прямым подсчетом, и качественные, или глазомерные, выражаемые обычно в баллах.

Учеты могут быть однократными и периодическими, сплошными или выборочными. *Периодические* учеты проводят в течение всей вегетации через определенные промежутки времени или приурочивают их к определенным фазам развития растений. *Сплошные* учеты на делянке весьма трудоемки, а часто и невозможны, например, в связи с уничтожением растений при анализе или с несовместимостью проведения ряда наблюдений на одном объекте. Поэтому в большинстве случаев применяется *выборочный* учет – метод проб. При определении размера проб следует учитывать, что при отборе слишком малых проб небольшие ошибки каждой из них могут превращаться в значительные при пересчете на большую площадь. Поэтому, чем меньше растений включается в каждую элементарную пробу, тем из большого числа мест на делянке желательно их брать.

Учеты и наблюдения могут быть *факультативными, прямыми и косвенными*. Включаемые в программу учеты и наблюдения должны представлять систему связанных между собой определений, чтобы в целом они обеспечивали наибольшую эффективность опыта при наименьших затратах труда и средств. Следует отдавать предпочтение количественным методам учета перед глазомерными, периодическим учетам перед однократными и проведению учетов и наблюдений на учетных площадях делянок, а не на защитных полосах.

**Метеорологические наблюдения.** Правильное объяснение результатов полевого опыта возможно лишь при наличии сведений о погодных условиях проведения опыта. Для характеристики погодных условий вегетационного периода обязательно должны быть использованы следу-

ющие данные: 1) сумма атмосферных осадков по декадам, мм; 2) среднесуточная температура воздуха по декадам, °С; 3) сумма эффективных температур свыше 5 °С, для риса и других теплолюбивых культур – свыше 15 °С; 4) относительная влажность воздуха по декадам, %.

Такие сведения можно получить от метеорологической станции. Если метеостанция находится в непосредственной близости от опытного поля, то в кратковременных опытах можно использовать ее данные. Однако при значительном ее удалении, а также для многолетних опытов необходимо организовать основные инструментальные наблюдения за погодой. На постоянных опытных участках организуются прежде всего наблюдения за осадками (в течение всего года), температурой и влажностью воздуха, снежным покровом (от выпадения до схода), температурой на поверхности почвы (в периоды, когда возможны понижения температуры, отрицательно сказывающиеся на посевах). Обязательно фиксируются: засуха, суховеи, осадки большой интенсивности (ливни), градобитие, ледяная корка. При изучении приемов, влияющих на параметры микроклимата и почвы, соответствующие наблюдения ведут по вариантам опыта, установив приборы на опытных делянках. Метеорологические наблюдения проводят по местному среднему солнечному времени<sup>6</sup> в строгом соответствии с методикой Гидрометеоцентра Российской Федерации. Учет и анализ данных метеорологических наблюдений проводят, как правило, несколько раз в течение суток. Сроки наблюдения: утренний – 8 ч и вечерний – около 20 ч декретного времени. Показатели метеорологических условий опыта сравниваются со средними многолетними, устанавливаются средние значения по годам и за весь срок проведения опыта, пределы колебаний и относительный диапазон изменчивости (в процентах). Эти данные позволяют наиболее полно оценивать влияние метеофакторов, возникших стрессовых ситуаций и благоприятных условий на количество и качество урожая, агротехнических условий, принятых и разрабатываемых технологий.

В отдельных опытах возникает необходимость в ежедневном анализе температуры воздуха и почвы, их максимальных и минимальных значений и других метеорологических показателей. Сбор этих данных также организуют на самом опытном участке или в непосредственной близости от него. В настоящее время имеются портативные автоматические метеостанции, которые можно разместить на опытном участке. Их использование значительно повышает информативность полевых экспериментов и качество интерпретации результатов.

**Учет засоренности.** В агрохимических опытах с удобрениями ограничиваются определением численности и массы сорной растительности. Под численностью понимают число растений (стеблей), приходящееся на единицу площади (1 м<sup>2</sup>), массой – масса сорняков с единицы площади. Если программой исследований предусмотрена более тщательная характеристика засоренности, например, в опытах по влиянию удобрений на

---

<sup>6</sup> Чтобы определить среднее солнечное время местности, разность долгот между средним меридианом пояса и меридианом данного пункта переводят на время: один градус долготы равен 4 мин; 1 мин долготы – 4 с времени.

засоренность полей, вынос сорняками элементов питания, изменение ботанического состава и др., то определяют видовой состав сорняков, степень покрытия ими площади (определение процента площади, занятой тем или иным видом или группами их), их обилие (количество экземпляров) и массу, характер распределения на площади, ярусность (расположение сорных растений по отношению к культурным).

При характеристике засоренности применяются количественные и визуальные (глазомерные) приемы учета. Количественный учет осуществляют на площадках 0,25 или 0,3 м<sup>2</sup>, расположенных на делянке рендомизированным способом из расчета 1 площадка на 10 м<sup>2</sup> посевной площади делянки. Если делянки небольшие, то необходимо сделать подсчеты как минимум в трех ее местах. Для удобства изготавливают рамки прямоугольной или квадратной формы, ограничивающие на делянке площадь в 0,25 или 0,3 м<sup>2</sup>. При визуальной оценке показатель выражают в баллах.

Численность сорняков устанавливают путем их подсчета на единице площади и выражают в штуках на 1 м<sup>2</sup>, или визуально оценивают степень их распространения по пятибалльной шкале: 1 балл – сорняками занято до 1 % общей площади, 2 – 1-5 %, 3 – 5-25 %, 4 – 25-50 %, 5 баллов – более 50 % площади.

Ярусность сорняков устанавливается по отношению к культурным растениям – выше, наравне, до половины их высоты и не попадающие под нож уборочной машины.

Массу всех надземных органов растений выражают в граммах на единицу площади (1 м<sup>2</sup>). Она характеризуется тремя величинами: массой живых растений (сырая масса), их абсолютно сухой массой и массой растений в воздушно-сухом состоянии. Высота сорняков определяется по высоте преобладающих растений.

При детальном исследовании устанавливают засоренность пахотного слоя почвы семенами и зачатками сорняков. Учет заключается в подсчете количества семян и плодов сорняков в почвенном образце, отобранном буром Шевелева с последующим выделением семян при помощи химических растворов. Для определения содержания и расположения в почве корневищ и корней сорняков, способных укорениться и отрастать, применяются специальные методы учета. В опытах с многолетними травами имеет значение определение засоренности урожая, которое обычно проводится по пробному снопу весом 5–6 кг, отбираемому для определения выхода сена.

При оценке засоренности следует отмечать фазы развития сорняков. В зависимости от их ботанической принадлежности это могут быть всходы, стеблевание, цветение, засыхание растений, розетки, бутонизация, колошение, созревание семян.

Если не предусмотрено программой исследований, то сорняки с опытных делянок следует удалять.

**Фитопатологические и энтомологические наблюдения.** Болезни и вредители сильно влияют на рост, развитие и урожай сельскохозяйственных культур. Методика проведения полевого опыта предусматривает обязательную борьбу с ними. В большинстве агрохимических исследований достаточно указать заболевание(я) и вредителя(ей) и оценить сте-

пень повреждения. В опытах по изучению влияния удобрения на развитие болезней и поражение растений вредителями оценка ведется более детально. Желательно проводить их совместно со специалистами по защите растений, т. к. наблюдения и оценки за различными болезнями и вредителями специфичны, требуют знаний болезни растений, их диагностики, методов учета, биологии развития патогенов.

Распространенность болезней и вредителей выражается в процентах пораженных растений (колосьев, метелок, початков) или величиной (выраженной в процентах от общей) площади, занятой пораженными культурами, чаще всего визуально. Оценку проводят в различные фазы развития растений выборочным методом.

При поражении посевов несколькими болезнями и вредителями его оценивают суммарно по пятибалльной шкале: 0 – отсутствие повреждений и поражений; 1 – повреждены единичные растения (до 10 %); 2 – повреждено 10–25 % растений; 3 – повреждено 25–50 % растений; 4 – повреждено 50–75 % растений; 5 – повреждено свыше 75 % растений. При повреждении большого количества растений болезнями или вредителями, которые приводят к их полной гибели, делянку исключают из опыта, кроме тех случаев, когда изучаемые приемы оказывают влияние на степень повреждения растений.

Это общие правила фитопатологических и энтомологических наблюдений. Однако у каждой болезни и вредителя имеются специфические особенности и методы учета распространения и оценки ущерба, которые обязательно следует учитывать.

**Наблюдения за ростом и развитием растений** включают количественную оценку этих процессов и фенологические наблюдения.

*Фенологические наблюдения*, т. е. регистрация наступления очередной фазы развития, проводятся с целью установить различия в росте и развитии растений по отдельным вариантам опыта. За начало фазы принимают первый день, в который она зарегистрирована не менее чем у 10 % растений, а за массовое наступление – день, в который фаза отмечена не менее чем у 50 % (или 75 %) растений. Деление вегетационного периода на фазы определяется ботанической принадлежностью растений и хозяйственным использованием культур. В связи с этим выделяют у растений:

– из семейства злаков (зерновые, рис, кукуруза): всходы, кущение, выход в трубку, колошение (выметывание), цветение, молочная, восковая и полная спелость. Дополнительно отмечают: у озимых культур – конец осенней и начало весенней вегетации, количество перезимовавших растений; у злаковых трав – хозяйственная спелость, отмирание (конец вегетации), а также начало отрастания весной при повторном использовании;

– из семейства бобовых (горох, фасоль, бобы, чечевица, вика): всходы, начало образования боковых побегов, образование соцветий, цветение, созревание. У бобовых трав дополнительно отмечают хозяйственную спелость и отмирание растений (конец вегетации), а у многолетних трав отмечается также возобновление вегетации весной;

– сахарной свеклы и других корнеплодов: всходы (вилочка), первая пара настоящих листьев, третий настоящий лист, начало утолщения подсемядольного колена, увядание наружных листьев, а также отмечают

смыкание листьев в рядках, смыкание листьев в междурядьях, размыкание листьев в междурядьях;

– картофеля: всходы, образование соцветий, конец цветения, увядание ботвы;

– сои: всходы, первый настоящий лист, третий настоящий лист, образование боковых побегов, цветение, созревание;

– клещевины: всходы, первый лист, третий лист, образование соцветий, цветение, созревание;

– подсолнечника: всходы, образование корзинки (при достижении диаметра корзинки 20–25 см), цветение, желтая корзинка и созревание;

– табака: всходы, первый настоящий лист, третий настоящий лист, образование соцветий, цветение;

– гречихи и конопли: всходы, начало роста стебля (у гречихи не отмечается), образование соцветий, цветение, созревание;

– льна: всходы, начало роста стебля, образование соцветий, цветение, зеленая и полная спелость семян;

– горчицы: всходы, розетка, бутонизация, начало цветения, конец цветения, начало созревания;

– хлопчатника: всходы, третий лист, бутонизация, цветение, раскрытие первых коробочек, прекращение вегетации.

В вегетативном развитии плодовых деревьев отмечаются: распускание почек, цветение, рост побегов, созревание плодов, листопад.

У овощных культур отмечают следующие фазы роста и развития у:

– всех культур: всходы или высадка рассады, продолжительность вегетационного периода (от даты появления всходов до уборки);

– капусты белокочанной, краснокочанной, цветной и савойской: пикировка сеянцев, образование розетки, начало образования кочана, наступление технической зрелости, а у капусты цветной и белокочанной ранней – даты первого и последнего сбора урожая;

– томата, перца, баклажана: пикировка сеянцев, образование первого или второго настоящего листа, бутонизация, цветение (у томата отмечают место заложения первой цветочной кисти), начало образования плодов, начало созревания плодов, техническая зрелость плодов перца и баклажана, дата первого и последнего сбора;

– огурца: образование третьего листа, начало образования боковых плетей, бутонизация женских цветков, образование завязей, дата первого и последнего сбора плодов;

– бахчевых: тех же фаз, что и у огурца, но вместо фазы третьего листа – фазы шатрика и начала образования плетей;

– лука и чеснока: образование луковиц, полегание листьев, подсыхание листьев, стрелкование растений;

– корнеплодных овощных культур: начало образования корнеплодов (начало пучковой зрелости), наступление технической зрелости;

– пряновкусовых и зеленных культур: наступление технической зрелости (обычно при образовании 8-10 листьев), если есть необходимость – начало образования цветоносов и соцветий, цветение, созревание семян;

– многолетних овощных культур: начало вегетации после перезимовки, техническая зрелость, начало отрастания вегетативной массы после срезки урожая, у хрена и катрана – отмирание листьев;

– фасоли и гороха: цветение, первый и последний сбор зеленых бобов, созревание нижних бобов, массовое созревание;

– сахарной кукурузы: выбрасывание султанов, цветение мужских и женских цветков, подсыхание нитей, первый и последний сбор початков.

В опытах по изучению приемов, влияющих на рост и развитие овощных растений (площадь питания, способ посадки рассады, орошение, применение удобрений), через каждые 10-20 дней и в конце вегетации проводят биометрические исследования. Для этого по диагонали опытной делянки в 3-5 местах выделяют по 10 растений подряд, исключая поврежденные вредителями и пораженные болезнями. Все 10 растений в пробе должны иметь одинаковую площадь питания, установленную для изучаемых вариантов. Возле них не допускается наличие выпавших растений или пропусков. У растений учитывают у:

– капусты: количество листьев, их длину и ширину, длину черешков, диаметр розетки листьев в двух направлениях при первом и втором учетах, в период формирования кочанов – диаметр кочанов. Учеты у рассады проводят перед высадкой в грунт, у кочанов – через 5 дней после их массового завязывания, а также при первом и последнем сборах урожая;

– томатов: высоту главного стебля, количество боковых побегов, количество кистей и над каким листом они заложены, количество плодов на кистях. У рассады учеты делают перед высадкой, после посадки, во время массового цветения первого соцветия, при первом и последнем сборах урожая.

– огурца, арбуза, дыни и тыквы: длину главного и боковых побегов, число, а иногда и площадь листьев, число боковых побегов, мужских и женских цветков, завязей и места их заложения (на каких побегах и над каким листом), продольный (у огурца – длину) и наибольший поперечный диаметр плода. У огурца при посеве семян в грунт учет проводят в фазе третьего листа, начале цветения женских цветков, начале плодоношения, во время наибольшего сбора плодов и при последнем сборе (в этот срок растение извлекают из земли и измеряют); при рассадной культуре, кроме того еще и рассады перед посадкой в грунт. У бахчевых культур учеты проводят в фазе шатрика, в период образования плетей, во время цветения женских цветков и созревания плодов.

– растений корнеплодных культур: число листьев и длину наибольшего листа при появлении третьего настоящего листа, при уборке пучковой, а затем и обрезной продукции, при уборке технически зрелых корнеплодов. Во время уборки урожая учитывают число, иногда и площадь листьев, длину наибольшего листа, взвешивают корнеплоды с ботвой и без нее, измеряют наибольший диаметр корнеплода в двух направлениях и их длину.

– лука: число листьев, длину наибольшего листа, диаметр гнезда луковицы. Учеты проводят при появлении третьего листа, в начале образования луковицы, при уборке урожая.

У винограда отмечают наступление следующих фаз: сокодвижение, распускание глазков, цветение, созревание ягод, вызревание

побегов, листопада. Начало сокодвижения («плач») отмечают датой, когда у 5 % кустов ряда на поперечном срезе лозы выступают капельки сока. Начало распускания глазков – датой, когда на плодовых стрелках куста распускаются два-три первых глазка, т.е. покажутся кончики молодых листочков. Начало цветения фиксируют датой опадения колпачков нескольких цветков на двух-трех соцветиях, двух-трех кустов в ряду. Начало созревания ягод отмечают датой, когда у 5 % кустов ряда семена становятся коричневыми и ягоды размягчаются, а у белых сортов винограда они становятся прозрачными. Фазу полной зрелости ягод фиксируют датой, когда указанные выше признаки наступают у 95 % кустов, выделенных для наблюдений. Окончанием роста побегов считается дата, когда на верхних молодых листочках исчезает характерный блеск, а изогнутая верхушка побега выпрямляется. Началом вызревания побегов – появление на двух-трех кустах у двух-трех побегов на нижних междоузлиях сухой корки желтого или коричневого цвета. Начало, массовое проявление и конец листопада отмечают датами, когда у кустов, выделенных для наблюдений, опадает соответственно 5 и 95 % листьев.

На основании фенологических наблюдений выявляют различия вариантов в наступлении и продолжительности фенофаз, а также по вегетационному периоду. Сравнения ведут как с контролем, так и между вариантами. Очень важно отмечать различия в росте и развитии растений в течение вегетации, т.к. это позволяет полнее оценить характер и продолжительность действия удобрений. Любые различия должны сразу анализироваться, т.к. с течением времени они могут нивелироваться последующими неблагоприятными воздействиями. Например, обработка семян риса микроэлементами способствует более энергичному начальному росту растений, что позволяет получать более густые всходы, однако, к уборке в результате конкуренции часть растений погибает, причем, чем больше всходов, тем ниже выживаемость. Если вести учет только при уборке, то этот эффект можно не выявить.

Кроме регистрации наступления фаз вегетации необходимо отмечать все *видимые различия в характере развития растений* – изменение окраски листьев, их увядание и высыхание, опадение завязей, полегание растений и др. Отмечать их появление и исчезновение надо немедленно.

**Агробиологические учеты.** Большую ценность представляют количественные показатели *роста и развития растений*. Наиболее часто для этого используются такие показатели как глубина заделки семян, полевая всхожесть, густота стояния растений, количество продуктивных стеблей и побегов, высота растений, длина корней, сухая масса растений, стеблей и корней.

**Определение глубины заделки семян.** Для установления фактической глубины заделки семян используют разные методы исследований в зависимости от вида культуры. Например, на каждой делянке зерновых посевов в 10-15 точках из почвы извлекают 20-25 растений и измеряют линейкой этиолированную подземную часть растений – от семени до зеленой части стебля – и подсчитывают процент семян, заделанных на оптимальную глубину. На делянках картофеля определяют глубину заделки непосредственно при посадке. Для уменьшения объема работ данный показатель достаточно определять на делянках только двух несмежных повторений.

*Подсчет густоты стояния* производят после появления всходов (озимых культур перед уходом в зиму и после возобновления вегетации), перед уборкой, для трав – после каждого отрастания (у многолетних после возобновления вегетации). Подсчет растений ведется на закрепленных рядках (участках) в разных местах делянки. В зависимости от пестроты почвенного плодородия и величины делянок их площадь составляет один или несколько квадратных метров. Например, для зерновых культур при обычной ширине междурядий подсчет ведется на двух смежных рядках длиной 111 см в трех местах делянки. Затем вычисляют среднее значение и пересчитывают на 1 м<sup>2</sup>. У озимых культур на этих же закрепленных делянках определяют число перезимовавших растений для оценки зимостойкости. На выделенных и отмеченных колышками рядках подсчитывают с осени число растений, идущих в зиму, а весной после начала вегетации – число сохранившихся растений. Вторая величина выражается в процентах от первой. Вымочки, а также пятна выпревания, вымерзания и т. п., захватывающие более или менее значительную часть делянки, обмеривают и наносят на схематический план опыта.

*Высота растений* является количественным показателем роста. Она определяется как среднее из промеров 20–50 растений.

В течение всего вегетационного периода представляют интерес наблюдения за *приростом сухого вещества*. Учеты производятся по фазам развития, а при более детальном наблюдении за динамикой накопления сухого вещества по календарным срокам (через день, каждую неделю, декаду). Расчет может проводиться как на единицу площади (1 м<sup>2</sup>), так и на растение. Для этого в первом случае пробы берут с пробных рядков или площадок (0,25–1,0 м<sup>2</sup>).

К сопутствующим наблюдениям относится регистрация любых повреждений растений вследствие воздействия *неблагоприятных погодных условий* (заморозки, град, ливневые дожди, шквальный ветер, пыльные бури), а также повреждений скотом, неумелыми действиями механизаторов. При таких явлениях растения в разной степени травмируются, полегают, что приводит к снижению их продуктивности и даже гибели. Если погибло более 50 % растений на делянке, то учет урожайности не проводят, делянку или опыт полностью выбраковывают. Число погибших или травмированных растений определяют путем подсчета на площадках или визуально. Результаты наблюдений выражают в процентах к площади делянки или количеству растений до их гибели. Полегаемость растений оценивают в баллах по пятибалльной шкале. При этом в основу оценки может быть положена как пригодность посева к механизированной уборке, так и число полегших растений.

Шкала для оценки *полегаемости растений* по пригодности к механизированной уборке:

5 баллов – делянка пригодна к механизированной уборке, убирается полностью, без потерь;

4 балла – механизированная уборка частично затруднена;

3 балла – механизированная уборка возможна при наличии специальных приспособлений (для уборки полеглых посевов), но при этом возможны потери урожая;

2 балла – механизированная уборка возможна только в одном направлении с приспособлением для уборки полеглых хлебов;

1 балл – механизированная уборка невозможна.

Шкала для оценки полеглости по числу полеглых растений:

1 – растения полностью лежат на земле;

2 – полегло более 50 % растений;

3 – полегло 25–50 % растений;

4 – полегло менее 25 % растений

5 – полегания нет, растения стоят вертикально.

Низкие температуры и избыток осадков вызывают гибель растений от вымерзания, выпревания, вымокания, образования ледяной корки, ветровой и водной эрозии. Особенно подвержены таким поражениям озимые культуры и многолетние травы. Вымерзание происходит в осенне-зимнее время при недостаточном увлажнении почвы в осенний период, отсутствии снежного покрова и низких температурах. В весеннее время вымерзание наблюдается при поздних заморозках. Выпревание растений наступает при большом снежном покрове и теплой зиме. Особенно сильно растения гибнут, когда снег ложится на талую, непромерзшую почву. Вымокание посевов происходит от застоя дождевых и талых вод в пониженных местах рельефа, а также вследствие подтопления при поднятии уровня грунтовых вод. Гибель растений вызывается главным образом недостатком кислорода.

Для оценки этих повреждений перед уходом растений в зиму проводят подсчет растений на делянках. Все последующие учеты сравнивают с этим результатом (это исходное состояние). За состоянием зимующих растений следят путем взятия проб на отрастание. Количество проб и сроки отбора могут быть различными. Сроки взятия проб озимых культур на отрастание приурочиваются к 25 числу каждого месяца, начиная с 25 декабря, и для многолетних трав – к 10 числу каждого месяца, начиная с 10 декабря; при неблагоприятных условиях – и чаще. Пробы отбирают в виде монолитов размером 25×25 см, при этом толщина монолита должна быть больше пахотного слоя. Привезенные в лабораторию монолиты выдерживают при оптимальных условиях температуры, влажности, освещения до тех пор, когда растения начнут отрастать. Учет результатов отращивания проб выражают в процентах. Оценить перезимовку растений можно и весной путем подсчета живых и погибших растений на выделенных весной площадках.

При балльной оценке признаков, а также проявления отрицательных последствий воздействия биотических и абиотических факторов шкалы могут быть трех-, пяти-, семи- и девятибалльными. Размер шкалы зависит от учитываемого фактора. В связи с этим удобнее «желательный признак» оценивать 1 баллом. Это позволяет экспериментаторам, непосредственно не связанным с этой областью исследований, понимать результаты оценки. Например, полеглость посевов, поражение болезнями и вредителями, перезимовка – 1 балл, значит посев не полегает, не поражается и отлично перезимовал.

**Методика отбора растительных образцов в период вегетации.**

Для проведения анализов растений в период вегетации отбирают растительные образцы. Методика их отбора определяется культурой и проводимым учетом или анализом. Вместе с тем существуют общие правила.

Прежде всего, это касается отбора средней пробы, отражающей истинное состояние растений в зависимости от изучаемых агрохимических приемов.

Для получения достоверных данных растительный образец должен отражать общее состояние растений на опытной делянке. Растительные образцы отбирают с участков, на которых нет нехарактерных признаков развития растений, не связанных с действием изучаемого фактора, т. е. не должно быть изреживания, просеков, очагов вымокания.

Растительные образцы отбирают со всех вариантов опыта и повторений. Если опыт большой, то можно ограничиться двумя несоприкасающимися повторениями или же производить отбор только с наиболее различающихся вариантов. На всех или отдельных выбранных экспериментатором делянках двух повторений опыта для наблюдений и взятия образцов закрепляют кольшками четыре площадки, каждая не менее 4 м<sup>2</sup>. Площадки располагают по краям делянки, отступая не менее чем на 0,5 м от защитной полосы. С выделенных площадок образцы берут рядками или квадратами по 0,25 м<sup>2</sup>. Квадратами отбирают тогда, когда делянки засеяны узкорядным, перекрестным или очень загущенным рядковым способом. Таким образом, в один прием на одной делянке из четырех мест будет взят образец с площади 1 м<sup>2</sup>. Если посев зерновых культур проведен широкорядным способом (15 см между рядками), для дальнейших расчетов удобно брать образцы с двух рядков длиной 0,83 м, – их площадь составляет 0,25 м<sup>2</sup>, а с четырех площадок одной делянки 1 м<sup>2</sup>.

Растения с каждого квадрата или рядков аккуратно, сохраняя целостность каждого, вынимают из почвы, отряхивают или отмывают от земли и связывают в отдельный снопок. К снопу прикрепляют этикетку с обозначением номеров площадки и пробы. Все снопки с делянки соединяют шпагатом в один общий снопок и снабжают общей этикеткой с указанием номера делянки, варианта, даты взятия образца, фазы развития, названия опыта, исполнителя.

В лаборатории из всех проб отбирают сорные растения, подсчитывают их общее число, взвешивают сырую и после просушивания сухую массу. После удаления сорняков подсчитывают число культурных растений и проводят все запланированные измерения (кустистость, высоту растений). Если предусмотрено программой исследований, растения разделяют на отдельные органы. Взвешивают сырую массу и высушивают до постоянной массы в сушильных шкафах. Если при взвешивании сырой массы расхождение превышает 50 % в показаниях отдельных снопиков, то в тот же день, в крайнем случае – на следующий, берут повторный образец. После высушивания и взвешивания снопов из них отбирают для химического анализа среднюю пробу 200–250 г.

При проведении химического и биохимического анализов образцы растений разделяют на их основные органы, каждый из которых взвешивают, при необходимости приводят к базисной (стандартной) влажности и определяют массовую долю частей растений в основной и побочной продукции в процентах от общей массы. Для каждой культуры разделение на органы специфично (табл. 14).

Таблица 14 – Разделение растений различных культур на основную и побочную продукцию

Культура	Учитываемые органы растений	
	основная продукция	побочная продукция
Зерновые колосовые, зерно-бобовые, крупяные, соя, рапс, лен масличный	зерно	солома с половой
Сахарная свекла	корнеплоды	ботва
Картофель	клубни стандартные	клубни нестандартные, ботва
Кукуруза на зерно	зерно	обертки початков, стержни, листья, стебли, незрелые початки
Подсолнечник	семена	корзинки, стебли, листья.
Лен-долгунец	солома	семена
Конопля (сорта двустороннего использования)	солома, семена	листья
Конопля (зеленец)	солома	костра, листья
Хлопчатник	волокно	семена, стебли, листья, створки.
Табак	листья	стебли, соцветия, рассадные листья
Капуста	кочаны	наружные листья, кочерыжки, нестандартные кочаны.
Томаты	товарные плоды	незрелые плоды
Огурец	плоды	ботва
Лук репчатый	луковицы	листья
Арбузы, дыни, тыква	плоды	недоразвитые плоды, ботва
Силосные культуры, многолетние и однолетние травы.	общая масса	

Растительные пробы для определения сухого вещества, питательных веществ и показателей качества формируют отдельно для основной и побочной продукции. Пробы побочной продукции в зависимости от изучаемых вопросов могут быть составлены из различных частей отдельно или в виде смешанного образца. В смешанном образце составные части побочной продукции должны быть представлены пропорционально их массовым долям.

Для расчета массы урожая побочной продукции с делянки, если его учет не проводится сплошным методом, используют показатель отношения побочной продукции к основной (O), определенный по данным растительных образцов:

$$O = \frac{M_{п}}{M_{о}}$$

где:  $M_{п}$  - масса побочной продукции, г;  
 $M_{о}$  – масса основной продукции, г.

Если при уборке урожая основную продукцию нельзя отделить от побочной без предварительного подсушивания растений или если процесс трудоемок, массу основной и побочной продукции, их соотношение и массовую долю сухого вещества определяют по данным растительного образца.

Образцы целых растений (пробные снопы) взвешивают в день их отбора и после подсушивания до обмолота, а основную и побочную продукцию – после обмолота.

Массовую долю сухого вещества (С) в основной и побочной продукции на время уборки урожая в процентах определяют по формуле.

$$C = \frac{A_2(100 - Bг)}{A_1},$$

где:  $A_2$  – масса пробного снопа после подсушивания, г;  
 $Bг$  – массовая доля гигроскопической влаги в продукции, определенная согласно принятых методик, %;  
 $A_1$  – масса пробного снопа до подсушивания, г.

Гигроскопическую влагу и массовую долю сухого вещества определяют в основной и побочной продукциях.

Для культур, влажность продукции которых нормирована, масса основной и побочной продукции предварительно пересчитывается с учетом базисной влажности (табл. 15).

Таблица 15 – Базисная влажность продукции сельскохозяйственных культур

Культура	Вид продукции	Базисная влажность, %
Зерновые, зернобобовые, крупяные, кукуруза на зерно	Зерно	14
	Солома	16
	Семена	12
Лен долгунец	Солома	19
	Семена	13
Конопля	Солома	19
	Хлопок-сырец	8
Хлопчатник	Семена	12
Подсолнечник	Листья	20
Табак (ГОСТ 8073-77)	Сено	16
Однолетние и многолетние травы	Семена	14
Соя	Семена	12
Рапс	Семена	12

Массу продукции при базисной влажности ( $M_б$ ) в граммах вычисляют по формуле:

$$M_б = \frac{M \cdot (100 - B_1)}{100 - B_2},$$

где:  $M$  – масса продукции (основной или побочной) при ее учете, г;  
 $B_1$  – фактическая влажность продукции при ее учете, %;  
 $B_2$  – базисная влажность продукции, %;  
 $(100 - B_1)$  – массовая доля абсолютно сухого (далее по тексту сухого) вещества при учете продукции, %;  
 $(100 - B_2)$  – массовая доля сухого вещества при базисной влажности, %.

Надо отметить, что отбор образцов для анализов и учетов ни в каком случае не должен производиться на учетной площади делянки, предназначенной для учета урожайности. В связи с этим при определении площади опытных делянок необходимо учесть все отборы, предусмотренные программой исследований. Для сокращения площади делянок в одной пробе надо стремиться определить по возможности большее число показателей. Например, учет высоты растений можно совместить с химическими анализами биомассы, определением накопления сухого вещества.

**Исследования почв на участке после закладки опыта.** В агрохимических опытах большое значение в интерпретации результатов полевого опыта имеет анализ почвы. После разбивки опытного участка на делянки отбирают смешанные почвенные образцы для агрохимической характеристики почвы. С этими образцами сравнивают результаты исследований в период проведения опыта и в конце его. Позитивные и негативные изменения почвенного плодородия, влияющие на рост, развитие и урожайность культур, устанавливают при сопоставлении агрохимических показателей почвы с различных вариантов опыта.

Географическая сеть опытов с удобрениями рекомендует отбирать почвенные образцы до внесения удобрений с каждой делянки, а после внесения, посева и посадки опытных культур, как минимум, с двух несмежных (несоприкасающихся) повторений. На остальных повторениях дополнительно берут 4–6 образцов, расположенных равномерно на площади опытного участка. Каждый смешанный образец составляют из 5–10 индивидуальных образцов, взятых в 5–10 точках, расположенных равномерно по длине делянки. Индивидуальные образцы отбираются в зависимости от целей исследований как с пахотного слоя (0–20–25 см), так и подпахотного.

Для взятия смешанных образцов используют почвенные буры Осипова БОП-30-140, БОП-30-70 или тростьевые буры. При отсутствии буров используют обычные штыковые лопаты. При отборе почвенных проб бурами для получения достаточной для анализов массы смешанного образца число индивидуальных проб зависит от метода отбора (используемого бура) и колеблется в среднем от 5 до 20 индивидуальных проб. Если индивидуальный почвенный образец отбирается лопатой, то почву, взятую из одной точки, высыпают на полиэтиленовую пленку, тщательно перемешивают и берут среднюю пробу строго определенного объема, которую помещают в мешок или коробку. После смешивания всех индивидуальных проб из общей массы отбирают смешанный образец в 300–400 г. Так отбирают смешанные образцы в случае, если программой предусматривается проведение только агрохимических исследований почвы для определения питательного режима в период вегетации растений в установленные сроки или в определенные фазы развития. Если запланирован одновременный отбор растительных проб, то почвенные пробы отбирают из-под растений, взятых для анализа.

**Учет урожайности в опыте.** Урожайность культуры является главным показателем эффективности воздействия любого изучаемого фактора. Ее величина является интегрированным показателем воздействия на растение абиотических и биотических (как регулируемых, так и нерегулируемых) факторов среды. Нет более удобного и надежного кри-

терия для оценки их влияния на продуктивность растений. Именно поэтому уборка и учет урожая являются наиболее ответственными работами при проведении полевых экспериментов. Небрежность при их выполнении ведет к искажению данных и обесцениванию результатов опыта. Условия и приемы уборки урожая определяются главным образом культурой, но всегда необходимо руководствоваться рядом общих требований к ее организации и проведению. Урожай убирают способом и в сроки, определяемые на месте, руководствуясь общим требованием к полевым работам – их одновременностью и однокачественностью.

**Подготовка к уборке.** За несколько дней до уборки тщательно осматривают весь опыт, убирают этикетки и посторонние предметы. Учетную площадь делянки отделяют от защитных полос. Для этого по натянутым при разбивке опыта шнурам или другим используемым маркерам обозначают границу. Особенно важно эту работу провести, если посев слишком густой, растения полегли или перепутались, так что границы защитных полос плохо видны. Защитные полосы убирают первыми. Для культур сплошного посева их выжинают или выкашивают. Убранные растения удаляют с поля, чтобы не допустить случайного смешивания их с урожаем делянок. Для пропашных культур отсчитывают число борозд или рядков, приходившихся на защитные полосы; удаляют растения и увозят их с поля.

Затем вновь производят осмотр учетных делянок. При этом отмечают все повреждения и выпадения растений. Если таковые обнаруживаются, то делают выключки, а при повреждении более 50 % учетной площади – выбраковки. Под *выключкой* понимают часть учетной делянки, исключенную из учета вследствие случайных повреждений или ошибок, допущенных во время работы (Доспехов Б.А., 1979). Выключку части делянки, а особенно целой делянки производят, когда для этого есть веские причины. Таковыми могут быть: а) повреждения, вызванные стихийными явлениями природы, неравномерно повредившими растения при условии, что эта неравномерность не является следствием изучаемых в опыте факторов; б) повреждения в результате потравы скотом, птицей, грызунами; в) ошибки при закладке и проведении опыта. Целые делянки исключают из опыта лишь в крайнем случае. Для обоснования необходимости произвести выключку или выбраковку целых делянок необходимы данные о повреждении (вымочке, потраве, ошибке в работе) зарегистрированные в журналах, заведомо изменившем урожайность делянки или ее части. То есть, основанием для выключки или выбраковки целых делянок до уборки должны быть совершенно ясные объективные внешние причины. Делать выключки и браковать делянки на основании чисто субъективного впечатления о неоднородности повторений или частей делянки ни в коем случае не следует.

На культурах сплошного посева, обнаружив повреждение и обосновав необходимость выключки части учетной площади делянки, его ограничивают колышками и шнуром, обмеривают. Удобнее выключки делать прямоугольными или же выключать определенную часть делянки: половину, треть, четверть. Если учетная площадь менее 20 м<sup>2</sup>, но имеется достаточно повторений, лучше вообще не делать выключек, а выбраковывать делянки целиком. Все выключки и выбракованные делянки выкаши-

вают, и урожай выносят за пределы опыта. При уборке урожайность рассчитывают по фактически убранной площади.

Перед уборкой пропашных культур необходимо подсчитать все растения для установления числа выпавших. Если изреживание не связано с изучаемым фактором и не превышает 20–30%, вводятся поправки на недостающие растения. При выпадении большего количества растений делянку целиком исключают из учета. Для решения вопроса о правомерности выключки и методе введения поправок на изреживание необходимо по документам установить время выпадения растений.

Если недостающие растения выпали поздно (т. е. ближе к уборке), то правомерен следующий способ поправки на недостающие растения. Прежде всего, находят продуктивность одного растения; для этого фактически убранный урожай делят на число фактически убранных растений. Умножив полученную величину на число недостающих растений, вычисляют предполагаемый недобор урожайности, на которую увеличивают фактический урожай. Например, к уборке на учетной площади произрастает 462 корнеплода ( $P_y$ ) вместо 500 ( $P_n$ ); масса убранных корнеплодов ( $A$ ) составляет 452 кг. Для определения урожайности ( $Y$ ) с учетом поправки воспользуемся пропорцией:  $Y = A \times P_n : P_y$ . Возможная урожайность с учетом выпавших растений составляет  $452 \times 500 : 462 = 489,2$  кг/делянку, что составит 48,9 т/га. Поправку можно ввести и иначе. Убирают делянку полностью. По числу убранных растений вычисляют фактическую учетную площадь, которую и используют в расчетах урожайности культуры. Например, учетная площадь делянки  $100 \text{ м}^2$ , произрастает к уборке 462 ( $P_y$ ) корнеплода вместо 500 ( $P_n$ ); масса убранных корнеплодов ( $A$ ) составляет 452 кг. Рассчитываем площадь питания 1 растения –  $100 : 500 = 0,2 \text{ м}^2$ , и фактическую учетную площадь –  $462 \times 0,2 = 92,4 \text{ м}^2$ . Урожайность делянки составляет 48,9 т/га.

При раннем выпадении отдельных растений оставшиеся соседние растения, вследствие увеличения площади питания, развиваются лучше, т. к. они, как и краевые растения, получают дополнительную площадь питания, поэтому введение поправки на недостающие растения по среднему весу одного растения может внести в окончательный результат ошибку. В таком случае перед уборкой удаляют с делянки все растения, граничащие с пустыми местами в рядах; учитывают только растения, использующие технологически обоснованную площадь питания. По среднему весу одного учетного растения, умноженному на плановое число растений, восстанавливают истинный урожай с делянки. Этот метод поправок наиболее обоснован, но он осложняет технику учета.

Поправки следует применять лишь при относительно небольшом числе выпавших растений и случайном характере этих выпадений. При выпадении растений целыми пятнами или рядами правильней делать обычные выключки.

**Уборка урожая.** Уборка урожая организуется в зависимости от метода учета. Существуют *прямой* и *косвенный* методы учета урожая. При прямом способе учета урожайности убирают растения со всей учетной площади делянки, при косвенном – с ее части, представляющую составленную тем или иным способом среднюю пробу из урожая всей делянки.

*Прямой метод учета урожая.* Уборку урожая в полевых опытах, если это не является предметом изучения, начинают при полном созревании. Ее можно производить как вручную, так и уборочными машинами. При уборке вручную для достижения однородности работы по делянкам (одинаковой высоты жнивья и одинаковой чистоты уборки) все рабочие (лаборанты-исследователи) убирают вместе каждую делянку опыта, постепенно переходя от одной делянки к другой. При очень малых делянках один человек убирает урожай всей повторности опыта или весь опыт. При использовании средств механизации (жнейки, копалки, самоходные комбайны) весь опыт должен убираться одним и тем же механизмом при одинаковых регулировках и скорости. Уборку опыта, если изучаемые приемы не влияют на скорость созревания, необходимо завершить в один день. Если для этого нет возможности, то убирают целое число повторений. При различных сроках созревания растений на вариантах их убирают по мере достижения полной спелости.

*Косвенные методы учета урожая.* Для определения урожайности культуры используют не весь урожай делянки, а лишь ее часть, представляющую среднюю пробу из урожая всей массы. Наиболее распространен учет по пробному снопу, малыми площадками, по отдельно взятым растениям.

Сущность учета урожая по пробному снопу заключается в том, что обмолачивают не весь урожай учетной делянки, а лишь среднюю пробу из него – пробный сноп. Взвесив массу зерна и соломы в пробном снопе и зная соотношение массы урожая всей делянки и пробного снопа, рассчитывают урожай зерна и соломы со всей делянки. Учет урожайности по пробному снопу заключается в том, что растения на учетной площади делянки скашивают, оставляя их там, где произрастали. Проходя по диагонали делянки, руками берут часть растений, формируя среднюю пробу (пробный сноп) которая должна составлять не менее 1–2 % общей массы урожая. Среднюю пробу связывают в один или несколько снопов. Пробный сноп берет со всех делянок один человек, обычно это техник-агрохимик или лаборант. Оставшиеся после отбора пробного снопа растения связывают и взвешивают вместе с пробным снопом. Затем пробный сноп взвешивают отдельно на специальных весах с точностью до 10 г и укладывают в мешок. Остальная масса урожая больше не нужна для дальнейшего учета и поступает в хозяйственное использование. Для страховки на случай повреждения или утери желательно с каждой делянки отбирать по два пробных снопа, которые формируют независимо со всей площади делянки.

Пробные снопы с этикетками кладут в мешки или другие приспособления и увозят в специальное помещение или под навес, где их высушивают до постоянной массы. Для определения времени обмолота, снопы периодически взвешивают. Окончательное взвешивание и обмолот производят после того, как убыль в весе прекратится. В зависимости от погоды снопы высушают за 7–14 дней. Если сушку осуществляли в сушилках, то перед окончательным взвешиванием необходимо 1–2 дня продержать вновь в сарае, чтобы они дошли до постоянного веса. После высухания пробных снопов до воздушно-сухого состояния их взвешивают вместе с мешком, обмолачивают любым доступным способом и взвешивают зерно и мешок. Массу соломы определяют по разнице между общей массой и зерном. Все взвешивания записывают в полевой журнал и пересчитывают

урожай пробного снопа на урожай с учетной делянки и гектара. Урожай зерна (соломы) с учетной площади (У) рассчитывают по формуле:

$$Y = A \times B : B, \text{ кг/делянку,}$$

где: А – общая масса урожая с учетной делянки, включая пробные снопы, кг;  
Б – общая масса сырого (взвешенного на поле при отборе) пробного снопа, кг;  
В – масса зерна (соломы) с пробного снопа после высушивания, кг.

Урожай с делянки пересчитывают на 1 га.

Другие косвенные методы учета урожая основаны на взятии в пределах опытной делянки пробных площадок, полос, борозд и т. п., с большей или меньшей точностью характеризующих урожай всей делянки. Принципиальное отличие их от метода пробного снопа заключается в том, что оставшиеся на делянке растения не убираются, т. е. их убирают на хозяйственные нужды со всех делянок вместе. По существу, все сводится к уменьшению размера учетной площади делянки. Все эти методы учета урожая имеют невысокую точность и в условиях стационарных опытов почти не применяются.

Наиболее распространенными модификациями косвенного метода являются учет урожайности по пробным площадкам, полосам, бороздам, рядкам. Учет урожая методом пробных делянок производится следующим образом. По диагонали учетной накладываются рамки, ограничивающие по 0,5 или 1 м<sup>2</sup> посева. Общая площадь таких площадок должна составлять 5–10 % общей площади делянки. Сжатые с делянки растения объединяют в один сноп, прикрепляют этикетку и вывозят в сушильный сарай. После просушивания до постоянной массы сноп взвешивают, обмолачивают, взвешивают зерно и по разнице определяют массу соломы. Урожай с пробной площадки пересчитывают на 1 га.

При учете по пробным рядкам и бороздам (метод линейного метра) на учетной площади делянки по диагонали или в шахматном порядке кладут линейки длиной 1 м. Убирают растения с двух соседних рядков, расположенных вдоль линейки. Убранные растения высушивают, обмолачивают, взвешивают и определяют урожай с погонной длины рядка 1 м. Умножив урожай с 1 рядка на ширину междурядий, определяют учетную площадь, а затем пересчитывают на урожайность с 1 гектара. Можно воспользоваться формулой:

$$Y = A : B \times 10000 \text{ кг/га (ц/га, т/га),}$$

где: А – масса зерна с 1 рядка, кг (ц, т);  
Б – ширина междурядий, м.

Основное преимущество косвенного учета урожая заключается в возможности обходиться без больших помещений для хранения поделенных урожаев до обмолота, а также в сокращении затрат труда и средств на проведение уборки. Он незаменим при проведении большого числа опытов в производственных условиях, дает возможность перевозить пробные снопы на значительное расстояние и производить их обработку в приспособленной для этого обстановке. О точности такого учета нет единого мнения. Вследствие сокращения потерь он обычно дает несколько более высокие абсолютные цифры (больше приближенные к потенциальной продуктивности). Достаточно точную оценку косвенный учет урожайности дает при закладке опыта на больших делянках. Если площадь делянки не превышает 10–20 м<sup>2</sup>, обязательно проводится только прямой учет урожайности.

При всех способах учета урожайность пересчитывают на стандартные показатели влажности и чистоты. Так, урожайность зерна хлебных злаков приводят к 14%-ной влажности и 100%-ной чистоте. Для пересчета используют формулу:

$$Y = \frac{Y_{\phi} (100 - B_{\phi})(100 - C)}{100(100 - B_{ст})},$$

где:  $Y$  – урожайность зерна при стандартной влажности, ц/га (т/га);  
 $Y_{\phi}$  – урожайность зерна с фактической влажностью при уборке, ц/га (т/га);  
 $C$  – засоренность зерна, %;  
 $B_{\phi}$  – фактическая влажность зерна при уборке, %;  
 $B_{ст}$  – стандартная (базисная) влажность зерна, %.

Стандартная влажность продукции сельскохозяйственных культур приведена в таблице 15.

**Зерновые культуры сплошного сева.** При уборке жаткой, серпами или косами скошенную массу оставляют на делянке. Применять жатку имеет смысл при величине делянки не меньше 200–300 м<sup>2</sup>. Каждую делянку убирают в отдельности за один или несколько проходов. Удобнее убирать подряд (одним проходом жнейки) несколько делянок, например, одно повторение. Необходимо следить, чтобы урожай не перемещался с делянки на делянку.

Урожай с каждой учетной делянки сейчас же связывают, снопы пересчитывают и складывают в копны. На этикетках, которых должно быть как минимум 2, простым карандашом пишут название опыта, вариант, повторность, номер делянки, номер снопа и общее количество снопов. Если позволяет погода, снопы просушивают в поле. В ином случае их немедленно перевозят в сноповой сарай. При перевозке урожая в сарай необходимо соблюдать осторожность, для предотвращения потерь. Снопы с одной делянки желательно поместить в отдельный мешок или ящик. При перевозке одновременно урожая с нескольких делянок их обязательно нужно перестилать брезентом для устранения потерь и смешивания зерна.

При хранении снопов до обмолота следует принять все меры к исключению возможности потерь урожая, смешивания зерна с разных делянок и опытов, уничтожения птицами и грызунами. Для этого необходимы специальные помещения (сноповые сараи) с большим числом отделений или закровов, обеспечивающих не только хранение снопов, но и их досушивание.

Общий урожай взвешивают перед самым обмолотом, причем проверяют число снопов, записанное на этикетке. Обмолот урожая делянок производят на любой небольшой молотилке. Молотилку следует настроить так, чтобы обеспечивалось хорошее отделение зерна от соломы и минимальные потери зерна. После обмолота каждой делянки молотилка должна проработать определенное время (устанавливается опытным путем) на холостом ходу и, если конструкция позволяет, остановлена и очищена от остатков зерен, для предотвращения потерь и засорения. Если молотилка не отвеивает полу, зерновую массу очищают на веялке с возможно меньшим числом сит.

Зерно взвешивают, отбирают среднюю пробу 2–3 кг для определения влажности, чистоты и фракционного состава зерна, а также определения его качества. Солому (и мякину) обычно не взвешивают, а количество ее определяют по разности между общим весом урожая перед обмолотом и весом зерна.

Особого внимания при учете урожая заслуживает применение комбайна. Наиболее успешно применение малогабаритных комбайнов. Уборка комбайном позволяет сократить объемы специальных помещений для хранения урожая, избежать перевозки снопов и устранить ряд промежуточных операций при учете, что существенно сокращает ошибку.

Для уборки урожая комбайном необходимо, чтобы ширина учетной площади делянки соответствовала ширине захвата жатки или была кратна ей. Механизм комбайна должен быть предварительно отрегулирован на оптимальный режим работы на данной культуре, а также необходимо определить продолжительность работы молотильного аппарата вхолостую между уборкой двух делянок. Установленный режим работы комбайна следует выдерживать в течение уборки на всем участке опыта.

Перед началом уборки комбайном убираются все защитные полосы – вокруг опыта, между повторениями и делянками. Так как размещение вариантов в повторении чаще всего рендомизированное, то выполнить рекомендации убирать делянки с одноименными вариантами по повторениям весьма затруднительно. Такая уборка возможна, если при закладке опыта были предусмотрены защитные полосы шириной, позволяющей обеспечить разворот комбайна. Современные комбайны позволяют производить уборку делянок подряд по повторениям или вариантам в зависимости от схемы размещения опыта. При этом комбайн разворачивается за пределами опытного участка, на защитной полосе вокруг опыта. При этом необходимо увеличить продолжительность работы комбайна вхолостую при переходе от одной делянки к другой. Прежде чем приступить к уборке следующей делянки, необходимо убедиться, что в приемную тару зерно не поступает. При уборке урожая самоходным комбайном имеется полная возможность организовать сортирование и взвешивание зерна в поле. Учет урожая соломы и половы производят на основании обмолота пробного снопа.

**Пропашные культуры.** *Кукуруза на зерно.* Урожай кукурузы убирают вручную, выламывая початки на всей учетной площади. Затем все початки взвешивают и определяют урожайность зерна. Пересчет массы початков с делянки на урожайность зерна при стандартной влажности проводят в следующей последовательности:

1) массу початков с делянки пересчитывают на 1 га с помощью того же переводного коэффициента, что и для культур сплошного рядового способа посева;

2) коэффициент выхода зерна определяют по отношению, в котором числителем будет масса зерна из 20 типичных початков, отобранных при уборке, а знаменателем – масса початков до обрушивания зерна;

3) умножив урожайность початков (в ц/га) на коэффициент выхода зерна, получают урожайность зерна при влажности, которая была во время обрушивания початков;

4) после определения влажности зерна на период уборки рассчитывают урожайность зерна при 14 %-ной влажности по методике, описанной выше для зерновых колосовых культур, или с помощью переводных коэффициентов.

**Подсолнечник.** В зависимости от площади учетной делянки урожай подсолнечника убирают механизированным способом или вручную. Зер-

ноуборочные комбайны со специальными приставками используют на делянках, где учетная площадь составляет  $\geq 100 \text{ м}^2$ . Уборку проводят после полного подсыхания корзинок. Если учетная площадь  $100 \text{ м}^2$ , урожай убирают вручную в два этапа: при бурении корзинок их срезают и, чтобы птицы не склевали, насаживают на стебли семенами вниз; после полного подсыхания корзинки собирают и обмолачивают.

Семена взвешивают, отбирают из них пробы для определения чистоты, влажности и качественных показателей, которые определяют в соответствии с действующими ГОСТами. Урожай с делянки пересчитывают на 1 га, 100 % чистоту и 12 % влажность по формуле, аналогичной для культур сплошного сева.

**Виноград.** В зависимости от схем опыта, числа повторностей, количества учетных кустов и величины делянок учет урожая проводят покустный, поделяночный или порядный с каждого учетного ряда делянки.

*Метод покустного учета урожая.* Преимущества покустного учета: 1) можно дать характеристику продуктивности не только опытной делянке в целом, но и каждого куста делянки в отдельности; 2) выключки нетипичных кустов из учета проводятся более обоснованно; 3) более правильно подбираются учетные кусты для опыта; 4) можно учесть влияние агроприема на кусты разной силы роста. При тщательном подборе кустов метод является самым точным из всех применяемых.

Необходимо отметить, что поделяночная или покустная методика учета урожая влияет и на другие учеты: количества глазков, побегов, гроздей и т.п. Покустный учет требует времени и не всегда осуществим, если опыт проводится в условиях производства. Поэтому на каждой делянке выделяют 15 учетных, наиболее типичных кустов для каждой делянки опыта. Их подбирают сначала (по типичному числу глазков, числу полноценных побегов и количеству гроздей) и с них убирают урожай. Учетные кусты отмечают этикетками, подробно заносят их адрес в журнал опыта и используют для работы во все последующие годы.

Покустным учетом урожая пользуются обычно там, где требуются глубокие исследования – в комплексных полевых опытах, при постановке длительных стационаров. В полевых опытах, где на делянке имеется 50 кустов и более, а также в опытах, которые ведут в условиях производства или в производственных опытах, урожай учитывают со всех кустов опытных делянок (поделяночно) или отдельных рядов больших делянок.

*Метод поделяночного сплошного учета урожая.* В условиях полевого опыта с небольшим размером делянок виноград собирают со всех учетных кустов, взвешивают его на месте сбора на точно отрегулированных весах. Если опытные делянки большие, массу урожая с каждой делянки взвешивают на автовесах в местах переработки – на винзаводах. Вес тары так же обязательно учитывают и вычитают из общего веса – брутто. После уборки урожая с учетных кустов и рядов убирают урожай с защиток.

В условиях производственного опыта, для получения данных об урожае отдельных больших делянок, урожай учитывают на отдельных площадках, состоящих из 5-10 рядов и более на площади в 0,5-1,0 га. Такой учет урожая называется сплошным на части делянки (1/3-1/4-1/5).

*Метод суммарного учета урожая с учетных кустов.* Этот учет урожая проводят только с тех кустов, которые подобраны по типичному числу глазков, полноценных побегов и гроздей. При этом учитывают суммарный урожай со всех учетных кустов. Метод более точен, чем предыдущие. Он эффективен и применяется в мелкоделяночных опытах. На больших делянках лучшие результаты дает метод сплошного учета со всей делянки.

*Предварительный учет урожая перед массовым сбором.* Учетный урожай может отличаться от истинного, биологического, так как до полного созревания он может быть поврежден градом, птицами, осами, болезнями, вредителями, ранними заморозками и т. д. Поэтому предварительный учет урожая на каждой делянке опыта дает очень полезную информацию о биологическом потенциале кустов, получивших дополнительное воздействие: удобрения, способы содержания почв, средства защиты, нормировка нагрузки и т. д. Для этого после окончания завязывания ягод подсчитывают число побегов, в т. ч. плодоносных, и гроздей на всех учетных кустах и рассчитывают фактическую среднюю нагрузку куста побегами и гроздями. По средней массе грозди (по средним многолетним данным) и их среднему числу на кустах рассчитывается величина ожидаемого урожая.

В период уборки урожая с кустов каждого варианта взвешивают взятых подряд 300-500 целых гроздей. Массу гроздей делят на их количество и определяют среднюю массу одной грозди. Умножая массу грозди на среднее число гроздей на куст, получают массу действительно возможного урожая с одного куста на каждой повторности опыта. При необходимости эту величину пересчитывают на 1 га.

*Особенности учета урожая трав* (клевера, вики и луговых трав). Учет можно вести как по всей делянке, так и пробному снопу. В первом случае скошенные растения оставляют на делянке, высушивают и сено взвешивают в поле. Во втором случае из скошенной массы набирают пробный сноп, сырую массу урожая всей делянки (вместе с пробным снопом) взвешивают в поле при укосе, а выход сухой массы определяют по пробному снопу. В пробных снопах (до высушивания) определяют также ботанический состав естественного травостоя и соотношение компонентов в травосмесях. Особенно широко косвенный учет применяют, когда нет возможности высушить всю массу травы, например, в затянувшиеся дождливые дни.

Урожайность зеленой массы или сена на пастбищах учитывают перед каждым выпасом скота следующими способами:

1) в каждом варианте взвешивают скошенную массу с трех учетных площадок (по 2 м<sup>2</sup>), перед каждым выпасом учетные площадки выделают в новых местах делянки;

2) взвешивают скошенную массу с половины учетной делянки, а на второй половине скошенную массу учитывают перед следующим выпасом;

3) всю учетную площадь варианта делят на равновеликие участки, кратные числу выпасов, и перед каждым выпасом для учета урожая выбирают новый участок.

*Учет урожая картофеля и корнеплодов.* При прямом учете выкапывают все растения с учетной площади делянки. При большой влажности почвы клубни или корнеплоды раскладывают до взвешивания на несколько часов нетолстым слоем на делянке для подсушки. Затем их очищают от земли, чаще

всего путем встряхивания на ручном грохоте, и взвешивают. Взвешивают в поле или даже непосредственно на делянке. Если взвешивание производят в хранилище, то клубни или корнеплоды складываются в один или несколько мешков, снабжаются этикетками, на которых простым карандашом указывают название опыта, номер делянки, вариант, повторение, номер мешка и общее их количество с делянки. Одну этикетку помещают вовнутрь мешка, вторую – снаружи. Более удобным следует считать взвешивание урожая непосредственно на делянке, помещая урожай в корзины или специальные носилки с ящиком. Если предусмотрено программой исследований, взвешивают и ботву. Если варианты различаются по степени высыхания ботвы, то с каждой делянки отбирают пробы для определения влажности. При сильной загрязненности клубней картофеля или корнеплодов с каждой делянки берут по 20 кг и после отмытки их водой определяют выход чистого урожая без учета налипшей почвы.

Обязательно берутся пробы корнеплодов и клубней для определения качества урожая и других предусмотренных программой анализов. Размер определяется запланированными сопутствующими анализами. В среднем это 10–15 кг картофеля и нескольких десятков корней корнеплодов. Эти пробы составляют таким образом, чтобы соотношение крупных, средних и мелких экземпляров соответствовало их соотношению во всем урожае делянки. Пробы упаковывают, снабжают этикетками и перевозят к месту хранения.

При косвенном методе учета урожая подсчитывают число растений на всей учетной площади делянки. Убирают не менее 20 растений. Очищают от излишков земли, взвешивают ботву и продуктивную часть (клубни, корнеплоды). Определив массу 1 растения и умножив на их количество, определяют урожайность с учетной площади делянки.

**Учет урожая многосборовых овощных культур** (огурец, томат, капуста цветная, перец, дыня, арбуз) производят следующим образом. По мере созревания плодов их собирают и взвешивают. Для определения общего урожая суммируют урожай всех сборов за вегетационный период. Овощные культуры во время уборки сортируют на товарную и нетоварную продукцию.

**Учет урожая прядильных культур** (льна, конопли) в общем сходен с учетом зерновых культур и может производиться как по всей массе, так и по пробному снопу. Однако, если в этой средней пробе предполагается определять выход волокна, она должна быть не меньше 30 кг (в сыром состоянии) и связываться не в один, а в несколько снопов. Поэтому учет по пробным снопам имеет смысл для этих культур лишь на делянках площадью  $\geq 100 \text{ м}^2$ . Соломку прядильных культур обязательно взвешивают непосредственно после обмолота, а не определяют по разности.

Урожайность соломки пересчитывают на 16 %-ную стандартную влажность, а семян – на 12 %-ную.

Для определения выхода волокна с делянки отбирают пробу массой 18–20 кг, взвешивают и расстилают тонким слоем на специальных стилищах. Через определенный промежуток времени массу снова взвешивают и с помощью переводного коэффициента на площадь рассчитывают урожайность тресты в центнерах на гектар. Выход волокна определяют после переработки пробы тресты в волокно.

**Первичная обработка цифрового материала.** Необходимым условием правильности проведения всех расчетов по опыту является наличие добро-

качественных и находящихся в порядке исходных данных, полученных непосредственно при взвешивании урожаев на поле, в сноповом сарае или лаборатории. Все результаты взвешиваний записываются в полевой журнал, где им отводятся соответствующие графы. Урожайность по каждой делянке пересчитывают на гектар. Затем они для каждого варианта суммируются по повторениям.

Эти данные подвергаются оценке предусмотренными в программе статистическими методами.

**Документация.** Первичными документами по каждому полевому опыту являются «Дневник полевых работ и наблюдений» и рабочие тетради. В дневнике фиксируются все работы и наблюдения, а также данные всех учетов, в рабочих тетрадях ведутся все необходимые записи массовых наблюдений, анализов и учетов. Записи в «Дневнике полевых работ и наблюдений» ведут простым карандашом, все поправки необходимо обязательно оговаривать.

Основным документом, включающим все сведения о полевом опыте: тема, обоснование опыта и задачи, схема, программа, план, характеристика опытного участка, методика исследований, записи всех агрономических работ, обработанные результаты наблюдений и анализов, урожайные данные, результаты статистической оценки урожайных данных и другие сведения, является полевой журнал. Журнал хранят в помещении, все записи в нем производят своевременно, заполняя его на основе первичной документации темными чернилами.

## **2.8.5. Методика проведения опытов по изучению отдельных агротехнических приемов<sup>7</sup>**

### **2.8.5.1. Изучение севооборотов**

*Количество методических работ по отдельным приемам техники и условиям полевого опыта, как и раньше, прямо-таки ничтожно, не смотря на то, что производственный опыт и его масштабы требуют совершенно иных «нормативов» и приемов техники.*

**П.Г. Лобашев**

*Успешное земледелие возможно лишь при условии, что намеченные культуры выращиваются не бессистемно одна за другой, а в севообороте, который, насколько возможно, должен отвечать специфичным требованиям растений в отношении почвы и питательных веществ.*

**Ганс Дубслаф**

Полевой опыт является основным методом разработки эффективных севооборотов. Такие опыты длительные и сложные по числу культур и сопутствующих наблюдений.

Изучение севооборотов начинают с оценки предшественников и промежуточных культур. На втором этапе изучают разные звенья севооб-

---

<sup>7</sup> При составлении раздела использованы работы Б.А. Доспехова (1985), С.С. Литвинова (2011), В.Е. Ещенко, М.Ф. Трифонова, П.Г. Копытко и др. (2009).

оротов. На основе полученных данных составляют схемы севооборотов с различным насыщением их ведущими культурами, которые изучают на третьем этапе исследований. На этом завершающем этапе закладывают многофакторные опыты по сочетанию научно обоснованных севооборотов с различными агротехническими мероприятиями. Опыты по изучению севооборотов проводят в 4-кратной повторности в пространстве и в 2–3-кратном повторении во времени. Технология выращивания сельскохозяйственных культур при изучении севооборотов – общепринятая для данного региона. Размер делянок должен обеспечивать возможность механизации всех агротехнических приемов.

*Изучение предшественников* проводят с целью выявить действие предшествующих культур на условия произрастания последующих двух-трех культур: биологическую активность почвы, ее агрофизические и агрохимические свойства, рост и развитие растений, засоренность посевов и поражение растений болезнями и вредителями, урожайность и качество продукции. Продолжительность каждого опыта составляет не менее 3-х лет: первый год – закладка предшественников, второй – действие предшественников на изучаемые культуры (первая культура), третий год – действие предшественников (вторая культура). Если вторая культура дает достоверную разницу в урожае в зависимости от предшественника, опыт продолжают до тех пор, пока разница в урожае по главным вариантам опыта не станет ниже наименьшей существенной разницы. Контролем должны служить общепризнанный в данных условиях предшественник или повторные культуры. В опытных вариантах изучают менее распространенные и мало изученные предшественники. Если, согласно схеме опыта, в структуру предшественников входят озимые зерновые культуры, то в программу исследований необходимо включать изучение фитосанитарного состояния посевов – засоренности и пораженности растений болезнями и вредителями. Изучение этого вопроса будет обязательным и в опытах с предшественниками для яровых культур, в которых также планируется анализ водного режима в корнеобитаемом слое почвы в начале и в конце вегетации растений. При оценке условий жизни озимых культур в зависимости от предшественников учитывают также состояние перезимовки растений и степень полегания посевов. К вспомогательным исследованиям условий жизнедеятельности растений после разных предшественников относятся изучение физических свойств почвы: структуры, плотности, строения, а также содержание в ней элементов питания растений. В опытах, где сравнивают бобовые предшественники с небобовыми, обязательный элемент исследований – анализ азотного питания растений.

*Изучение эффективности промежуточных культур* ведется с целью выявления лучших промежуточных культур, сроков их посева, звеньев севооборотов, в которых они дают наибольший агрономический и экономический эффект, влияния промежуточных культур на изменение условий роста и развития последующих культур, агрофизические и агрохимические свойства почвы. По каждой группе промежуточных культур рекомендуется закладывать отдельные опыты. Продолжительность каждого опыта не менее 3 лет: первый год – основная культура + промежуточная,

второй – первая культура (действие), третий год – вторая культура (последствие). Если урожай второй культуры показал достоверную разницу, опыт продолжают. Контролем служит посев тех же основных культур без промежуточных. Опыт можно ставить как на одном агротехническом фоне, так и на разных. В последнем случае делянки разбивают в поперечном направлении на части по числу фонов. Сроки посева промежуточных культур определяют специальными исследованиями до закладки опытов.

*Изучение звеньев севооборотов.* Цель – оптимизация схем чередования трех-четырех основных культур и возможности их повторных посевов (посадок), исследование условий произрастания культур, динамика физических и агрохимических показателей почвы, влияние различных чередований культур на снижение засоренности посевов, уменьшение повреждений растений вредителями и поражения болезнями, повышение качества и сохранности продукции; определение количества и качества урожая, экономическая оценка изучаемых вариантов. Опыты со звеньями севооборотов отличаются от опытов по изучению предшественников тем, что здесь изучают действие и последствие 3-4 летних звеньев с различным чередованием культур. Продуктивность каждого звена определяют по общему выходу продукции за все годы опыта, а последствия звеньев – по урожаям контрольных культур, завершающих звенья. Минимальная продолжительность каждого опыта определяется по формуле:

$$l = n + 2,$$

где:  $l$  – минимальная продолжительность опыта (число лет);

$n$  – продолжительность звена без контрольных культур;

2 – обозначает продолжительность возделывания контрольных культур.

При изучении продуктивности целых севооборотов схема опыта должна предусматривать: использование парозанимающих культур или чистого пара, наличие или отсутствие многолетних трав, разный удельный вес ведущих культур. В первом случае в схему опыта включают варианты севооборотов, которые различаются только одним условным паровым полем. Чтобы определить роль многолетних бобовых трав разного видового состава в севооборотах с определенным числом полей, опыт планируют по следующей общей схеме: в одном из блоков полей в первом варианте севооборота планируют выращивать одну многолетнюю бобовую культуру, во втором – вторую и т. д., а в последнем варианте – однолетние травы, с которыми, как правило, и сравнивают многолетние. В остальных блоках полей во всех севооборотах выращивают одинаковые культуры. Более сложны схемы опытов с севооборотами при изучении эффективности насыщения их наиболее распространенными в данной зоне культурами. Это обусловлено тем, что при расширении посевов одной культуры уменьшаются площади посевов другой, и наоборот. Поэтому в одном опыте с наименьшими затратами на проведение исследований можно одновременно изучать ряд вопросов, суть которых заключается в разной концентрации посевов нескольких сельскохозяйственных культур. Однако при этом исследователь не должен выходить за пределы допустимого расширения или сокращения площади посевов соответствующей

культуры. Например, в рисоводческих хозяйствах в структуре рисового севооборота нельзя исключать из севооборота рис или увеличивать его долю более чем 62,5 %. Поэтому в опыт с 8-польными севооборотами рекомендуют включать варианты с четырьмя или пятью полями риса. В современном уровне специализации рисоводческих хозяйств и эксплуатации инженерных систем в этой схеме под рис отводят пять полей или 62,5 % пашни, под многолетние травы – 2 поля или 25 % пашни, под культуры занятого пара – одно поле, или 12,5 % пашни.

В опытах по изучению севооборотов проводят такие же исследования, что и с предшественниками и севооборотными звеньями. Вместе с тем в длительных стационарных опытах с севооборотами можно изучать и вопросы, которые нельзя исследовать в краткосрочных опытах, например изменение отдельных элементов плодородия почвы за одну или несколько ротаций севооборотов. Чтобы решить эту задачу, экспериментатор должен запланировать в программе исследований следующее:

- изучить динамику содержания гумуса и элементов питания в почве и на основе полученных результатов провести балансовые расчеты за ротацию в отдельных вариантах севооборотов; исследовать влияние отдельных севооборотов на изменение физических свойств почвы: плотность, водопрочность структуры.

- изучить изменение засоренности почвы семенами и вегетативными органами размножения сорняков за ротацию севооборотов;

- оценить севообороты по их способности обеспечить охрану почвы от эрозии, предотвратить накопление возбудителей болезней и вредителей и создавать условия для получения экологически чистой продукции.

### **2.8.5.2. Изучение способов обработки почвы**

*Знание только тогда знание, когда оно приобретено усилиями своей мысли, а не памятью.*

**Л.Н. Толстой**

*Что значит хорошо возделывать поле? – Хорошо пахать. А во-вторых? Пахать. А в третьих? Унавоживать.*

**Катон Марк Порций**

Цель – выявить влияние обработки на агрофизические и агрохимические свойства почвы, ее биологическую активность и фитосанитарное состояние, а также количество и качество урожая. Изучают, главным образом, сроки, глубину и способы обработки.

*Размер опытных делянок* в опытах по обработке почвы зависит от задачи исследования, культуры и применяемой техники. Вопрос о размере, форме, размещении и направлении делянок, количестве повторностей решается в зависимости от типов используемых тракторов, почвообрабатывающих агрегатов, посевных (посадочных), поливных и уборочных машин, а также от количества изучаемых факторов. *Ширина делянок* должна отвечать требованию кратности проходов всех или большинства машин по принятой технологии возделывания культуры или изучаемой

технологии и ее отдельных элементов. *Длина делянки* часто зависит от ширины поля, отводимого под опыт. В многофакторном опыте площадь делянки должна быть не менее 100 м<sup>2</sup>, в комплексном – 130 м<sup>2</sup>.

Опыты по обработке почвы не должны быть громоздкими по вариантам обработок и числу культур. Фоном для приемов сплошной обработки должны быть оптимальные и одинаковые агротехнические приемы, рекомендованные для данных условий. Во второй год опытный участок занимается одной культурой для определения последствий видов обработок. Опыты по изучению отдельных приемов и способов обработки почвы обычно краткосрочны – 3–4 года.

*Эффективность сочетаний* систем основной и предпосевной обработки почвы изучают в стационарных опытах в наиболее типичных звеньях севооборотов. Используют три закладки во времени. Чередуют различные обработки по годам согласно схеме опыта. Контролем служат способы основной и предпосевной обработки почвы, рекомендованные для данной культуры и зоны. В многофакторных опытах заложенных методом расщепленных делянок количество вариантов и повторений целесообразно уменьшить, т. к. увеличивается количество делянок и сокращается их площадь. Многолетними исследованиями в этой области установлено, что учетная площадь делянки не должна быть менее 100 м<sup>2</sup>, а их количество не превышать 64.

Опыты по *минимизации обработки почвы* ставятся с целью выявить возможность сокращения числа и глубины обработок почвы, совмещения ряда технологических операций и приемов в одном процессе, применения орудий с активными рабочими органами и комбинированных агрегатов, уменьшения обрабатываемой поверхности поля при возделывании пропашных культур, повышения плодородия почвы, снижения энергозатрат.

В исследованиях по минимизации обработки почвы особое внимание следует уделять ее структуре, плотности и твердости по слоям пахотного горизонта, аэрации, пористости, влажности, водопроницаемости и другим агрофизическим факторам почвенного плодородия, а также учитывать распространение сорняков, болезней и вредителей сельскохозяйственных культур. При изучении способов и систем обработки почвы проводят сопутствующие агрофизические, агрохимические и биологические наблюдения и анализы. В опытах по изучению способов и глубин основной обработки почвы к обязательным исследованиям следует добавить анализ качества заделки растительных остатков предшественника и органических удобрений, а в опытах с разными предпосевными обработками почвы – и качества заделки семян. К обязательным исследованиям в опытах с обработкой почвы относятся также анализы засоренности посевов и распределения семян сорняков в пахотном слое почвы, способности почвы противостоять водной и ветровой эрозии. Как вспомогательные опыты можно планировать при изучении распределения удобрений по профилю почвы и элементов питания на глубину обработки.

Для оценки качества работы почвообрабатывающих машин измеряют:

– глубину хода почвообрабатывающего органа орудия или машины не менее чем в 15 точках по следу каждого рабочего органа с интервалом 0,5 м по длине гона;

– глыбистость поверхности поля до и после прохода агрегата методом наложения квадратной рамки площадью  $1 \text{ м}^2$  в 5-кратной повторности; глыбы разделяют на фракции 5–10, 10,1–15, 15,1–25 и 25,1–40 см; глыбы диаметром более 5 см измеряют в двух направлениях и вычисляют их площадь; суммарную площадь всех глыб относят к площади рамки и вычисляют процент глыбистости;

– комковатость почвы до и после прохода агрегата наложением рамки размером  $0,5 \times 0,3 \text{ м}$  на поверхность поля в 3-кратной повторности; все комочки размером менее 5 см делят на фракции 1–2; 2,1–3; 3,1–4 и 4,1–5 см и вычисляют их суммарную площадь; отношение суммарной площади к площади рамки составляет процент комковатости почвы;

– степень крошения почвы на площади  $0,3 \times 0,3 \text{ м}$  до и после прохода агрегата на глубину хода рабочего органа по слоям 0–10, 10–20 и т. д. в 3-х кратной повторности; разделение на фракции проводят на почвенных ситах; относя массу каждой фракции к общей массе, определяют степень крошения почвы в процентах.

– при оценке качества работы почвообрабатывающих машин руководствуются требованиями и нормами действующих государственных и отраслевых стандартов по испытанию машин и орудий для возделывания и уборки сельскохозяйственных культур, орудий для предпосевной, сплошной и междурядной обработок почвы и другие.

Достоверность данных по обработке почвы в поле в значительной степени обуславливается качеством работы машин и орудий, а также выравненностью фона по удобрениям и поливам.

Контролем в опытах по обработке почв должен быть соответствующий вариант из принятых для региона технологических карт или методы и способы, фактически применяемые в сельскохозяйственных предприятиях.

### **2.8.5.3. Разработка способов предпосевного обогащения семян микроэлементами**

*На высеянные в поле семена воздействуют различные взаимосвязанные факторы: температура, влажность, газовый состав, физические и химические свойства почвы. Для получения полноценных всходов необходимо создавать для семян наиболее благоприятные условия.*

**Н.К. Ижик**

*Думать – самая трудная работа; вот, вероятно, почему этим занимаются столь немногие.*

**Г. Форд**

Как известно, не все семена после посева дают всходы. Для прорастания семян некоторых видов растений необходимо удаление оболочек, для других – снижение содержания в них ингибиторов, третьих – обогащение метаболитами, четвертых – воздействие светом, теплом или другими физическими факторами.

Цель предпосевной подготовки семян – повышение их энергии прорастания и силы начального роста, что ведет к усилению ростовых

процессов и ускорению развития растений, повышению полевой всхожести, а также способствует повышению устойчивости растений к вредителям и возбудителям болезней, увеличению урожая. К числу таких агроприемов относится предпосевное обогащение семян микроэлементами.

Существует три способа предпосевного обогащения семян микроэлементами: опудривание, замачивание и смачивание. *Опудривание семян* (сухая обработка) микроэлементами – опыление семян перед посевом микроудобрением дефицитного в посевном материале микроэлемента. Наилучшие результаты этот способ обогащения достигается при опудривании семян смесью микроудобрения с тальком. Микроудобрения перед применением должны быть хорошо просушены и измельчены. Опудривание семян проводят в обычных аппаратах для протравливания.

*Замачивание семян* – увлажнение семян водным раствором микроэлемента. Для этих целей посевной материал за 2–3 дня до посева погружают в водный раствор микроэлемента. Экспозиция замачивания может составлять от 1 ч до 48 ч в зависимости от культуры. Замачивание производят в емкостях вместимостью до 200–250 л. После семена подсушивают до сыпучего состояния.

*Смачивание семян* – полусухая обработка посевного материала путем их опрыскивания водным раствором микроэлемента. Производят в аппаратах для протравливания семян. Норма расхода рабочего раствора 10 л/т семян. Обработанные таким способом семена не требуют дополнительного подсушивания, их влажность практически не изменяется и сыпучесть не снижается.

Реакцию семян на предпосевные обогащения различными микроэлементами изучают в начале в лабораторном опыте, затем – вегетационном и далее – полевом опыте.

Эксперименты, проводимые в лабораторных условиях, носят рекогносцировочный характер. В них определяют влияние микроэлементов на энергию, скорость и дружность прорастания, а также всхожесть и силу роста семян. Изучают поступление воды, макро- и микроэлементов; физиолого-биохимические процессы в прорастающих семенах, рассматривают вопросы методики обработки семян: сроки, концентрации и продолжительность обработки. Для проведения лабораторных экспериментов используют химически чистые, сухие и хорошо растворимые соли микроэлементов. Для приготовления соответствующих растворов используют дистиллированную воду. Лабораторные эксперименты выполняют в чашках Петри на фильтровальной бумаге или растильнях на 2/3 объема наполненных кварцевым песком.

В опытах обычно используются следующие диапазоны и концентрации микроэлементов (по действующему веществу):

1. В	— 0,001–0,5 %	7. V	— 0,001–0,1 %
2. Со	— 0,001–0,1 %	8. I	— 0,001–0,1 %
3. Mn	— 0,005–0,5 %	9. Ti	— 0,005–0,1 %
4. Cu	— 0,001–0,5 %	10. Li	— 0,001–0,5 %
5. Мо	— 0,001–0,1 %		
6. Zn	— 0,005–0,5 %		

Расчет количества солей микроэлементов (X), необходимых для приготовления 100 мл растворов соответствующих концентраций, производится по формуле:

$$X = \frac{П \cdot М}{А},$$

где: П – действующее вещество, %  
М – молекулярная масса соли  
А – атомная масса микроэлемента.

Например, необходимо рассчитать количество сернокислого марганца для приготовления 100 мл 0,5 % раствора. Проставив в формулу атомную массу марганца 54,938 и молекулярную массу  $MnSO_4$  150,998 получаем:

$$X = \frac{0,5 \cdot 150,998}{54,938} = 1,374 \text{ г/100 мл.}$$

Семена замачивают в водных растворах микроэлементов. Экспозиция замачивания может изменяться от 1 до 48 ч. Для изучения действия микроэлементов на посевные качества семян отсчитывают подряд четыре пробы по 100 зерен и равномерно укладывают в заранее подписанные чашки Петри. Затем в каждую чашку вливают по 20 мл дистиллированной воды. В качестве контроля используются семена, замоченные в дистиллированной воде. Чашки Петри ставят в термостат, в котором поддерживается переменная температура 20–30°C. Ежедневно в каждую чашку доливают по 20 мл дистиллированной воды. Продолжительность опыта 10 суток. Подсчет проросших семян проводят ежедневно. Результаты записывают в журнал по следующей форме (табл. 16).

Таблица 16– Число проросших семян за каждые сутки

Вариант	Сутки										Энергия прорастания, % (число семян проросших на 4-е сутки)	Всхожесть, % (число проросших семян за 10 суток)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Контроль	2	10	40	21	6	3	–	–	–	–	73	82
Мо	–	39	41	18	–	–	–	–	–	–	98	98

Скорость (V) и дружность (Д) прорастания семян риса рассчитывают следующим образом:

$$V_{\text{контроль}} = \frac{(2 \cdot 1) + (10 \cdot 2) + (40 \cdot 3) + (21 \cdot 4) + (6 \cdot 5) + (3 \cdot 6)}{2 + 10 + 40 + 21 + 6 + 3} = 3,3 \text{ сут.}$$

$$V_{\text{Мо}} = \frac{(39 \cdot 2) + (41 \cdot 3) + (18 \cdot 4)}{39 + 41 + 18} = 2,8 \text{ сут.}$$

$$D_{\text{контроль}} = \frac{82}{6} = 13,7 \text{ шт./сут.,}$$

$$D_{\text{Мо}} = \frac{98}{3} = 32,7 \text{ шт./сут.}$$

Скорость прорастания показывает среднюю продолжительность прорастания одного семени в сутках, а дружность прорастания – среднее число проросших семян за сутки.

При определении влияния микроэлементов на силу роста семян риса опыт длится 10 суток с соответствующими фенологическими наблюдениями и биометрическими измерениями проростков (табл. 17).

Таблица 17 – Биометрические измерения при определении силы роста семян

Вариант	Всхожесть, %	Высота роста	Длина корешка	Число корешков, шт./растение	Сухая масса ростка, г	Сухая масса корешков, г
		см				

Параметры посевных качеств семян и биометрические показатели относятся к внешним проявлениям состояния семян и растений до и после обогащения их микроэлементами. Оценка влияния микроэлементов на метаболические изменения динамики обменных процессов и особенности их механизмов проводятся с помощью физиолого-биохимических анализов. Одним из распространенных методов является определение активности ферментных систем, а именно, сложной системы протеолитических ферментов (протеаз), которая регулирует метаболизм белка в прорастающем семени. Изучение влияния микроэлементов на протеолитические ферменты дает возможность теоретически обосновать использование микроудобрений в растениеводстве.

По результатам лабораторных опытов выделяют наиболее эффективные варианты обработки семян микроэлементами, которые затем изучают в вегетационном и полевом опыте, оценивая эффективность влияния приема на рост, развитие и продуктивность растений.

В вегетационном опыте изучение отзывчивости сельскохозяйственных культур на предпосевные обогащения семян микроэлементами целесообразно проводить в следующем диапазоне концентраций:

- |                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| 1. В – 0,05–1,0 %  | 7. Li – 0,05–1,5 %  |
| 2. Со – 0,05–1,0 % | 8. I – 0,05–0,5 %   |
| 3. Mn – 0,1–1,5 %  | 9. V – 0,01–1,0 %   |
| 4. Cu – 0,05–1,0 % | 10. Ti – 0,05–1,0 % |
| 5. Mo – 0,05–1,0 % |                     |
| 6. Zn – 0,1–1,5 %  |                     |

Лучшие варианты отбирают и ведут дальнейшие исследования в полевом опыте. Обогащение посевного материала проводят одним наиболее дефицитным в семенах микроэлементом, что эффективнее, чем смесью микроэлементов, использование которой оправдано лишь при низком обеспечении семян одновременно несколькими микроэлементами. В качестве контроля берут семена необработанные микроэлементами.

Содержание микроэлементов в семенах достаточно тесно коррелирует с их силой роста, в частности количеством и массой проростков. Нами (Шеуджен А.Х., 1985) введен показатель, объединяющий эти важнейшие составляющие силы роста – бонитет прорастания семян (БПС – произведение массы и числа проростков).

#### 2.8.5.4. Опыты по изучению нормы высева и глубины заделки семян, сроков и способов посева

*Лучший путь к истине, это – изучать вещи, как они есть, а не верить, что они такие, как нас этому учили.*

**Д. Локк**

*Гораздо труднее увидеть проблему, чем найти ее решение. Для первого требуется воображение, а для второго только умение.*

**Дж. Бернал**

**Норма высева семян.** Семена для посева должны быть однородными, известного происхождения и одной и той же репродукции. При закладке опыта необходимо внимание обратить на качество посевного материала и норму высева семян. Во всех опытах норму высева желательно устанавливать по числу всхожих семян, а не по весу. Исходя из установленной нормы высева по числу всхожих семян, расчет весовой нормы для культур сплошного сева проводят по формуле:

$$H = \frac{100 \times H_1 \times M}{\Pi},$$

где: H – весовая норма высева, кг/га;  
H<sub>1</sub> – норма высева в миллионах всхожих семян, шт./га;  
M – масса 1000 семян, г;  
Π – посевная годность семян, %.

Посевная годность семян рассчитывается, исходя из их всхожести (В) и чистоты (Ч) по формуле:

$$\Pi = \frac{B \times \text{Ч}}{100}.$$

Например, норма высева семян яровой пшеницы 7 млн. всхожих зерен на 1 га, масса 1000 зерен 30 г, посевная годность 95 %. Весовая норма будет равна:

$$H = \frac{100 \times 7 \times 30}{95} = 223 \text{ кг/га.}$$

Для кукурузы, сорго, подсолнечника, клещевины и других пропашных культур весовая норма высева вычисляется по формуле:

$$H = \frac{M \times 10000}{B \times B \times \Gamma},$$

где: H – норма высева, кг/га,  
M – масса 1000 зерен, г;  
B – ширина междурядий, см;  
B – расстояние между семенами в рядке при посеве, см;  
Γ – хозяйственная годность семян, %.

Если предусматривается ручная расстановка растений, то B берется примерно 1/6–1/8 того расстояния, которое будет оставлено после прорывки.

Для клевера, люцерны, тимофеевки, житняка, могоара, суданки и других культур с мелкими семенами норма высева устанавливается по весу.

Точность высева определяется возможностью хорошей регулировки высевающего аппарата и одинакового высева всех сошников. Сеялки, у которых норма высева устанавливается с помощью зубчаток, регулирующих скорость вращения высевающего вала, работают точнее, чем сеялки, где норма высева определяется шириной рабочей части катушек.

Перед посевом сеялка устанавливается на требуемую норму высева. Соотношение зубчаток у первых сеялок или ширина рабочей части катушек, точно измеренная миллиметровой линейкой у вторых, записывается в журнал. Непременно выверяется равномерность высева сошников. Для этого ходовое колесо приподнимают, на каждый сошник подвешивают мешочек и при выдвигании катушек на  $\frac{3}{4}$  оборота проворачивают колесо 20–30 раз. Предварительно, чтобы семена заполнили высевающий аппарат, колесо 2–3 раза проворачивают. Семена каждого мешочка взвешивают отдельно, высчитывают среднюю массу семян на один сошник. Если все сошники работают равномерно, меняют ширину захвата катушек до  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  и снова выверяют работу сошников. При всех положениях высевающего аппарата высев отдельных сошников не должен отклоняться от среднего высева больше чем на 5 %. Если какой-либо из сошников работает неправильно, надо соответствующую катушку исправить и снова проверить работу.

При установлении нормы высева для мелких семян приходится давать очень маленький захват катушки. А при таком положении последней получается часто очень неравномерный высев. Чтобы избежать этого, можно добавлять к семенам какой-либо нейтральный балласт (просеянные опилки, толченый и просеянный уголь, просеяную шелуху). В этом случае норма высева семян рассчитывается иначе. Сначала вычисляют, как понизится хозяйственная годность посевного материала от прибавления к нему балласта, а затем определяют, сколько необходимо высеять данной смеси при заданной норме семян, имеющих 100 %-ную хозяйственную годность.

Допустим, посевной материал имеет хозяйственную годность 96 %, т. е. в 1 кг посевного материала содержится 960 г чистых всхожих семян. На каждый килограмм этих семян будет взято 2 кг балласта. Тогда хозяйственная годность смеси соответственно снизится и будет равна:

$$\Gamma = \frac{960 \times 100}{(1000 + 2000)} = 32 \%$$

Имея посевной материал с такой хозяйственной годностью ( $\Gamma$ ), рассчитывают, сколько его надо высеять ( $X$ ) при заданной норме высева ( $H$ ):

$$X = \frac{H \times 100}{\Gamma}$$

В данном примере, если принять норму высева в 18 кг семян 100 %-ной хозяйственной годности, потребуется высеять смеси:

$$\frac{18 \times 100}{32} = 56,25 \text{ кг.}$$

Следовательно, сеялку надо устанавливать на высев 56,25 кг смеси.

Посев опыта должен быть произведен в один день. Если опыт большой и посев ведут несколько дней, то каждое повторение обязательно высевают в один день.

При работе с сеялкой необходимо: 1) чтобы ею управлял очень опытный тракторист, во избежание огрехов; 2) тщательно следить, чтобы при работе не забивались сошники; 4) внимательно следить за количеством семян в ящике и за равномерностью их распределения в нем; 5) начинать посев за 1–1,5 м до начала деланки, т. к. пока семена достигнут поверхности земли, сеялка успеет пройти примерно такое же расстояние; 6) перед началом посева повернуть высеваящий вал так, чтобы семена заполнили высеваящий аппарат, иначе сеялка 1,5–2,0 м не будет засеивать; 7) при работе запрещается останавливать сеялку; 8) выключать сеялку только после выхода ее за границу поля; 9) не допускать на концах поля перекрестного засева, что делается на производственном посеве; 10) в случае, если по ширине поля или деланки не укладывается целое число проходов сеялки, лишнее число сошников закрывать, внимательно проверяя полноту этой изоляции; 11) перед работой сеялку тщательно осмотреть, смазать и проверить.

*Глубина заделки семян.* От глубины заделки семян зависит время появления и полнота всходов, поэтому наблюдения за интенсивностью появления всходов являются обязательными. К обязательным относят также фенологические наблюдения и определение основных биометрических показателей, которые характеризуют нарастание надземной массы. Составляя схему опыта по изучению глубины заделки семян, исследователь должен руководствоваться правилом: чем мельче семена, тем меньше максимальная глубина их заделки, и наоборот. От размера семян зависит и шаг эксперимента. Чем они крупнее, тем шаг больший, и наоборот.

Глубину заделки семян определяют путем раскопки посевного рядка (крупносеменные культуры), а также по длине этиолированной части растения при образовании одного-двух настоящих листьев. На каждой деланке делают не менее 20 замеров. Расстояние от места образования корешков до надземной части растения считается условной глубиной заделки семян. Для ее определения могут быть использованы материалы, резко отличающиеся по окраске от почвы, например, полимерные материалы в виде гранул, а также гранулированные удобрения, высеваемые одновременно с семенами.

На посевах зерновых культур при разной глубине заделки семян необходимо планировать определение глубины залегания узла кущения и кустистости растений. На посевах озимых зерновых культур в программу обязательных исследований дополнительно включают наблюдения за условиями перезимовки: наличие снежного покрова и его мощность, образование ледяной корки, накопление на поверхности поля талых вод, температура почвы на глубине залегания узла кущения. В опытах с сахарной свеклой одновременно с определением массы корнеплодов учитывают их форму и как они размещаются в почве — мелко или глубоко, на одинаковом уровне от поверхности почвы или на разном. В опытах с картофелем к обязательным учетам и наблюдениям относят подсчет стеблей в одном кусте, определение глубины размещения столонов и клубней, подсчет клубней в кусте, определение их размера, формы и массы.

Независимо от видового состава культур определяют влажность почвы на глубине заделки семян, исследуют корневую систему, учитывают степень поражения корней болезнями и вредителями. При этом фитопатологи-

ческие и энтомологические исследования планируют на ранних этапах развития корневой системы — в период формирования всходов, так как молодые первичные корни наиболее подвержены воздействию вредных организмов. В программу обязательных исследований на посевах высокорослых культур включают также изучение устойчивости растений к полеганию.

*Сроки посева.* Подходы в изучении сроков посева озимых и яровых культур различны. При изучении сроков посева озимых культур в качестве контроля берут среднюю дату рекомендованного для каждой природно-экономической зоны посевного периода. Шаг эксперимента для всех озимых культур – 3–5 дней. В схему опыта вводят 2–3 варианта более ранних и 3–4 варианта более поздних сроков посева. Период от первого до последнего срока посева может быть более длительным в опытах с озимыми на зеленый корм, с ячменем или рожью, а более коротким – в опытах с озимыми зерновыми культурами, в том числе с озимой пшеницей.

При изучении сроков посева яровых культур варианты не приурочивают к календарным датам. Сроки посева определяют по температурному режиму почвы. В этом случае пользуются ежегодными данными о наступлении оптимальной температуры почвы для прорастания семян исследуемой культуры. Эту температуру почвы на глубине заделки семян в опыте берут в качестве контрольного варианта, а опытные варианты размещают с обеих сторон от контроля с шагом 1–2°C. Сроки посева поздних яровых культур можно определять и по интенсивности прорастания семян сорняков, так как оптимальные сроки посева этих культур совпадают с периодом интенсивного прорастания семян большинства сорняков. По данной схеме опыты целесообразно закладывать на сильно засоренных семенами сорняков участках, что даст возможность оценивать сроки посева как прием борьбы с сорняками.

В опытах со сроками посева (посадки) экспериментальная работа исследователя направлена в основном на изучение процесса роста и формирования урожая. При этом обязательно планируют фитопатологические и энтомологические исследования, а также фитосанитарного состояния посевов и отдельных элементов водного режима, поскольку сроки посева в значительной степени определяются наличием влаги в почве. Из показателей фитосанитарного состояния посевов в таких опытах обязательно изучают засоренность поля, т. к. перенесение посева на более поздние сроки является одним из приемов провокации прорастания семян сорняков в допосевной период, и, наоборот, чем раньше посеять культуру, тем больше сорняков будет прорасти в период ее вегетации.

В опытах с озимыми культурами обязательно определяют степень перезимовки растений. Значительное внимание уделяют изучению температурного режима в зимний период с обязательным определением температуры почвы на глубине залегания узла кущения. К биометрическим учетам в этих опытах относится изучение развития вторичной корневой системы растений, которое в значительной степени зависит от исследуемого агроприема.

*Способы посева.* Способы посева в значительной степени зависят от засоренности почвы семенами сорняков. Так, если потенциальная засоренность полей высокая, то выбирают тот способ посева (рядовой, узкорядный, широкорядный), который может обеспечить эффективную борьбу с сорняками с помощью агротехнических приемов в течение вегетации растений.

Схемы опытов, в которых изучают способы посева многолетних трав, должны предусматривать разные варианты подпокровного посева и беспокровные посева. Чистые посева, в свою очередь, могут быть весенними и пожнивными. На рисовых чеках разные варианты рядового посева можно сравнивать с вариантом рассева семян риса из самолета в залитые небольшим слоем воды.

В опытах по изучению способов посева (посадки), как правило, определяют засоренность посевов и коэффициент расходования влаги на биосинтез сухого вещества. Значительное внимание в таких опытах уделяют наблюдениям за прохождением фенофаз и за выживаемостью растений в период вегетации. Большое значение в этих опытах придают определению показателей, характеризующих нарастание вегетативной массы и формирование элементов структуры урожая. Среди биометрических учетов обязательными являются: определение густоты посевов, кушения растений у злаков, измерение высоты растений, подсчет число листьев и расчет их площади. В опытах с картофелем формирование урожая оценивают по глубине клубнеобразования, числу клубней в гнезде, средней массе клубня, выходу товарной продукции и семенного материала.

*Густота стояния и равномерность распределения растений в рядке.* Динамику появления всходов изучают на постоянных метрочках по следам всех сошников на ширину захвата агрегата в трех-четыре повторениях каждый день до полных всходов. Для простоты учета взошедшие растения срезают под корень по мере их появления (выдергивать растение нельзя).

Дружность появления всходов вычисляют по формуле:

$$\Gamma = \frac{\Gamma_i}{\sum \Gamma_i} \times 100;$$

где:  $\Gamma$  – дружность появления всходов, %;  
 $\Gamma$  – число растений на день определения, шт./м<sup>2</sup>;  
 $\sum \Gamma_i$  – общее число растений в фазе всходов, шт./м<sup>2</sup>.

Густоту стояния растений определяют в фазе полных всходов и в период уборки путем сплошного учета или учета на постоянно выделенных делянках, пересчитывая на 1 га или 1 м<sup>2</sup>, по формулам:

$$K = \frac{\Gamma}{S}; \text{ или } K = \frac{10^4 \times \Gamma}{S}$$

где:  $K$  — число растений шт./м<sup>2</sup> или шт./га;  
 $\Gamma$  — число растений на учетной делянке;  
 $S$  — площадь учетной делянки, м<sup>2</sup>;  
 $10^4$  — число м<sup>2</sup> в 1 га.

Равномерность распределения растений в рядке (строке) определяют на учетных участках, расположенных по всей ширине захвата агрегата при прямом или обратном его ходе, путем учета числа растений в интервале, равном двум расчетным (теоретическим). Длина учетного участка должна быть кратной 10–20 учетным интервалам.

Результаты учетов заносят в специальную таблицу по следующим категориям: число растений в интервале равно 2–3 – нормальное распре-

деление, более 3 – загущенное, 1 – изреженное, 0 – пропуски. Полученные данные по количеству случаев суммируют и каждую категорию распределения растений выражают в процентах общего числа случаев по формуле:

$$\frac{\sum \Pi_n}{\sum \Pi} 100 + \frac{\sum \Pi_z}{\sum \Pi} 100 + \frac{\sum \Pi_{из}}{\sum \Pi} 100 + \frac{\sum \Pi_0}{\sum \Pi} 100 = 100 \%;$$

где:  $\sum \Pi_n$  — сумма случаев с нормальным распределением растений в интервале;  
 $\sum \Pi_z$  — сумма случаев с загущением интервалов;  
 $\sum \Pi_{из}$  — сумма случаев с изреживанием интервалов;  
 $\sum \Pi_0$  — сумма пропусков;  
 $\sum \Pi$  — общее число случаев.

При формировании густоты стояния растений главным критерием служит интервал между растениями в ряду. Его определяют по формуле:

$$И = \frac{10^8 \times C}{K \times Ш},$$

где: И – интервал между растениями в строке (рядке), см;  $10^8$  – площадь 1 га, рассчитанная в см<sup>2</sup>;  
 С – число строк в ленте;  
 К – заданная густота стояния растений на 1 га, шт.;  
 Ш – ширина ленты, см.

Допустимые отклонения от заданного интервала  $\pm 20$  %. В заданный интервал должно укладываться 80 % растений.

### 2.8.5.5. Особенности проведения опытов в условиях орошения

*Орошаемое земледелие в большей степени, чем какая-либо другая система земледелия, дает возможность управлять факторами, определяющими плодородие почвы. Природа часто бывает щедрой, но полагаться всецело на ее щедрость можно далеко не всегда. Устойчивые высокие урожаи собирает только тот, кто меньше всего полагается на произвол стихии.*

**Д. Торн**

*Наши истинные учителя – опыт и чувство.*

**Жан-Жак Руссо**

Основные методические положения, разработанные по постановке полевых опытов применительно к богарным условиям земледелия, можно в основном использовать и в орошаемом земледелии. Но имеется и ряд специфических особенностей, связанных с проведением поливов и со строительством ирригационной сети.

В опытах с орошением в первую очередь необходимо выявить оптимальные нормы, сроки и способы полива в конкретной почвенно-климатической зоне. Опыты проводят при самотечном поливе по бороздам (для риса – затопление чеков), периодическом поливе дождеванием, ежедневном поливе методом импульсного дождевания или освежительных поливов, капельном поливе, как в течение всей вегетации растений, так и по отдельным межфазным периодам.

Перед закладкой опыта по изучению режимов орошения и способов полива необходимо выполнить следующие работы:

– изучить рельеф и микрорельеф участка, пестроту плодородия почвы и её засоренность;

– провести почвенную съемку опытного участка в масштабе 1:1000;

– выполнить вертикальную съемку рельефа в масштабе 1:1000 с горизонталями через 0,1 м; при необходимости осуществить капитальную планировку поверхности опытного участка с полным сохранением пахотного слоя почвы;

– определить водно-физические свойства почвы;

– организовать наблюдение за осадками, температурой, относительной влажностью воздуха, направлением и скоростью ветра, группируя данные наблюдений по десятидневкам и выводя среднедекадные показатели; для сравнения приводят соответствующие среднеголетние показатели по данным ближайшей метеорологической станции; если она находится на расстоянии менее 10 км, то на опытном участке достаточно измерить количество осадков, температуру и относительную влажность приземного слоя воздуха; установить глубину залегания грунтовых вод и при уровне воды менее 2 м заложить сеть смотровых колодцев для наблюдения за его динамикой. Эти наблюдения проводят в резко различающихся по режиму орошения вариантах опыта. Замеры выполняют при посеве (посадке), перед поливом и каждый день после полива до установления стабильного уровня воды, в остальной период их проводят еженедельно, приурочивая к датам отбора почвенных образцов для определения влажности почвы. Колодцы располагают из расчета по два на одной делянке, минимум на двух повторностях опыта.

При изучении водно-физических свойств почвы определяют полевую влагоемкость, объемную массу, плотность, гранулометрический состав. Без них невозможно определять поливные и оросительные нормы.

*Суммарное водопотребление, поливная и оросительная норма.* Суммарный расход воды на транспирацию и испарение почвой называется суммарным водопотреблением, а расход воды за период развития растений, отнесенный к единице его урожая, называется коэффициентом водопотребления.

*Поливная норма* – количество воды за один полив. Для установления поливной нормы необходимо знать: полевую влагоемкость, объемную массу, глубину расчетного слоя почвы и влажность перед поливом. Имея эти данные, поливная норма определяется по формуле:

$$m = 100 \times h \times d(V - B),$$

где:  $m$  – поливная норма, м<sup>3</sup>/га;

$h$  – глубина расчетного слоя почвы, м;

$d$  – объемная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;

$V$  – полевая влагоемкость, % от массы абсолютно сухой почвы;

$B$  – влажность почвы перед поливом, % от массы абсолютно сухой почвы.

Влажность почвы учитывают в начале и конце каждой декады до глубины 1,0 м, до полива, через день после него и после сильного дождя (осадков более 10 мм). Отбор почвенных проб проводят на постоянных

площадках в двух точках на двух повторностях каждого варианта или в трех точках на одной типичной повторности каждого варианта.

Существует несколько методов определения влажности почвы – высушивание, спиртовой, карбидный, пикнометрический, электрометрический, тензометрический, нейтронный, гаммоскопический и другие. Эталонным считается метод высушивания почвенных образцов в сушильных шкафах при 105°C до постоянной массы. Обычные минеральные почвы сушат 6 ч, взвешивают, повторно сушат 2 ч, взвешивают и рассчитывают влажность почвы по формуле:

$$V=100 \frac{G_1-G}{G};$$

где:  $V$  – влажность почвы, % массы абсолютно сухой почвы;

$G_1$  – масса влажной почвы, г;

$G$  – масса почвы после сушки, г.

Для анализа результатов исследований по каждому варианту опыта рассчитывают среднюю влажность почвы (по точкам и слоям 0–20, 0–30, 0–40 и т. д.) и записывают в таблицу динамики влажности почвы (месяц, число определений, % НВ). Динамику влажности почвы представляют в виде сводного графика, где показывают также количество осадков и поливные нормы в масштабе и по датам. Такие графики обязательны при изучении режимов орошения и должны стать составной частью научно-исследовательских работ, проводимых на орошаемых землях. Срок очередного полива назначают по величине влажности почв в активном слое (слой, в котором размещается 80-90 % корней). Влажность почвы перед вегетационными поливами выдерживают в соответствии с рекомендациями по поливному режиму данной культуры.

Для проектирования и составления планов водопользования вместо влажности почвы перед поливом следует брать влажность при нижнем пределе оптимального увлажнения расчетного слоя почвы в % от абсолютно сухой почвы. *Нижний предел оптимального увлажнения*, при котором назначается очередной полив, устанавливается экспериментальным путем отдельно для разных почвенно-климатических условий и сельскохозяйственных культур.

*Оросительная норма* (количество воды за период вегетации растений) определяется по формуле:

$$M = E - P - A,$$

где:  $M$  – оросительная норма, м<sup>3</sup>/га;

$E$  – величина водопотребления, м<sup>3</sup>/га;

$P$  – количество продуктивных осадков за время вегетации, м<sup>3</sup>/га;

$A$  – количество влаги, используемой за счет запасов корнеобитаемого слоя, м<sup>3</sup>/га.

Показатели суммарного водопотребления, как и оросительных норм, постоянны, во влажные годы эти показатели значительно уменьшаются, а в сильно засушливые – увеличиваются.

*Полевая влагоемкость*. Полная влагоемкость – это такое состояние почвы, при котором все поры почвы заполнены водой. Увлажнение почвы

до 100 % от полной влагоемкости – явление редкое и кратковременное. Наибольшее количество воды, прочно удерживаемое почвой, соответствует предельно полевой влагоемкости (ППВ), она показывает, какое наибольшее количество воды почва может удерживать, например, рано весной или после обильного полива. Предельно полевая влагоемкость (ее часто называют полевой влагоемкостью) в зависимости от типа почв различна. На легкосуглинистых почвах она составляет около 20 %, на среднесуглинистых – 22 %, на тяжелосуглинистых – 25 % и на глинистых – около 30 % от полной влагоемкости. Определяется она так: площадка в поле размером 2×2, 3×3 или 4×4 м обваловывается. На нее в несколько приемов наливают воду в количестве, заведомо превышающем предполагаемую полевую влагоемкость метрового слоя почвы. С целью предохранения от испарения площадка покрывается 40–50 см слоем, измельченной соломы и через 3–4 дня, а затем ежедневно определяется влажность. Когда уменьшение запаса влаги прекратится, это и будет характеризовать предельную полевую влагоемкость. Стеkanie воды, неудержанной почвой, обычно прекращается на песчаных почвах на 2–3 день, на суглинистых на 4–5 и на тяжелых суглинистых и глинистых на 6–7 день.

Влажность почвы, при которой наступает устойчивое завядание, носит название влажности завядания, или коэффициента завядания. Коэффициент завядания зависит главным образом от гранулометрического состава почвы. На супесчаных – он не превышает 3 %, на легкосуглинистых этот показатель может достигать 10 %, на средне- и тяжелоглинистых почвах – 10–15 %.

*Объемная масса почвы* – это масса 1 см<sup>3</sup> абсолютно сухой почвы в ненарушенном сложении в граммах. Для определения объемной массы образец почвы берут в металлический цилиндр с отъемными крышками. Зная высоту и диаметр цилиндра, вычисляют его объем в см<sup>3</sup> по формуле:

$$V = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 h.$$

Объемная масса почвы рассчитывают по формуле:

$$d = \frac{B}{V},$$

где:  $B$  – масса сухой почвы в цилиндре;  
 $V$  – объем цилиндра, см<sup>3</sup>.

В пахотном горизонте, имеющем более рыхлое сложение и большее содержание гумуса, объемная масса колеблется в пределах 1,2–1,4, в безгумусных нижних горизонтах 1,6–1,8.

*Активный (расчетный) слой почвы.* Корни люцерны, сахарной свеклы проникают на глубину 3 м и более; кукурузы – до 2 м, зерновых колосовых – до 1,5–2, проса, гороха, овощных культур – до 0,75–1 м. Основная масса корней, в которой расположено до 90 % всасывающих корневых волосков и корней, сосредоточена в почве на значительно меньшей глубине. Поэтому при определении поливных норм активный (расчетный) слой почвы обычно берут для культур с глубокой корневой системой (са-

харная свекла, кукуруза, люцерна) – 70–100 см, для зерновых и зернобобовых – 60–70 см, для культур с менее глубоким распространением корневой системы (капуста, лук, помидоры) – 40–50 см. При таком расчетном слое поливная норма на разных почвах составляет 400–1000 м<sup>3</sup>/га и более. Во избежание вторичного засоления и заболачивания на участках с близким залеганием грунтовых вод (1–1,5 м) расчетный слой почвы должен составлять 40 см, поливная норма при этом не выше 400–500 м<sup>3</sup>/га. Это и должно служить основой для разработки поливного режима сельскохозяйственных культур на землях с близким залеганием грунтовых вод.

При постановке полевых опытов на орошаемых землях необходимо следить за равномерностью снабжения всей площади земельного участка водой и возможно точно регулировать количество воды, поступающей на каждую делянку. Даже небольшие отклонения во влажности почвы, вызванные неравномерностью полива, могут привести к различиям в продуктивности растений различных вариантов опыта, изменяющим эффекты от изучаемых факторов.

Участки, выделяемые под опыты на орошаемых землях, должны быть хорошо спланированы. Разница уровней поверхности в 10–15 см может быть причиной резкой пестроты урожаев в результате неравномерного увлажнения почвы. Поэтому к рельефу опытных полей на орошаемых землях предъявляются более строгие требования, чем в неполивных условиях.

Участок должен иметь равномерный и незначительный уклон вдоль поливных борозд, что способствует равномерному впитыванию проходящей по ним воды. Кроме того, при большом и неравномерном уклоне поливные борозды могут быть сильно размывы. Во всяком случае, уклон не должен превышать 0,01–0,02, или 1–2 м на 100 м, а еще лучше ставить опыты с орошением при уклоне 0,001–0,008 (0,1–0,8 м на 100 м).

Размер делянок в условиях орошения определяется схемой и техническими условиями опыта. Он может варьировать от 50 до 500 м<sup>2</sup> и более. Широко распространенное представление, что чем больше размер делянки, тем точнее результаты опыта, нельзя относить к орошаемому земледелию. Увеличение площади делянки неизбежно приводит к увеличению неоднородности почвенного покрова под опытом. Кроме того, размер площади под опытом должен быть таким, чтобы можно было, используя имеющиеся машины, проводить поливы, культивации и другие агротехнические мероприятия в сжатые сроки. Увеличение площади под опытом неизбежно приводит к растягиванию поливов и других мероприятий, что может существенно сказаться на результатах опыта.

Делянки прямоугольной или удлиненной формы с соотношением сторон примерно 1:10 и 1:15 располагают длинной стороной вдоль уклона. Такое расположение делянок удобно для проведения поливов и лучше отражает изменение плодородия почвы. Очень важно разместить весь опыт равномерно по всему участку в один ярус, особенно в опытах с изучением удобрений. При этом исключается перенос с водой растворимых удобрений с одной делянки на другую, равномерно проводится полив, легче учитывается вода. При расположении делянок в один ярус легче организовать независимую подачу воды на каждую делянку. Пропускать воду через одну де-

лянку на другую не рекомендуется, особенно в опытах с удобрениями. Если опыт заложен в несколько ярусов, то между ними прокладывают временные оросители, из которых воду подают на любую делянку.

Правильная постановка опытов в условиях орошения включает регулирование и точный учет количества воды, попадающей на весь опытный участок и на каждую делянку.

При планировании исследований по режимам орошения необходимо исходить из *предполивной влажности почвы* (варианты с нижним порогом влажности 60, 70 и 80 % наименьшей влагоемкости почвы – НВ), а в опытах с высоко требовательными к влаге культурами и до 90 % НВ. Нижний порог влажности почвы необходимо также дифференцировать по *основным межфазным периодам вегетации растений*: *первый* – от массовых всходов (или посадки рассады) до начала образования продуктивных органов, *второй* – от начала образования продуктивных органов до начала технической спелости, *третий* – от начала технической спелости до конца уборки урожая.

*Глубину увлажнения* при вегетационных поливах устанавливают в зависимости от культуры, периода её роста и развития. Глубину увлажнения (и соответствующую норму полива) во всех вариантах опыта по определению оптимального уровня влажности почвы принимают в первый период вегетации 0,2–0,4 м, во второй и третий периоды – 0,3–0,6 м (меньшая глубина для влажной зоны, большая – для засушливой и сухой). Глубина увлажнения должна быть равной активному слою почвы, в котором размещается 80–90 % корней растений. Срок очередного полива назначают по величине влажности почвы в этом слое.

Предполивную влажность почвы лучше исследовать при разных глубинах увлажнения. При этом резко увеличивается число делянок и возрастает объем работы. Глубину увлажнения и соответственно норму полива можно изучать в самостоятельном опыте при одном-двух уровнях увлажнения почвы.

При поливе дождеванием или механизированном поливе по бороздам, когда можно регулировать норму полива, необходимо исследовать глубину увлажнения до 0,4 или 0,5 м или иметь, как минимум, следующие четыре варианта: 0,2, 0,3, 0,3 м; 0,2, 0,4, 0,4 м; 0,3, 0,4, 0,4 м; 0,3, 0,5, 0,5 м. При самотечном поливе по бороздам обычно сложно увлажнить небольшой слой почвы, поэтому приходится изучать нормы полива при глубине увлажнения 0,5–0,6 м.

Число вариантов уточняют в каждом конкретном случае, исходя из задачи исследований, специфики культуры и почвенно-климатических условий зоны.

В опытах по орошению вариант без орошения обязателен при определении эффективности орошения в каждой зоне, за исключением пустынь, где без орошения невозможно выращивать сельскохозяйственные культуры. В этом случае контролем может служить рекомендованный ранее поливной режим. При необходимости во всех вариантах опыта, за исключением контроля, проводят предпосевной (посадочный) или весенний влагозарядковый поливы.

При изучении методов диагностики сроков полива необходимо обеспечивать оптимальный режим орошения данной культуры в данной зоне во всех вариантах опыта. В контрольном варианте нормы и сроки полива определяют по влажности почвы.

Основным требованием, предъявляемым к методам определения сроков полива, является соответствие разработанных показателей состоянию водного режима растений. Очень большое значение имеет быстрота и оперативность установления этих показателей, обеспечивающих постоянный контроль состояния водообеспеченности растений на протяжении всего вегетационного периода. Широкое распространение получил метод определения сроков полива по внешним морфологическим признакам – изменению окраски листьев и стеблей, частичному увяданию листьев в дневные жаркие часы. Следует иметь в виду, что при этом методе определяется срок полива с некоторым запозданием, поскольку потеря тургора листьями проявляется, когда растение уже страдает от недостатка влаги. Для культур с коротким поливным периодом иногда срок полива определяется по фазам развития растений.

Заслуживает внимания диагностирование сроков полива по физиологическим показателям, при котором обеспечивается получение наивысших урожаев. В качестве физиологических показателей берутся концентрация или осмотическое давление клеточного сока, сосущая сила листьев, «плач» растений. Наиболее разработанными физиологическими показателями, характеризующими состояние водного режима растений, являются сосущая сила листьев и концентрация их клеточного сока. Изменения этих показателей обусловлены главным образом количеством доступной для растений влаги в почве. Между ними и влажностью почвы существует обратная зависимость – при улучшении водного режима растений, после полива или дождя, сосущая сила или концентрация клеточного сока снижается и наоборот. Физиологические показатели водного режима, соответствующие определенным уровням влажности почвы, устанавливаются опытным путем для каждой культуры в конкретных почвенно-климатических условиях при высоком уровне агротехники.

Заслуживает внимания метод определения сроков полива путем водобалансовых расчетов, при котором суммарное испарение устанавливается по дефициту влажности воздуха. По количеству влаги в расчетном слое почвы к началу вегетации, количеству выпавших осадков и ежедневному расходу воды можно установить дефицит влаги в почве на данный период и по этим данным определить срок и норму полива. На основании психрометрических данных устанавливается среднесуточный дефицит влажности воздуха, который путем умножения на коэффициент суммарного испарения дает расход влаги за определенное время.

Наиболее полно изученным и общепринятым способом определения сроков полива сельскохозяйственных культур является влажность слоя почвы, в котором размещается основная масса активной корневой системы (расчетный слой). Диагностирование сроков полива по влажности почвы требует частого определения влажности расчетного слоя почвы, который для большинства растений равняется 0–70 и 0–100 см. Это

трудоемкий метод, что затрудняет применение его не только в производственных условиях, но и в научно-исследовательских учреждениях.

Из особенностей опытов на орошаемых землях следует указать еще на необходимость увеличения концевых защитных полос до 4–6 м, чтобы избежать ошибки, связанной с неравномерностью увлажнения. Защитные полосы, отделяющие опытные делянки от постоянных оросителей, должны быть не менее 6–8 м. Если в опыте предусмотрены неполивные делянки, то их окаймляют боковыми защитными полосами шириной не менее 3 м. В опытах с дождеванием ширину боковых защитных полос увеличивают до 4–5 м и более с каждой стороны делянки, чтобы исключить перенос ветром водяных струй на соседние участки. Ширину защитных полос и опытных делянок необходимо увеличивать при закладке опытов на почвах с близкими грунтовыми водами, чтобы устранить влияние подъема грунтовых вод, в случае одновременного полива соседних делянок. При поливе по бороздам длина их определяется размером посевных делянок, уклоном местности и водопроницаемостью почвы. Она, как правило, не должна превышать 150 м, так как при более длинной борозде почва увлажняется неравномерно, и образуются затопленные участки. На сильно проницаемых почвах борозды делают короче – около 100 м. Борозды нарезают в междурядьях. Глубина и ширина их определяются шириной междурядий, нормой полива, длиной борозды и физическими и физико-химическими свойствами почвы. На почвах со слабой водопроницаемостью лучше делать более глубокие борозды, а на почвах с большой водопроницаемостью целесообразно делать борозды средней глубины – до 15 см. Расстояние между поливными бороздами на легких почвах не должно превышать 70 см, а на почвах тяжелого гранулометрического состава с преобладанием горизонтальной фильтрации оно может быть увеличено до 1 м. В опытах с поливом напуском по полосам ширину и длину поливной полосы определяют в зависимости от поливной нормы, свойств почвы, рельефа опытного участка и размера делянок. На одной поливной полосе размещают одну или несколько целых делянок. Величину поливной струи при поливе по полосам устанавливают в пределах 2–6 л/с на 1 м ширины полосы.

Для правильной оценки оптимального режима орошения и способа полива необходимо определять динамику влажности почвы, наступление фаз вегетации растений, густоту стояния растений, прирост надземной массы и корней, изучать характер распространения корней, водный режим растений, динамику формирования урожая, его химический состав и качество. Для изучения водного баланса орошаемого участка в начале и конце вегетации влажность почвы определяют до глубины 1,6 м или до уровня грунтовых вод.

**Особенности методики проведения опытов с рисом.** Рис не предъявляет особых требований к почвам и по приспособленности к различным почвенным условиям не имеет себе равных среди культурных растений. Растения риса, как гигрофиты, хорошо растут на землях, где грунтовая вода залегает очень близко к поверхности почвы или выклинивается на поверхность почвы и где отсутствует отток поверхностных вод. Под рис непригодны легкие по гранулометрическому составу почвы, на которых длительное затопление или невозможно, или сопряжено с огром-

ными расходами оросительной воды. Так как рис выращивается при постоянном затоплении чеков и расход оросительной воды в два-три раза выше по сравнению с орошением других сельскохозяйственных культур, возделывание риса без устройства коллекторно-дренажных систем практически невозможно. Поэтому при строительстве инженерных рисовых систем каждая карта снабжается собственным сбросным каналом, который впадает в участковую дренажную, а та, в свою очередь, в магистральный коллектор. Дренажная вода из магистрального коллектора сбрасывается в водоприемник. Для получения высокого урожая риса необходимо поддерживать равномерный слой воды в пределах каждого чека. Возможно это лишь при тщательной выровненности его поверхности, которая достигается систематическим проведением планировочных работ.

Незатопляемые повышенные участки рисового чека практически почти не дают урожаев, т. к. в этих местах появляется много сорняков, а в условиях засоленных почв – солей, выносимых восходящими токами испаряющихся минерализованных грунтовых вод, которые и угнетают растения риса. В пониженных участках чека, где слой воды постоянно превышает 25 см и более, всходы риса погибают. Таким образом, как в повышенных, так и в пониженных местах чека растения риса не растут, и площадь орошаемых земель используется неэффективно.

Поверхность чеков рисовой системы планируют под горизонтальную плоскость перемещением почвогрунтов с высоких мест в низкие. Планировка поверхности рисовых чеков по своему характеру подразделяется на строительную капитальную, текущую и эксплуатационную.

*Строительная капитальная* планировка проводится при освоении целинных, залежных земель или при переустройстве примитивных систем на инженерные рисовые оросительные системы. В практике водохозяйственного строительства рисовых систем известны два способа капитальной планировки: обычный вертикальный и кулисный.

*Обычный вертикальный* способ капитальной планировки рисовых чеков представляет собой перемещение всего почвогрунта с высоких мест в низкие. В местах срезки с увеличением ее глубины резко снижается естественное плодородие почвы.

Суть кулисного метода заключается в том, что почва пахотного слоя с мест срезки и подсыпок, превышающих 10–20 см, сначала перемещается в сторону, в валы, или кулисы. Затем делают валики, полотна полевых дорог и планировочные работы. При этом места, откуда снят пахотный слой, должны быть спланированы ниже средней отметки чека на глубину снятого пахотного слоя (25–30 см). Грунт из бурта кулис распределяют по поверхности срезки и насыпок, а затем вся поверхность чека выравнивается длиннобазовым планировщиком под одну отметку с отклонением не более  $\pm 5$  см.

При кулисном методе строительной планировки увеличивается объем земляных работ и несколько усложняется их технология по сравнению с обычным вертикальным способом. Однако кулисная планировка позволяет сохранить естественное плодородие почв на всей площади чека, а следовательно и получить высокие урожаи зерна риса с единицы площади, осваиваемой или переустраиваемой на инженерные системы.

На рисовых севооборотах полевые опыты проводятся на крупных делянках (чеках и картах) и с таким расчетом, чтобы оградить посеvy сопутствующих культур от подтопления, вымокания и гибели. Одно из основных требований при закладке полевых опытов – вырвненность участка по почвенному плодородию. Последнее наиболее важно, т. к. возделыванию риса предшествует тщательная планировка поля  $\pm 5$  см, а при постановке опытов –  $\pm 3$  см. При планировке поля нарушается естественное плодородие почвы. В местах срезок пахотного горизонта почвы оно падает и тем больше, чем глубже срез. Даже применение кулисных планировочных работ полностью не избавляет от пестроты плодородия почвы вследствие капитальной планировки рисовых полей. Следовательно, основное требование, предъявляемое к опытному участку, а именно выравнивание его по почвенному плодородию, которые при культуре риса часто не соблюдается, и с этим приходится считаться как с неизбежным злом. Чтобы повысить точность опытных работ в этих условиях, на рисовых полях, отводимых под опытный участок, необходима планировка только кулисным методом.

Перед закладкой мелкоделяночных агротехнических и стационарных опытов нужны уравнивательные посеvy риса, учет урожая на которых осуществляется дробными площадками – 50–100 м<sup>2</sup>, что обеспечивает полную характеристику чека по уровню плодородия почвы.

Большое влияние на точность оценки оказывает расположение делянок в чеке относительно оросительного и сбросного каналов, т. к. растения у оросителя лучше развиты и более продуктивные, чем у сброса. Для получения сравнимых данных целесообразно иметь делянки вытянутой формы в направлении от оросителя к сбросу. Опыт располагать целесообразно не ближе 20–25 м к краю чека.

Азотные удобрения, применяемые под рис в форме сульфата аммония, а также фосфорные и калийные удобрения хорошо поглощаются почвой и локализуются в местах внесения. Поэтому при постановке кратковременных опытов с удобрениями не требуется каких-либо разграничений между вариантами опытов.

В длительных же стационарных опытах при ежегодной обработке почвы (частичном ее перемещении), а также в результате постоянного манипулирования слоем воды в период орошения риса и сопутствующих культур рисового севооборота и из-за сброса воды при применении гербицидов, миграция удобрений становится ощутимой. В этих условиях необходимо предусмотреть надежное ограждение вариантов и повторностей земляными валиками или синтетическим материалом. Требуется также разграничение вариантов в мелко- и микроделяночных опытах с регуляторами роста и пестицидами.

При изучении экспериментальных рисовых севооборотов (в пространстве) необходимо, чтобы паровые и травяные поля были ограждены от подтопления грунтовыми и фильтрационными водами, с тем, чтобы предотвратить вымокание и гибель сопутствующих культур. Достигается это постановкой опытов на больших площадях, облицовкой оросительных каналов и эффективно работающей водоотводной системой (сбросные каналы, коллекторы).

### 2.8.5.6. Опыты по химической защите посевов от сорняков, болезней и вредителей

*Решение продовольственной проблемы в значительной степени зависит от хорошо организованной системы защиты растений. В настоящее время в мировом земледелии предотвращаются потери от вредителей, болезней и сорняков на сумму более 100 млрд. долларов (27,6 % продукции земледелия), но фактические потери оцениваются в 244 млрд. долларов. В нашей стране потери достигают 25 % от фактического производства сельскохозяйственной продукции, т. е. каждый пятый гектар земли не дает потенциально возможной продукции.*

**А.В. Захаренко**

*В любой науке, в любом искусстве лучший учитель – опыт.*

**Мигель де Сервантес**

**Опыты по химической защите посевов от сорняков.** Взаимоотношения растений в агрофитоценозах определяется в значительной степени видами культурных и сорных растений, их численностью и периодом совместного произрастания, уровнем конкуренции за влагу, свет и элементы питания. Часто эти факторы оказываются решающими в определении вредоносности сорняков. Значительное влияние на степень вредоносности сорняков оказывают также агротехнические и почвенно-климатические условия, особенно обеспеченность продуктивной влагой. В связи с этим показатели вредоносности сорняков необходимо устанавливать применительно к конкретным региональным условиям для возделываемых сортов (гибридов) с учетом агротехнологий. Чтобы определить вредоносность сорняков в различающихся по погодным условиям вегетационных периодах исследования должны проводиться не менее 3–4 лет.

Существуют несколько методов исследования вредоносности сорняков: 1) проведение опытов по ручной прополке посевов и на основе полученных данных вычисление регрессионной зависимости урожайности от степени засоренности, с выявлением при этом коэффициента вредоносности; 2) в производственном посеве при помощи учетных площадок, различающихся лишь уровнем засоренности, проводят дробный учет урожая.

Формирование заданной численности сорняков в полевых опытах может быть выполнено двумя способами: опыт закладывается на выровненном по засоренности участке и удаляются лишние всходы сорняков в соответствии с заданной вариантами численностью; на незасоренных участках подсевают семена или подсаживают корневища сорняков, при появлении их всходов формируют необходимую численность по вариантам. Для имитации нужной плотности засоренности к культуре часто подсевают семена горчицы, овса, подсолнечника. Формирование заданной численности сорняков, удаление лишних растений по мере появления их всходов в течение вегетационного периода выполняют несколько раз путем подсчета на всей учетной площади делянок. Сорняки выдергивают с

корнем. Работу по формированию численности сорняков на всех вариантах одной повторности необходимо выполнить в течение одного дня. Густота стояния культурных растений должна быть оптимальной для сорта и близкой по полянкам опыта. Урожайность культуры и засоренность в момент уборки необходимо определять на той части полянки, которую в течение вегетации не использовали для других учетов и отбора проб.

Метод пробных площадок наиболее пригоден для определения вредоносности естественных сообществ и корнеотпрысковых сорняков – их подземные органы оказывают сильное отрицательное воздействие на культурные растения. Для каждой изучаемой культуры на одном поле с выровненным рельефом и однородной агротехникой должно быть с весны заложено и закреплено кольшками не менее 30 площадок размером 0,5–1,0 м<sup>2</sup>. В период максимального развития сорняков на половине площадки учитывают видовой состав, численность и массу сорняков. На остальной части площади определяют урожай или биомассу культуры, массу, численность и виды сорняков в конце вегетации. В период уборки урожая может быть применен метод произвольного наложения 30–40 учетных рамок (0,25–0,5 м<sup>2</sup>) на участке выровненного посева, засоренного в разной степени.

Значимое снижение урожая сельскохозяйственных культур наблюдается, начиная с некоторой определенной степени засоренности посевов. Уровень обилия сорного сообщества, при котором наблюдаются существенные потери урожая, называется *критическим порогом вредоносности*, потери урожая при этом, как правило, не превышают 5 % от фактического урожая. В производственных условиях наибольшее распространение получил *экономический порог вредоносности* (ЭПВ), который отражает минимальный уровень засоренности, при котором потери урожая сельскохозяйственных культур в стоимостном выражении равны стоимости затрат на предотвращение этих потерь.

Согласно существующим методам, математически ЭПВ выражается отношением дополнительного урожая, полученного благодаря применению гербицидов, к коэффициенту вредоносности:

$$\text{ЭПВ} = \frac{\text{ДУ}}{\text{В}},$$

где: ДУ – дополнительный урожай, полученный благодаря применению гербицидов;  
В – коэффициент вредоносности, отражающий потери урожая сельскохозяйственных культур в расчете на 1 сорняк при их совместном произрастании в течение всего вегетационного периода.

Расчет дополнительного урожая, окупающего производственные расходы, производится по формуле:

$$\text{ДУ} = \frac{З_{\text{п}}}{\text{Ц}}$$

где: З<sub>п</sub> – затраты на применение мер борьбы с сорняками, у.е./га;  
Ц – цена 1 ц урожая, у.е.

Для расчета ЭПВ с учетом коэффициента, отражающего потери урожая с момента применения гербицида, А.И. Пупонин и А.В. Захаренко предлагают использовать уравнение:

$$\text{ЭПВ} = \frac{C_r \times H_r \times Z_r}{C_n \times X_b \times X_r'}$$

где:  $C_r$  – цена гербицида, у.е./га;  
 $H_r$  – доза внесения гербицида, кг/га;  
 $Z_r$  – затраты на внесение гербицида, у.е./га;  
 $C_n$  – цена 1 ц урожая основной продукции, у.е.;  
 $X_b$  – коэффициент, характеризующий потери урожая в расчете на 1 сорняк, произрастающий в посевах весь вегетационный период, (ц/га)×(шт./м<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>;  
 $X_r'$  – коэффициент, характеризующий потери урожая в расчете на 1 сорняк, произрастающий в посевах с начала вегетации до применения гербицида, (ц/га)×(шт./м<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>.

Объектами исследований в опытах с гербицидами могут быть дозы расхода препарата, сроки и способы внесения гербицидов или их смесей. При выборе гербицидов, доз расхода и сроков применения учитывают чувствительность к ним сорняков и степень засоренности посевов.

Поскольку одной из основных задач полевых опытов с гербицидами является изучение их фитотоксичности для сорных и культурных растений в определенных почвенно-климатических условиях, при выборе участка под опыт особое внимание следует уделить типичности видового состава, численности распределения сорняков. Изучать противозлаковые препараты, где отсутствуют, например, сорняки-злаки, бессмысленно, также как гербициды, предназначенные для борьбы с малолетними сорняками, нельзя испытывать на участках, преимущественно засоренных многолетними сорными; растениями.

Для испытания гербицидов отводится участок однородный по почвенным условиям, выравненный по рельефу, на типичной для данного региона почвенной разности. Видовой состав преобладающих на участке сорняков должен быть также типичным для данного региона и соответствовать спектру действия испытываемых гербицидов. Для правильного представления о пестроте засоренности поля и оптимального размещения опыта в натуре изучение видового состава сорных растений проводят одновременно с уравнительными посевами и дробными учетами урожая. Для составления карты засоренности участка его рекомендуется разбивать на 100-метровые площадки (10×10 м), на которых учитывают численность и видовой состав сорняков наложением метровок.

Для однолетних двудольных сорняков экономическим порогом вредоносности, обуславливающим необходимость применения гербицидов является наличие 8–10 сорных растений на 1 м<sup>2</sup>, для многолетних сорняков – 1–2. Порог вредоносности однолетних сорняков – 15–20 растений на 1 м<sup>2</sup>, хотя в силу их пластичности гербициды рекомендуют применять при наличии 5–10 сорняков на 1 м<sup>2</sup>.

Целесообразно опыты с гербицидами проводить на изолированном стационарном участке, где должны размещаться как краткосрочные, так и многолетние опыты. Необходимость ежегодной смены участка при краткосрочных опытах с гербицидами предусматривает проведение уравнительных посевов и восстановление засоренности в течение 1–2 лет после их вы-

полнения. Многолетние опыты проводят в севооборотах или в его отдельных звеньях. В схемах опытов предусматривают изучение системы применения гербицидов или различных комбинаций при повторном наложении. При применении длительно действующих гербицидов возникает вопрос о вредном их последствии. В этих опытах, как правило, испытывают 2–3 гербицида. В следующем году поперек обработанных делянок высевают культуры, чередование которых предусмотрено севооборотами.

В зависимости от поставленной задачи размер делянок в опыте с гербицидами могут быть различными. При первичном испытании малоизвестных гербицидов, в котором необходимо в первом приближении установить их селективность и активность, можно ограничиться размерами делянок в 5–10 м<sup>2</sup> при 4–6-кратной повторности, принимая во внимание определенный риск существенной потери урожая. Практикуются микрополевые опыты с площадью делянок в 1–3 м<sup>2</sup> при 5–8-кратной повторности, в которых специфика работы ограничивает возможность применения делянок больших размеров. Эффективность изучаемых гербицидов сравнивают с контрольным вариантом, на котором гербициды не вносят. Контрольный вариант не пропалывают лишь на культурах сплошного посева. На пропашных культурах обязательно проведение ручных прополок на контрольном варианте. С целью изучения потерь урожая от сорняков может быть применен и второй контроль – без прополки.

Наиболее простой схемой опыта является испытание 3–4 доз одного препарата при одном способе применения. В одну схему опытов можно включать два или три способа применения гербицида: при до посевном внесении с заделкой в почву, до всходов без заделки и послевсходовом применении. Сравнительное испытание гербицидов, принадлежащих к одной группе по способу действия и применения, проводят в одном и том же опыте. Нельзя в одном опыте изучать гербициды с разным спектром действия и на разных культурах.

В опытах с гербицидами применяют общепринятую для региона и культуры агротехнику с выполнением всех требований методики полевого опыта. Однако имеются и некоторые особенности. Особенностью техники посева в опытах с гербицидами является необходимость в ряде случаев, помимо основной культуры, высевать растения-индикаторы, чувствительные к определенному типу гербицида. Посевом индикаторных культур лучше восполняют естественное засорение, которое обычно бывает недостаточно равномерным и не всегда представлено нужными видами сорняков. Поскольку искусственно посеянные сорняки всходят, как правило, очень неравномерно на протяжении длительного периода, иногда в качестве растений-индикаторов используют овес, просо, горчицу и другие культуры, близкие по ботаническим признакам к определенным сорнякам. Рекомендуют высевать биоиндикаторы в том же направлении, в котором производится посев основной культуры. В опытах, где применены биоиндикаторы, проводят обычные учеты естественной засоренности почвы. Весовые учеты общей надземной массы растений-индикаторов дополняют данные оценки гербицидной активности изучаемых препаратов.

Оценка эффективности нового гербицида по сравнению с эталонным может быть получена только при сравнении доз, вызывающих оди-

наковый эффект, но не при сравнении различий в действии одинаковых доз. Наиболее полную характеристику изучаемых препаратов оценивают по большому набору постепенно возрастающих эффективных (действующих, но не сублетальных) доз. Постепенное изменение доз получают методом последовательного разведения раствора исходной концентрации гербицида до минимально эффективной дозы (10-20 % ингибирование роста биотеста). В результате эффективные концентрации гербицида или логарифмически снижающиеся дозы представляют собой ряд показателей, где каждая последующая величина ( $D_n$ , г/га) отличается от предыдущей на равный процент, называемый процентом снижения дозы – P.

$$D_n = \left( \frac{100 - P}{100} \right)^{n-1} \times D_{max},$$

$$P = \left( 1 - \left( \frac{D_{min}}{D_{max}} \right)^{n-1} \right) \times 100,$$

где:  $D_{min}$  – минимальная доза гербицида, при которой начинает проявляться его фитотоксическое действие, г/га;  
 $D_{max}$  – максимальная (сублетальная) доза гербицида, при которой прекращается рост корня растения или наиболее значимо на 70-80 % ингибируется биомасса тест-растения по сравнению с контролем, г/га;  
 $n$  – номер концентрации в ряду, равный 1,2.

Жидкие гербициды в полевых опытах применяются обычно с помощью ручных ранцевых или тачечных опрыскивателей, гранулированные препараты вносятся вручную путем рассеивания по поверхности почвы. При производственном испытании гербициды применяют с помощью тракторных штанговых опрыскивателей. Гербициды в опытах, как правило, вносят по повторениям, т.е. сначала обрабатывают все делянки первого повторения, затем все делянки второго и т. д. Это делается по той причине, чтобы изменяющиеся условия во время внесения гербицидов не нарушали основного требования опыта – равнозначности всех факторов, кроме изучаемого. Для обеспечения равномерного внесения гербицидов и предотвращения переноса их с делянки на делянку опрыскивание необходимо проводить в безветренную погоду. При необходимости соседнюю делянку с подветренной стороны защищают фанерными щитами, которые затем переносят по мере продвижения опрыскивателя. Границы делянок предварительно обозначают натянутым шнуром. Опрыскивание проводят путем равномерного движения посередине делянки и переноса распылителей в такт с шагами от одной ее стороны до другой, поддерживая их на одном и том же уровне от поверхности земли. Скорость движения должна быть такой, чтобы раствора, залитого в опрыскиватель, хватило на два прохода по делянке, т. е. туда и обратно. В случае остатка в опрыскивателе небольшого количества раствора, его распределяют по всей площади делянки. Двукратное прохождение по делянке в противоположных направлениях исправляет неравномерность внесения гербицида, обусловленную снижением секундного выпуска жидкости по мере падения давления в опрыскивателе.

Исходя из важности выявления действия гербицидов на культурные и сорные растения, наблюдения за их поведением проводят в течение всего вегетационного периода. Определяют признаки повреждения культурных и сорных растений, сроки и степень проявления этих признаков, сроки гибели растений или возвращение их к нормальному состоянию. Кроме количественного определения засоренности посевов в опытах с гербицидами необходимо учитывать семенную продуктивность достигших полного созревания сорняков, так как от нее в значительной степени будет зависеть потенциальная засоренность посевов последующих культур.

Гербициды могут действовать на культурные растения и как ингибиторы или стимуляторы роста, поэтому в опытах с ними обязательными являются наблюдения и учеты показателей роста и развития выращиваемой культуры. Уничтожая сорняки, гербициды могут существенно влиять на водно-пищевой режим почвы. Поэтому в опытах планируют также определение запасов влаги в корнеобитаемом слое почвы и обеспеченности культурных растений элементами питания. К обязательным исследованиям в таких опытах относят и изучение микробиологической активности почвы: определяют интенсивность дыхания почвы, способность микроорганизмов к разложению клетчатки и нитрификационную способность почвы пахотного слоя. Кроме учета урожая и определения его качества в опытах с гербицидами продукцию анализируют на содержание остаточных количеств применяемого препарата. Эти исследования выполняют в специальных межведомственных лабораториях, которые по результатам анализов дают разрешение на использование сельскохозяйственной продукции для пищевых и кормовых целей.

**Опыты по химической защите растений от болезней и вредителей.** При изучении действия отдельных элементов химической защиты растений от болезней и вредителей исследователь может решать следующие задачи: а) определять оптимальные дозы препарата; б) устанавливать оптимальные сроки применения препаратов; в) выявлять среди препаратов наиболее эффективный.

Если в опыте используют химические препараты для защиты растений от болезней, то объектом исследований, прежде всего, будет степень пораженности растений разными болезнями. К обязательным исследованиям относят также изучение реакции растений на химические препараты. При изучении средств химической защиты растений от вредителей, необходимо вести учет численности вредителей до и после обработки посевов, определять процент поврежденных растений, анализировать последствие повреждения на рост и формирование урожая. В опытах по химической защите растений определяют полевую всхожесть, энергию прорастания семян, дружность появления всходов, густоту стояния растений, интенсивность нарастания вегетативной массы и формирования урожая (при протравливании посевного материала). Если пестицидом обрабатывают уже вегетирующие растения, то кроме учета пораженности их болезнями и вредителями можно ограничиться определением только тех биометрических показателей, на которые могла повлиять химическая обработка (высота растений, их масса, число листьев на растении, площадь листьев, продолжительность жизнеспособности органов растений, определяют содержание воды и хлорофилла в листьях и продуктивность фотосинтеза).

### 2.8.5.7. Методика полевых опытов по защите почв от эрозии

*В Российской Федерации 48,6 % паши расположены на склонах круче 1°. С пахотных угодий ежегодно с стоком талых и ливневых вод смывается около 4,0 т/га мелкозем. При этом со всей площади пахотных склонов потери азота, фосфора и калия, по содержанию питательных веществ, эквивалентны 2,5 млн. т условных туков.*

**В.Г. Минеев**

*Конечной целью исследований в области эрозии почвы является решение проблемы эрозии путем осуществления соответствующих противоэрозионных мероприятий.*

**Р.П. Морган**

Объектом исследований в опытах по изучению противоэрозионных агроприемов является почва, а факторами воздействующими на нее могут быть обработка почвы, структура посевных площадей в севообороте, полосное размещение посевов, лесные полосы. Планирование экспериментальной работы зависит от вида противоэрозионных приемов и средств, изучаемых в опыте.

Постановка полевых опытов на эродированных почвах основывается на общих методических положениях, разработанных для неэродированных почв. Вместе с тем, проведение опытов на эродированных почвах имеет ряд особенностей. К ним относятся: смыв почвы и сток воды, эрозионные ложбины и промоины, крутизна и экспозиция склона, пестрота почвенного покрова и потери элементов питания из почвы и вносимых удобрений. С изменением крутизны и экспозиции склона меняется, например, тепловой режим и продолжительность вегетационного периода возделываемых культур. При изменении скорости ветра в неодинаковой степени распределяется снежный покров и атмосферные осадки. Почвы на склонах имеют меньшие запасы продуктивной влаги, чем с ровных участков.

Урожай сельскохозяйственных культур на эродированных почвах в зависимости от степени развития эрозионных процессов, на 20–60 % ниже, чем на неэродированных почвах. Для разработки системы удобрения на эродированных почвах необходимо:

- изучить действие и взаимодействие минеральных и органических удобрений в сочетании с основными факторами почвозащитной системы земледелия;
- установить оптимальные значения агрохимических, водно-физических и биологических показателей в эродированных почвах;
- определить влияние удобрений на фоне почвозащитных технологий возделывания сельскохозяйственных культур на основные свойства эродированных почв и их противоэрозионную устойчивость;
- определить потери элементов питания из почвы и удобрения в результате эрозии;
- изучить баланс органического вещества и элементов питания растений при различных системах удобрения сельскохозяйственных культур и способах обработки эродированных почв.

Проведение опытов с удобрениями на эродированных почвах имеет ряд существенных особенностей, обусловленных свойствами этих почв и протекающими эрозионными процессами:

- опыты ставят только на тех участках, где проводится комплекс мер по защите почв от ветровой и водной эрозии на основе проектов внутрихозяйственного землеустройства с противоэрозионной организацией территории;

- для проведения опытов выбирают односторонние склоны при наличии водной эрозии или сравнительно ровные участки в районах ветровой эрозии, которые являются наиболее типичными для данной зоны;

- размещение опытов на склоновых землях проводят с учетом характеристики склона, его почвенного покрова, а на дефлированных почвах учитывают еще и направление эрозионно-опасных ветров;

- в опытах, как правило, минеральные удобрения изучают в сочетании с органическими, которые необходимы для воспроизводства плодородия эродированных почв;

- обработку почвы, посев и уход за растениями на смытых почвах необходимо проводить поперек склона или контурно, а в районах дефлированных почв – поперек направления эрозионно-опасных ветров;

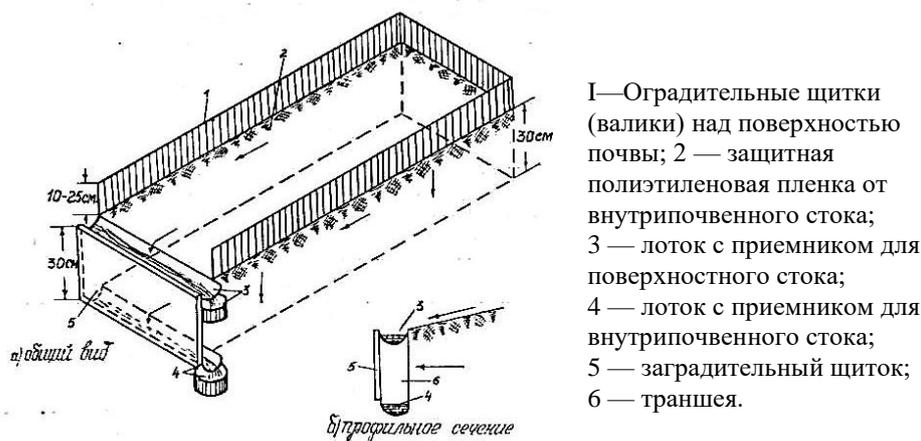
- стационарные опыты должны дополняться краткосрочными полевыми и микрополевыми, которые должны включать характерные варианты стационарного опыта для выявления различий в эффективности удобрений на почвах разной степени эродированности, кроме того, в них изучают те вопросы, которые не нашли отражения в стационарном опыте;

- перед закладкой стационарного опыта и в процессе его проведения проводят количественный учет эрозии почвы как на опытном участке, так и на прилегающей к нему территории.

*Водная эрозия.* В районах распространения эродированных почв опыты должны быть проведены по одной и той же схеме на несмытых и слабо или среднесмытых почвах, наиболее распространенных в данной почвенно-климатической зоне. При этом почвы опытных участков должны относиться к одному и тому же генетическому подтипу и быть близкими по гранулометрическому составу.

Учет эрозии почв проводят как до закладки стационарного опыта, так и в процессе его проведения. При этом учитывают не только сток воды, смыв или выдувание почвы, но и потери с продуктами эрозии питательных веществ из почвы и внесенных удобрений.

Потери воды и почвы в результате стока и смыва являются наиболее точными показателями интенсивности развития эрозионных процессов на склоновых землях. Для учета этих потерь необходимо иметь стоковые площадки – постоянные или временные специально оборудованные измерительными устройствами делянки. Стоковая площадка представляет собой небольшой водосбор – участок склона, изолированный от окружающей площади металлическими, деревянными, асбоцементными или земляными бортиками (рис. 41).



- 1—Оградительные щитки (валики) над поверхностью почвы;
- 2 — защитная полиэтиленовая пленка от внутрипочвенного стока;
- 3 — лоток с приемником для поверхностного стока;
- 4 — лоток с приемником для внутрипочвенного стока;
- 5 — заградительный щиток;
- 6 — траншея.

Рис. 41. Схема устройства стоковой площадки на склоне для учета поверхностного и внутрипочвенного стоков.

В полевых опытах по изучению водной эрозии почвы используются длинные стоковые площадки с минимальной площадью около 1000 м<sup>2</sup>. Наряду с этим обязательным требованием является раздельная обработка почвы поперек делянок (поперек склона) с разворотом агрегатов на защитках шириной не менее 8–10 м. Чтобы выполнить это условие, необходимо выделять 4–5-метровые боковые защитки, что увеличивает площадь опытной делянки примерно вдвое в сравнении с учетной стоковой площадкой. Поэтому минимальным размером опытной делянки в полевых опытах по изучению противоэрозионных мероприятий на склоновых землях следует считать 2000 м<sup>2</sup> (20×100 м). В ряде случаев можно использовать и несколько меньшие делянки, порядка 1000 м<sup>2</sup> (20×50 м).

Рекомендуется такая последовательность в проведении работ:

1. Выбор земельного участка. Предварительная оценка почвенного покрова.
2. Проведение разведывательного посева и дробного учета урожая.
3. Разбивка опытного участка на делянки.
4. Проведение детальной почвенной съемки участка.
5. Поделяночный отбор смешанных образцов из пахотного слоя почв.

Земельный участок для опыта следует выбирать на преобладающих в зоне комплексах склоновых земель. Опыт размещают на одностороннем склоне восточной или западной экспозиции. В зависимости от целей исследования опытный участок может располагаться по всей длине склона от водораздела до бровки поля или в наиболее характерной его части. На склонах выпуклой формы стоковые площадки длиной около 100 м и весь опытный участок целесообразно и оправданно в организационно-техническом отношении располагать у нижней границы поля в наиболее крутой части склона, где обычно находятся среднесмытые и сильносмытые почвы, требующие применения противоэрозионных приемов и комплексов. Общая площадь под опытом должна соответствовать техническим возможностям одновременного проведения всех агротехнических работ на опыте в оптимальные сроки. Целесообразно планировать закладку стационарных

полевых опытов на склоновых землях в пределах 4–6 га. Повторения на опытном участке размещают сплошным и разбросанным методами. Второй метод следует использовать в том случае, когда из земельного массива приходится исключать те участки (глубокие западины, бугры, старые дороги и т. д.), которые могут сильно исказить формирование стока.

Учитывая сложность условий проведения эксперимента, трудоемкость и громоздкость опытов по разработке приемов предотвращения водной эрозии почвы, целесообразно в схеме иметь не более 4–5 контрастных вариантов – противоэрозионных приемов или комплексов.

Противоэрозионные агротехнические опыты, требующие точных сравнений и статистической оценки, целесообразно закладывать в 3–4-кратной повторности с рендомизированным размещением вариантов внутри каждого повторения. Планируя закладку опыта в трех повторениях, необходимо предусмотреть выделение в каждом повторении двух делянок для размещения на них контрольного варианта, что существенно повысит точность сравнений.

Для изучения агрохимических свойств почвы почвенные образцы составляют из индивидуальных проб. При площади делянки 100–200 м<sup>2</sup> для смешанного образца берут 10–12 индивидуальных проб, при площади делянки меньше 100 м<sup>2</sup> количество индивидуальных проб может быть сокращено до 6–8, а при площади больше 200 м<sup>2</sup> увеличено до 15–20.

Наиболее целесообразным способом размещения индивидуальных проб по делянке при вытянутой ее форме является размещение по диагонали. Этим способом достигается наибольший охват площади делянки. Для наблюдений за динамикой свойств почв в течение вегетационного периода смешанные образцы рекомендуется брать с небольшой площадки, которую можно зафиксировать в поле и на плане, и составлять эти образцы из пяти индивидуальных проб. На протяжении всех лет проведения опыта способ отбора проб должен быть одним и тем же.

Для углубленного изучения вопросов удобрений в многофакторном опыте наиболее информативной является выборка (1/4) полной факториальной схемы (4×4×4). Она позволяет конкретизировать особенности влияния отдельных видов удобрений на физико-химические и агрохимические свойства, а также биологическую активность почвы. Схема содержит следующие варианты:

000	200	020	002	220	202	022	222
111	311	131	113	331	313	133	333

Каждый вид удобрений N, P и K представлен в четырех (включая нулевую) нормах 0, 1, 2 и 3. Каждая норма по каждому элементу встречается в схеме 4 раза в различных сочетаниях с двумя другими элементами. Схема построена таким образом, что позволяет вычислить регрессию для каждого из изучаемых в опыте показателей по четырем уровням полного удобрения (NPK) – 000, 111, 222 и 333 или их парных сочетаний, например (NP) – 00, И, 22 и 33, или отдельно по каждому элементу – 0, 1, 2 и 3. Это позволяет комплексно изучить совокупность показателей в зависимости от отдельных компонентов. Варианты в схеме размещают рендомизированно. Единичную норму удобрений определяют в каждом конкретном случае в зависимости от зоны и культуры. Интервал между первой и последующими нормами должен быть одинаковым.

Особенность построения опыта и методы математической оценки результатов позволяют проводить опыты в двух-трехкратной повторности. Нормы и соотношения минеральных удобрений изучают на двух фонах: без органических удобрений и на фоне органических удобрений. Количество органических удобрений определяют на основе баланса гумуса в почве с учетом корневых и пожнивных остатков.

В зависимости от почвенно-климатических условий, целей стационарного полевого эксперимента схемы опытов с удобрениями могут быть другие. Например, при изучении различных уровней насыщения севооборота полными удобрениями в схему опыта включают не менее 3–4 уровней NPK ( $N_0P_0K_0$ ,  $N_1P_1K_1$ ,  $N_2P_2K_2$ ,  $N_3P_3K_3$ ). Желательно в схеме опыта с удобрениями иметь несколько запасных делянок для изучения в последующей ротации новых вопросов, а также последствий удобрений.

Сроки и способы внесения удобрений в опыте – рекомендуемые для зоны. При необходимости уточнения их, а также изучения, например, эффективности микроэлементов, сортов культур и других вопросов проводят краткосрочные полевые и микрополевые опыты – спутники.

*Ветровая эрозия.* Наиболее характерными особенностями базовых полевых опытов по разработке и оценке агротехнических комплексов или приемов защиты почв от ветровой эрозии являются: 1) стационарность и достаточная (6–8 лет и более) длительность; 2) большая, чем в обычных полевых опытах, площадь делянок и 3) ориентация делянок вдоль, а направления посева – поперек господствующих ветров.

Количественный учет ветровой эрозии проводят несколькими методами:

*По изменению микрорельефа паши.* При посеве зерновых культур рядовой сеялкой после перезимовки озимых или окончания фазы кущения яровых сохраняются следы сошников в виде углублений (борозд), в которых располагаются рядки. При проявлении процесса дефляции из междурядий выдувается мелкозем и вследствие защитного действия растений, скапливается в рядках, что проявляется в образовании гребней, которые затем также разрушаются ветром и остаются отдельные изолированные пирамидки, защищенные листьями и корнями погибших растений.

*Метод реперов* (способ Л.Т. Раменского). В почву вровень с поверхностью или чуть выше ее заделывают нити или металлические шпильки (деревянные колышки) с нанесенными от нулевой отметки вверх и вниз через каждые 2–3 см делениями. По удлинению свободных концов нитей или длине обнаженных частей шпилек судят о количестве снесенной почвы. Величину выдувания или наноса почвы оценивают сравнением с состоянием реперов (с поправкой на набухание почвы после дождей и усадку пахотного слоя) на незродированной почве.

*По глубине заделки семян сельскохозяйственных культур.* Примерное представление о степени выдувания или наноса почвы дает замер глубины заделки семян. При наличии процесса дефляции верхний слой почвы выдувается, и семена будут размещаться мельче первоначальной глубины их заделки сеялкой. В местах отложения мелкозема глубина заделки семян увеличивается.

*Метод количественного учета процесса дефляции по состоянию всходов зерновых культур.* Повреждение посева оценивают визуально по шкале Н.В. Орловского и С.С. Соболева:

- а) слабое – пожелтение всходов, быстро исчезающее;
- б) среднее – сильное пожелтение всходов, усыхание и изреживание с появлением оголенных пятен, занимающих до 25 % площади (травостой после дождя восстанавливается плохо, на площади до 75 % и более посеvy остаются пятнистыми);
- в) сильное – то же, с гибелью посевов от засыхания, выдувания от 25 до 50 % площади;
- г) очень сильное – то же, с гибелью посевов на площади более 50 % площади.

*Оценка ветроустойчивости почвы по методу В.А. Францесона.* В 10–15 местах участка собирают верхний 2–3 см слой почвы. Собранный средний образец массой 5–6 кг в воздушно-сухом состоянии просеивают на ситах. Определяют количество фракций меньше 1 мм, 1–2, 2–5, 5–10 и более 10 мм. При упрощенном исследовании образец просеивают через сита с диаметром отверстий в 1 мм и 10 мм. Если в верхнем слое содержание почвозащитных комочков (крупнее 1 мм) менее 50 %, открытая поверхность почвы подвергается дефляции. Отбор почвенных образцов проводят в марте-апреле, т. е. в эрозионно-опасный период.

Площадь и форма делянки должны исключать возможность проявления краевых эффектов прилегающих территорий и соседних вариантов и обеспечивать получение достоверной информации по оценке действия почвозащитных мер на противозерозионную устойчивость почвы и продуктивность растений. В практике опытной работы площадь делянок варьирует в широких пределах от 500–1000 м<sup>2</sup> до 1 га и более; особенно часто стационарные полевые опыты закладывают на делянках 0,25–1 га, а при работе в условиях производства – 0,5–2 га. Однолетние и краткосрочные опыты закладывают на делянках меньшего размера. Наилучшая форма делянки квадратная или прямоугольная, с соотношением сторон не более 1:4; ширина делянки не менее 30 м. Планируя расположение опыта на территории, необходимо ориентировать делянки вдоль господствующих ветров и основного уклона. Посев проводят поперек направления господствующих ветров, а обработку почвы – поперек основного уклона. При наличии лесополос делянки ориентируют под прямым углом к ним или располагают учетные части делянок от лесополосы не ближе ее 20-кратной высоты.

Перед уборкой урожая проводят осмотр опыта с целью выбраковки целых делянок или выключки внутри делянок участков поврежденных водной или ветровой эрозией. Поврежденные делянки и выключки обмеряют и убирают отдельно. Для удобства последующих расчетов выключки целесообразно делать прямоугольной формы. Если их площадь превышает половину учетной площади делянки, то выбраковывают всю делянку. Учет урожая по вариантам можно проводить в разные сроки, но обязательно в одну и ту же фазу спелости, одинаковым способом с использованием одних и тех же машин. На склоне уборку урожая на каждой делянке проводят комбайном в одном направлении – снизу вверх. Сначала делают проходы комбайном по середине делянок, а затем убирают оставшиеся защитные полосы.

Учет урожая должен проводиться со всей учетной делянки сплошным методом. В точных стационарных полевых опытах недопустим выборочный учет урожая методом учетных площадок, метровок или контрольных полос.

### 2.8.5.8. Опыты на сенокосах и пастбищах

*Целью научных знаний должно быть направление ума таким образом, чтобы он выносил прочные и истинные суждения о всех встречающихся предметах.*

**Р. Декарт**

*В науке нет другого способа приобретения, как в поте лица; ни порывы, ни фантазии, ни стремления всем сердцем не заменяют труда.*

**А.И. Герцен**

На лугах и пастбищах полевой опыт отличается рядом специфических особенностей. Объектом исследований является, как правило, многовидовое сообщество, состоящее из растений разного долголетия и возраста, различающихся биологическими особенностями и экологическими требованиями. Среда обитания растительных сообществ характеризуется более широким диапазоном экологических режимов, чем на пахотных землях, разнообразием почвенного покрова и плодородия. Опыты обязательно должны быть многолетними; точность опыта изменяется по годам в широких пределах в результате складывающихся погодных условий и закономерной смены сообществ.

Общие требования к планированию и методике полевого опыта на сенокосах и пастбищах принципиально не отличаются от требований, изложенных применительно к полевым культурам. Однако необходимо хорошо знать и на всех этапах исследовательской работы учитывать специфику луговых трав, особенно разное долголетие растений многовидовых сообществ, и особенности методики эксперимента на пастбищах с имитацией пастбы и с выпасом подопытных животных.

На сенокосах и пастбищах опыты сопровождаются наблюдениями за растениями и факторами внешней среды. Объем наблюдений определяется задачами и характером экспериментальной работы, а также имеющимися возможностями. Важно фиксировать фазы развития растений, вести наблюдения за погодой, динамикой влажности почвы, ботаническим составом, учитывать динамику запаса кормовой массы, поедаемость растений животными.

**Опыты на сенокосах.** Размеры учетных делянок в опытах на сенокосах определяются целью и задачами исследования, однородностью и площадью опытного участка, а также применяемой техникой. Выбирая размер и форму делянок, надо стремиться уменьшить различия в исходном плодородии земли между сравниваемыми вариантами. Дисперсионный анализ урожаев позволяет выделять из общей ошибки опыта изменчивость средних урожаев различных повторений (различия в плодородии между повторениями), но при этом не учитываются различия в плодородии делянок внутри повторностей. Поэтому для повышения точности опыта особенно важна однородность почвенного покрова внутри повторностей (между сравниваемыми вариантами опытов).

Различают 3 типа неоднородности растительности: 1) диффузная пестрота (мозаичность) – мелкие пятна растительности несколько различающиеся по ботаническому составу и густоте, случайно распределяющиеся на площади участка; 2) пестрота типа микро- и мезокомплекса – чередование

оформленных пятен иной растительности. Эта пестрота может быть обусловлена или неоднородностью почвенного покрова (например, на солонцовых комплексах), или влиянием растений на внешние условия (пятна растительности под кронами деревьев и в просветах между ними, пятна подмаренника на поймах южных рек); 3) неоднородность закономерно изменяющаяся в определенном направлении (например, по мере приближения к дренирующему руслу реки, или к полосе лесного массива, или на склонах).

Чем диффузнее травостой, тем относительно меньше могут быть размеры делянок и их повторность для получения достаточной точности опыта. В этих условиях размещение повторностей определяется в значительной мере конфигурацией опытного участка и стремлением по возможности приблизить ее к квадратной форме; следовательно, возможно одноярусное (до восьми – десяти вариантов, делянки вытянуты в длину) и двухъярусное расположение делянок и их повторностей (при большом числе вариантов). Возможно также и шахматное (многоярусное) расположение, особенно для приемов, требующих повышенной точности (сравнительное изучение микроэлементов или гербицидов и т.п.). В случае второго типа неоднородности, если пятна небольшой величины, повысить точность опыта до известного предела можно путем увеличения повторностей или площади делянок. При длинных делянках (полосы) лучше охватывается пестрота, чем при делянках, приближающихся по форме к квадрату. Размещать такие делянки предпочтительно в один ярус.

При большой комплексности почвенного и растительного покрова учет урожая ведут отдельно по крупным однородным пятнам внутри делянок. При любом количественном соотношении площадей этих пятен может быть вычислен средневзвешенный урожай по каждому варианту. Среднее соотношение площадей пятен определяют на основании предварительного картирования почвы и растительного покрова опытного участка. Этот способ применим на солонцовых комплексах, на песках юга, на гривистых поймах. При закономерно изменяющейся на опытном участке почве, например, вниз по пологому склону, делянки размещают в один ярус, длинной стороной вдоль этого склона. Если наблюдается неоднородность почвы в поперечном направлении допустимо размещение делянок в 2 яруса, при этом все же избегают участков с резко различными почвами. В таких случаях опыт делят на 2 серии с небольшим числом вариантов (5–6), каждая серия рассматривается как самостоятельный опыт. Для сопоставления результатов обе серии должны иметь один общий контрольный вариант; его располагают в середине делянок каждой повторности. В этих условиях возможно расположение делянок и по методу стандарта; как правило, размещают стандарт (контроль) через каждые две делянки, на которых изучают определенные приемы (дактиль-метод), делянки узкие, удлинённые (трансекты). На склоновых землях с довольно равномерной крутизной на всем протяжении склона применим и парный метод. При этом способе контрольные делянки размещают так же, как и при дактиль-методе, но делят их на параллельные части (парцеллы) по 10–20 м<sup>2</sup> каждая. На основании наблюдений в течение вегетации выключают перед учетом урожая отклоняющуюся парцеллу и парную.

На склонах с резко меняющейся крутизной и с большими различиями в смыве и намыве почвы делянки размещают длинной стороной поперек склона, это уменьшает эрозию. Схемы в таких условиях должны быть с небольшим числом вариантов, а соотношение длины и ширины делянок устанавливают в зависимости от степени однородности участка в поперечном направлении склона.

На комплексных почвах солонцов, на бугристых песках, на гривистых поймах или склоновых землях в ряде случаев трудно найти достаточно однородную площадь под опыт на одном участке. В таких случаях, на основе картирования, отдельные повторности опыта могут быть заложены на некотором расстоянии от других.

На сенокосах вполне надежные результаты получаются при работе на делянках с учетной площадью 50–100 м<sup>2</sup> при 4–6-кратной повторности. В ряде случаев учетную площадь можно уменьшить до 20–25 м<sup>2</sup> при не менее чем 6-кратной повторности.

Планируя закладку опытов на сенокосах с применением машин, необходимо, чтобы ширина делянок была кратной ширине их захвата, а площадь позволяла нормально проводить все работы.

В программе исследований отражают планируемое количество и методику учетов урожая и его качества, а также необходимых наблюдений за изменениями условий среды. Если изучаемые приемы влияют в большей мере на изменение водного режима (например, в опытах по орошению), детально учитывают динамику запаса продуктивной влаги и все необходимые для этого агрофизические показатели почвы. В опытах с удобрениями большее внимание уделяют учету изменений пищевого режима в тех или иных вариантах. В опытах по изучению первичной обработки почвы наблюдают за изменениями физических свойств почв и динамикой подвижных форм элементов питания растений, особенно за мобилизацией азота растениями из разлагающегося органического вещества дернины и почвы.

Учитывать урожай трав на опытных делянках можно несколькими способами. На делянках до 100 м<sup>2</sup> растительную массу учитывают сплошным способом. Траву скашивают на высоте 6–7 см и, если позволяют условия, высушивают на делянках. Сено с каждой делянки взвешивают; для ботанического анализа с разных мест набирают среднюю пробу массой около 0,5 кг. В районах с неустойчивой погодой траву взвешивают сразу же после скашивания, а для определения урожая сена и ботанического анализа – одновременно с взвешиванием с каждой делянки отбирают среднюю пробу (сноп) массой 1–2 кг. Зная массу травы при учете, массу сырой и воздушно-сухой пробы, вычисляют урожай сена с делянки и пересчитывают на 1 га. Вычислить сухую массу можно с помощью коэффициента усушки – частное от деления сырой массы травы в средней пробе на ее массу в сухом состоянии. Разделив массу травы с делянки на этот коэффициент, получим массу сена с делянки.

Урожай сена с делянок приводят к 15–17 % влажности или выражают в абсолютно сухой массе. Для пересчета используют формулу:

$$Y = \frac{Y_{\phi} (100 - B_{\phi})}{100 (100 - B_{ст})}, \text{ ц/га (т/га, кг/м}^2 \text{ и т. д.)},$$

где  $Y$  – урожайность сена при стандартной влажности, ц/га (т/га);  
 $Y_{\phi}$  – урожайность сена с фактической влажностью при уборке, ц/га (т/га);  
 $B_{\phi}$  – фактическая влажность сена при уборке, %;  
 $B_{ст}$  – стандартная (базисная) влажность сена, %.

На крупных делянках, а также при постановке опыта на производственных участках урожай определяют путем скашивания травы с закрепленных (постоянных) площадок размером 50 м<sup>2</sup> и больше, иногда можно ограничиться площадками 25 м<sup>2</sup>. Так как при закладке опытов на больших делянках повторность их нередко уменьшают до двух, то в этих случаях на каждой делянке следует выделить и закрепить минимум две учетные площадки.

Качество сена может быть определено прямыми методами или косвенными. К прямым методам относят оценку корма в зоотехнических (физиологических) опытах путем скармливания подопытным группам животных. Приближением к прямому методу является оценка переваримости и питательности корма *in vitro*. Косвенно оценивают качество сена на основании определения его ботанического состава (весовой анализ), а также анализа структуры урожая.

*Весовой анализ ботанического состава образцов сена.* Для анализа ботанического состава отвешивают по 200–250 г воздушно сухого сена из образцов первого укоса; при изучении состава мелкотравного сена, а также второго и последующих укосов – по 100–150 г. Если разбирают пробы в сыром виде, отвешивают соответственно по 1000 или 500 г травы.

В зависимости от цели опыта и типа сенокоса проводят групповой, видовой или полувидовой анализ. При ботаническом анализе сена принято подразделять травы на 5 фракций: злаковые, бобовые, прочие съедобные, несъедобные, ядовитые и вредные. В лесной, лесостепной и степной зонах целесообразно подразделять растения на такие 5 групп: злаки, бобовые, осоки, разнотравье, ядовитые. В каждой группе желательно указать господствующие травы. Для полупустынной, пустынной, частично степной зон растений лучше разбивать на 10 групп: злаки, бобовые, осоки, эфемеры, полыни, солянки сухие, солянки сочные, прочие травы и полукустарники, кустарники, ядовитые. Если в какой-либо группе кормовое достоинство видов растений неодинаково, ее разделяют на подгруппы. Так, в группе злаков выделяют подгруппу ковылей (вредных в определенный период) и грубостебельных злаков (тростник); во всех группах могут быть выделены подгруппы: не поедаемых, вредных, засохших (ко времени учета), а также вегетирующих кормовых растений и т.п. Кроме кустарников необходимо в каждой группе выделять подгруппы однолетних растений, иначе реагирующих на метеорологические условия, чем многолетние.

При видовом анализе каждый образец разбирают на отдельные виды растений, входящие в него. При полувидовых анализах на природных сенокосах иногда разбирают злаки и бобовые по видам; осоки и разнотравье выделяют в группы.

*Анализ структуры урожая.* Показателями структуры урожая (сена, травы) являются: относительное число и масса побегов различных ти-

пов, абсолютное количество побегов на единицу площади и единицу урожая, мощность отдельных типов побегов различных трав.

**Опыты на пастбищах.** В зависимости от изучаемой проблемы и имеющихся возможностей применяют следующие методы постановки опытов на пастбищах: 1) внутризагонное размещение всей схемы опыта; 2) каждая делянка опыта – отдельный загон и 3) каждый вариант опыта – отдельное пастбище.

*Внутризагонное размещение всей схемы опыта.* Опыты закладывают в пределах одного загона опытного или производственного пастбища. Повторность, площадь делянок и метод размещения опыта на территории устанавливают в зависимости от направления исследования, технических возможностей и характера территориальной изменчивости опытного участка. Наиболее часто опыты закладывают на прямоугольных делянках 50-100 м<sup>2</sup> при 4-6-кратной повторности.

Используются две модификации внутризагонного размещения всей схемы опыта: 1) без выпаса скота (имитация пастбы, т. е. периодическое скашивание при наступлении так называемой пастбищной спелости) и 2) с выпасом скота одновременно по всему загону, т. е. всем вариантам схемы, ориентируясь на пастбищную спелость травостоя в варианте со средним уровнем урожайности (принцип среднего загона – варианта). Опыты с имитацией выпаса скота, представляющие собой первый этап исследования на пастбище, включают обычно большое число вариантов. Это дает возможность отобрать из них наиболее перспективные для дальнейшего изучения в условиях пастбищного использования и зоотехнического метода оценки продуктивности пастбища. Урожай в опытах без выпаса скота учитывают сплошным методом со всей делянки по мере наступления пастбищной спелости травы на каждом варианте. Общий валовой урожай определяют как сумму урожаев за все укусы, имитирующие циклы стравливания.

В опытах с выпасом скота урожай трав учитывают *укосным методом*. Сущность его состоит в том, что перед каждым очередным стравливанием определяют количество травы основного запаса или отавы. Для этого на каждой делянке скашивают 1–2 полосы общей площадью 10–20 м<sup>2</sup> или 4–8 учетных площадок размером не менее 2,5 м<sup>2</sup> (1×2,5 м) каждая. Скошенную массу взвешивают и отбирают из нее среднюю пробу в 1 кг для определения выхода сухой массы, ботанического и химического анализа. После стравливания учитывают остатки травы в загоне, скашивая ее на таком же или большем количестве учетных полос (площадок), что и перед выпасом, но в других местах. В мелкоделяночных опытах остатки скашивают и взвешивают со всей делянки. Определение остатков травы после стравливания дает возможность установить полноту (%) использования травостоя, рассчитывать фактический рацион животных – количество травы, съеденной ими за время выпаса на каждом варианте, а по данным ботанического анализа проб, взятых до и после выпаса, охарактеризовать поедаемость отдельных групп и видов растений.

При повторных учетах урожайя полосы или площадки каждый раз размещают на новых смежных частях делянки (без выбора «типичных» травостоев). Урожай пастбища выражают в центнерах воздушно-сухой

массы с 1 га или в числе кормовых единиц, переваримого белка, протеина, используя переводные показатели. Срок стравливания на загоне, включающем весь опыт, определяют по состоянию травостоя на большинстве вариантов, используя принцип среднего варианта (загона), т. е. ориентируясь на пастбищную спелость в варианте со средним уровнем урожая.

*Каждая делянка опыта – отдельный загон.* Используются две модификации метода: 1) животных в опыте используют как фактор выпаса, а продуктивность пастбища учитывают укосным методом; 2) животные используются для элементарной зоотехнической оценки продуктивности пастбища, и параллельно осуществляется учет урожайности укосным методом. В схему опытов с выпасом животных включают не более 3–6 вариантов, эффективность которых выявлена в предшествующих опытах с внутризагонным размещением всей схемы. При использовании первой модификации (животные в опыте – фактор выпаса) площадь делянки-загона должна быть достаточной для пастбы 2–3 коров или 4–6 голов молодняка крупного рогатого скота. Выпасают животных одновременно на всех делянках данного варианта в период пастбищной спелости травостоя по принципу среднего загона. В промежутках между стравливаниями опытные группы животных (число групп устанавливают равным числу вариантов) пасутся в общем стаде.

*Каждый вариант опыта – отдельное пастбище* (метод развернутой загонной системы). Постановка опытов этим методом позволяет провести всестороннюю оценку приемов, включая их влияние на состояние здоровья животных. Кроме того, многие вопросы использования пастбищ (нагрузка, различные способы и системы пастбы скота) вообще нельзя разрабатывать с помощью других методов.

Ввиду сложности исследований в условиях, когда каждый вариант опыта располагают на отдельном пастбище, в схему обычно включают не более 2–3 вариантов. Для каждого варианта формируют постоянную опытную группу животных (8–12 коров). Для правильного подбора групп скота используют их показатели по имеющимся материалам (удой, масса). Если в начале пастбы появились резкие различия в удоях, состоянии здоровья и других признаках, таких животных заменяют. Чтобы пастбищного корма было достаточно для животных в течение всего сезона, площадь пастбищ из расчета на одну взрослую голову крупного рогатого скота должна составлять не менее 0,3 га при орошении и 0,6–0,7 га без него.

Работы по организации опыта методом вариант – отдельное пастбище ведут в таком порядке. На основании суточной потребности в корме подопытных животных и предполагаемого урожая определяют площадь каждого варианта – пастбища. Кроме того, как при всяком опыте на пастбище надо иметь резервные участки, на которые перегоняют животных, если на опытном пастбище в течение некоторого времени нельзя пасти скот.

В соответствии с запланированной схемой опыта и площадью каждого пастбища выделяют опытный участок и разбивают его на блоки-загоны. В лесной зоне выделяют обычно 12–16, а в степной, полупустынной и пустынной – 3–6 загонов. Каждый блок-загон делят на элементарные делянки-пастбища с соотношением сторон 1:2 или 1:3, которые огораживают постоянной изгородью. Варианты по делянкам-пастбищам размещают внутри каждого блока рендомизированно.

Продуктивность пастбища при проведении опытов методом развернутой загонной системы учитывают укосным и зоотехническим методами. Стравливать пастбища весной начинают в фазе кущения злаковых трав, весенний избыток трав скашивают; животных перегоняют из одного загона в другой, добиваясь достаточной полноты использования корма; не стравленные остатки трав учитывают, при необходимости подкашивают. Этот метод позволяет получить сравнительные данные по урожайности, полноте использования трав, распределению корма по циклам стравливания и месяцам, ботаническому составу урожая, химическому составу корма, продуктивности животных (удои, привесы), затратам корма на единицу животноводческой продукции, общему выходу продукции животноводства с 1 га пастбищ, качеству мяса, молока и молочной продукции, физиологическому состоянию животных.

При постановке опытов с удобрениями и травосмесями возможна модификация данного метода. Она предусматривает зоотехническую оценку одного лучшего приема. Для этого организуют одно опытное пастбище. Основную площадь загонов залужают одной опытной травосмесью или подкармливают одними и теми же удобрениями. В середине всех загонов (по 2–3 загона в группах рано-, средне- и поздноиспользуемых) размещают по длине контрольные полосы шириной 3–4 м. На этих полосах высевают стандартную травосмесь или вносят контрольную смесь удобрений. Для сокращения общей площади под контролем, вариантом соотношение сторон загонов принимают 1:2. В этом случае площадь контрольных полос будет минимальной (около 5 % площади пастбища), что исключает существенные ошибки в зоотехнической оценке основного варианта.

Для учета урожайности (продуктивности) пастбища зоотехническим методом необходимо определить число кормовых единиц, которые получают с 1 га пастбища за время выпаса в виде животноводческой (молока, мяса, прироста живой массы, шерсти) и дополнительной продукции (сена, травы). Чтобы получить материалы, необходимые для расчета продуктивности пастбища, надо систематически вести дневник по учету производства молока, журнал живой массы животных, иметь точные сведения о подкормке животных и о дополнительной продукции, полученной с пастбищ в виде сена или травы. Используя эти документы и нормативы по расходу кормовых единиц на единицу продукции (на 1 кг молока, 1 кг привеса), определяют продуктивность пастбища в кормовых единицах с 1 га. Продуктивность пастбища, выраженная в кормовых единицах с 1 га, есть основной итоговый показатель, который позволяет сравнить изучаемые варианты с контролем и между собой. Для оценки результатов опыта необходимо также воспользоваться сравнением данных по живой массе, молочной продуктивности и другим показателям в опытных группах животных.

*Подбор животных для опытов.* При постановке опытов на пастбищах большое значение имеет подбор групп однородных животных. Особенно тщательно необходимо подбирать животных при проведении опытов методом развернутой загонной системы. Это по существу зоотехнический научно-хозяйственный опыт, который проводят в обстановке типичного животноводческого производства. Такой опыт дает возможность количе-

ственно оценить действие изучаемых факторов на хозяйственно-полезные качества животного – продуктивность, поведение, здоровье.

По возможности все опытные группы формируют из однородных животных: одной породы, одинакового происхождения, пола, живой массы, возраста. Предыдущий уход за животными и содержание их должны быть одинаковыми. Разница между животными в группах по живой массе, суточному удою и привесу не должна превышать 10 %. Расхождения в возрасте взрослых животных допустимы 1–2 года, в возрасте молодняка крупного рогатого скота до одного года – 1–2 месяца и старше года (1,5–2 года) – 2–4 месяца. Минимальным количеством животных в опытных группах считается 8 коров и 15 голов молодняка крупного рогатого скота. Коров для опыта подбирают среднего возраста (3–8 отелов) на втором-третьем месяце лактации, если исследования планируется проводить 4–5 месяцев, и на третьем-четвертом месяце лактации при менее продолжительных опытах (1,5–2 месяца). Для подбора животных в группы используют метод аналогов. Сущность его заключается в том, что в стаде отбирают сходных, аналогичных животных по числу групп и распределяют их по одному в каждую группу под одним и тем же порядковым номером. Перед началом опыта по методу развернутой загонной системы необходим так называемый уравнительный период, когда все группы окота содержатся при одинаковом типе кормления. Продолжительность уравнительного периода не менее 20–30 дней, из которых последние 6–10 дней – учетные. Этот период необходим для выяснения аналогичности животных по группам и внесения соответствующих корректив в подбор особей. Если будет обнаружено недопустимое расхождение животных по основным признакам в аналогах, то особь с сильно отклоняющимся признаком удаляют из группы и заменяют другой, более подходящей. Продуктивность коров должна быть средней для зоны. Расхождения по содержанию: жира и общего белка в группах не должны превышать 0,1–0,2 %.

#### **2.8.5.9. Опыты с культурами защищенного грунта**

*Исследования в защищенном грунте проводят в условиях искусственного климата и почвы с регулированием режима всех внешних факторов роста. В связи с этим методика опытов в теплицах и парниках сближает полевой опыт с вегетационным.*

**В.М. Марков**

*Самое лучшее из всех доказательств есть опыт.*

**Ф. Бекон**

Исследования с культурами защищенного грунта делятся на:

1. Агротехнические – разработка приемов агротехники: площади питания, формирование растений, сроки посева (посадки), нормы полива, способы подготовки рассады, защита растений от болезней и вредителей;
2. Сортоизучение и сортоиспытание – изучение сортов (гибридов) культур для выявления наиболее ценных по хозяйственно-полезным признакам до передачи их в государственное сортоиспытание;

3. Агрехимические – разработка систем питания растений, изучение форм и доз удобрений, корневых и некорневых подкормок, состава грунтов и срока их использования, химической регенерации субстратов;

4. Агрэкономические – сравнительное изучение различных видов и типов культивационных сооружений, систем обогрева, способов культуры, осветительных установок. Этим исследованиям должен сопутствовать агротехнический эксперимент;

5. Экономические – изучение и разработка форм организации функционирования сооружений; определение оплаты труда, себестоимости продукции, экономической эффективности различных видов сооружений по агроклиматическим и экономическим зонам, размеров и типов хозяйств защищенного грунта. Агротехнический эксперимент не ставят, используют данные производства;

6. Физиологические – изучение влияния химических и физических факторов на физиологическое состояние растений по фазам вегетации;

7. Инженерные – изучение и разработка конструкций, систем обогрева и технологического оборудования сооружений, механизации и автоматизации производственных процессов.

Каждая группа исследований отличается методикой и сопутствующими наблюдениями, которые позволят решить поставленные задачи. Агрехимические и физиологические исследования имеют самостоятельное значение, однако, очень часто их проводят и при разработке агротехнических вопросов.

Основной метод исследования в условиях закрытого грунта – мелкоделяночный опыт, который допускает некоторый отрыв от производственных условий и дает возможность получить лишь количественную агротехническую эффективность изучаемого агроприема или сорта. Полученные в этих опытах результаты следует проверять в производственной обстановке на больших площадях, чтобы наряду с агротехнической получить производственную и экономическую оценку изучаемых приемов.

Опыты в производственной обстановке проводят на больших участках, выделяя для этого отделение теплицы или ленту в укрытии, с ограниченным числом вариантов (два-три) в трехкратной повторности. Размер участков по всем вариантам должен быть одинаков; один из вариантов – контрольный. Агротехника должна соответствовать принятой на данном предприятии, если она в целом или ее составляющие, не являются предметом исследования.

Часто возникает необходимость агроэкономической оценки различных культивационных сооружений, способов выращивания культуры. Такую работу невозможно провести в мелкоделяночном эксперименте. В этих случаях также пользуются методом полевого опыта.

Когда необходимо дать инженерную, агрономическую и экономическую оценку какому-либо технологическому оборудованию (осветительные установки, системы обогрева, системы полива), допускаются работы с одним экземпляром оборудования, но снятие инженерных характеристик и учет агрономического эффекта должны быть неоднократными.

При постановке опыта в защищенном грунте исходят из общепринятых методических положений: типичности опыта, принципа единственного различия и достоверности опыта по существу.

В защищенном грунте в основном исследования ведут в однофакторном опыте. Однако часто возникает необходимость постановки и многофакторных опытов. При планировании многофакторного опыта схема должна включать все возможные комбинации вариантов. Такое построение схемы опыта называют ортогональным, а опыт – полным факториальным экспериментом. Недостаток ортогонального построения схемы многофакторного опыта – его громоздкость. При большом числе вариантов в защищенном грунте их трудно разместить в однородных микроклиматических условиях и опыт получается недостаточно точным.

В сооружениях защищенного грунта наблюдается неравномерное распределение микроклимата как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Это ведет к варьированию величины урожая культур по зонам (северная, южная, восточная, западная, центральная) и микрizonaм культивационных помещений – зимних и весенних теплиц разной конструкции или в утепленном грунте под пленкой. Следовательно, как и в полевых условиях, наблюдается четко выраженная тенденция группировки относительно высоких или низких урожаев по зонам сооружения, что создает значительные затруднения в размещении опыта и распределении вариантов по деланкам. Для устранения недостатков ортогонального построения схемы многофакторного опыта используют методы расщепленных деланок (звеньев) и синтетический.

*Метод расщепленных деланок (звеньев).* Факториальную схему опыта делят на серии, или звенья, что повышает точность сравнения вариантов, находящихся внутри звеньев. Например, необходимо уточнить систему питания растений двух сортов. Для этого взяли 2 дозы фосфора, 3 – калия и 3 – азота. Полный факториальный эксперимент будет содержать:  $2 \times 2 \times 3 \times 3 = 36$  вариантов. В теплицах невозможно провести такой опыт с высокой точностью. Его следует разбить на 2 опыта (с одним и другим сортом), а затем каждый опыт разбить на звенья. Закладывают крупные деланки с разными фосфорно-калийными фонами (их будет 6), так, чтобы на каждой из них разместились 3 варианта с азотом. Таким образом, в каждом опыте будет 6 звеньев (серий) опыта, внутри которых проведут сравнение вариантов с разным уровнем азотного питания, т. е. каждая крупная деланка фосфорно-калийного фона расщепляется на мелкие деланки азотных фонов. Однако необходимо помнить, что постановка многофакторного опыта по методу последовательного расщепления деланок позволяет изучать факторы с неодинаковой точностью. В приведенном примере с наивысшей точностью характеризуется сорт (при 4-кратном повторении опыта сорт повторится 4 раз). С меньшей точностью определяется действие доз азотных и фосфорно-калийных удобрений (каждая доза удобрений имеет 24-кратную повторность). Следовательно, неодинаково точно определяется и взаимодействие факторов. Неодинаковая точность определения разных категорий показателей многофакторного опыта может быть полезна. Выделяют главную задачу и ее решают с большей точностью, а второстепенные – с меньшей.

*Синтетический метод.* При построении синтетического опыта идут по методу последовательного синтеза: каждый предыдущий вариант – это

контрольный вариант для следующего. Например, намечено изучить новые сорта, уровень минерального питания, систему орошения. Схема опыта может быть построена следующим образом. 1. Старый сорт, уровень минерального питания и орошения, установленный для него. 2. Новые сорта и гибриды при том же уровне питания и орошения. 3. Новые сорта, повышенный уровень питания, при той же норме орошения. 4. Новые сорта, повышенный уровень питания, повышенная норма орошения. 5. Новые сорта, пониженный уровень питания, норма орошения, установленная для старого сорта.

Многофакторные опыты иногда ставят по сокращенной схеме. В этом случае необходимо знать, какие сведения не будут получены при сокращении схемы, и можно ли обойтись без них.

В сооружениях защищенного грунта до закладки опыта необходимо изучить распределение климатического режима в различных его зонах, провести обследование однородности почвогрунта. В теплице через 15-30 м друг от друга (в зависимости от однородности грунта) делают разрезы (выемки) с захватом не только насыпного грунта, но и подпочвы (если нет подпочвенного обогрева). По выемкам проводят морфологическое описание грунта, исследуют его на содержание элементов питания и pH и затем делают заключение о его однородности. В случае обнаружения большой пестроты грунта необходима полная его замена или тщательное перемешивание.

Используемые в качестве субстрата грунты должны иметь стабильную структуру, благоприятную реакцию, обладать хорошей воздухопроницаемостью, высокой водоудерживающей, поглощательной и буферной способностью. Для нормальной жизнедеятельности растений необходимо, чтобы содержание воздуха в них достигало 10–12 %, а общая скважность была 50–60 %. Лучшее развитие растений отмечается в том случае, когда хотя бы половина общей скважности приходится на долю некапиллярной, соотношение между жидкой, твердой и газовой фазами 1:1:1, а объемная масса меньше единицы. Используемые в качестве субстрата грунты в течение эксплуатации должны содержать все физиологически необходимые элементы питания в легкодоступной для растений форме. При бессменном использовании грунта его обеззараживают путем пропаривания или применения пестицидов.

Для возделывания культур в защищенном грунте применяют самые разнообразные по составу грунты, исходя из местных ресурсов, включая соломистые субстраты. Однако в большинстве случаев основным компонентом почвогрунтов является низинный, переходной или верховой торф, содержание которого в грунте колеблется от 50 до 100 %.

При использовании тюков соломы в качестве субстрата для выращивания культур защищенного грунта снижается поражаемость растений болезнями, создается равномерный температурный режим почвы за счет выделяющегося тепла при разложении соломы, повышается концентрация углекислоты в воздухе и кислорода в зоне размещения корневой системы. Соломенные тюки дают возможность поддерживать водно-воздушный режим на оптимальном уровне. В соломе содержится относительно много калия и фосфора, но мало азота, поэтому ее, прежде всего, обогащают этим элементом.

Рекомендуют два приема приготовления солоmistых субстратов: 1. Тюки прессованной соломы на 1/3–1/2 погружают в почву и в течение нескольких суток увлажняют водой из расчета 80–100 л/ц (1,4 м<sup>3</sup>), а также добавляют минеральные удобрения из расчета 550 г/ц N, по 100 – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O, 50 г/ц MgO. В результате деятельности микроорганизмов температура в таких тюках повышается до 60°C. Приблизительно через 10 сут., когда субстрат остынет до 30°C приступают к посадке; 2. Тюки соломы раскладывают на пленке и смачивают водой с добавлением аммонийной селитры (30 г/м<sup>2</sup>). После этого тюки прогреваются, но из-за лучшего проветривания значительно меньше, чем в первом варианте, и через несколько суток их можно использовать для посадки, предварительно покрыв сверху почвой или торфом. Спустя 3 недели после посадки растения подкармливают азотными удобрениями и через 4–6 недель – калийными.

В теплицах с применением биотоплива или соломенных тюков, где ежегодно используют свежий насыпной грунт, необходимо перед насыпкой компоненты тщательно перемешивать и насыпать их ровным слоем по всей поверхности опытного участка. Соломенные тюки для опытных целей должны быть одинаковой массы и размера. Для изготовления солоmistых субстратов используют свежую, необработанную гербицидами пшеничную, ячменную или ржаную солому.

При постановке опытов в грунтовых теплицах часто возникает необходимость погашения влияния предыдущего опыта. Сильно воздействуют на грунт опыты с удобрениями, различными грунтами, коренным улучшением грунта, слабо – изучение сортов, площадей питания и формирования растений.

Способы погашения влияния предыдущего опыта, предусматриваемые методикой полевого опыта, неприемлемы в защищенном грунте. Для погашения влияния опыта с сильным воздействием можно рекомендовать снятие грунта на глубину 30 см, тщательное его перемешивание и равномерное распределение по площади или полную его замену на глубину 30 см. Влияние опытов со слабым воздействием на тепличный грунт можно погасить внесением органических удобрений из расчета 150–300 т/га или перемешиванием грунта.

Принципиальными вопросами планирования эксперимента в условиях защищенного грунта являются определение правильного расположения вариантов по делянкам опыта, форма и площадь делянок. Теоретически обоснованными являются методы, базирующиеся на принципе рендомизации. В мелкоделяночных опытах применяют прямоугольные делянки с соотношением сторон от 1:2 до 1:4. Учетная площадь делянок 2–10 м<sup>2</sup>, повторность 4–6-кратная. При работе с крупными растениями (томат, огурец, цветная капуста) размер делянок 6–10 м<sup>2</sup>; в опытах с мелкими растениями (редис, салат, рассада) делянки уменьшают до 2–4 м<sup>2</sup>. Опыты в производственной обстановке закладывают с ограниченным числом вариантов (2–3) на относительно больших площадях (теплица 500–1000 м<sup>2</sup>, отделение или звено теплицы, лента утепленного грунта под пленкой) в трехкратной повторности.

В условиях защищенного грунта из-за ограниченности однородной площади и неравномерности в распределении микроклиматических факторов, в схему мелкоделяночных опытов включают не более 6–8 вариантов.

Каждое организованное повторение располагают в пределах одной климатической зоны, выделяя защитные полосы шириной 2–4 м от торцевых и боковых ограждений. Для повышения точности сравнения изучаемых вариантов с контролем их целесообразно размещать на двух делянках каждого повторения, каждой строки или столбца латинского квадрата или прямоугольника.

В условиях защищенного грунта основное внимание уделяют удобрениям. Удобрения перед применением должны быть тщательно перемешаны. При внесении одинакового количества удобрений на всю площадь опыта участок разбивают на клетки по 10–15 м<sup>2</sup>. На каждую такую клетку вносят рекомендуемую дозу удобрений, распределяя его ровным слоем и заделывают в грунт. При внесении удобрений особое внимание обращают на края делянки, чтобы избежать заноса их на соседнюю площадь. Для этого можно держать на границе делянки фанерный щит и передвигать его по мере рассева удобрения. Затем удобрение равномерно заделывают граблями.

Перед закладкой опыта семена должны быть проверены на всхожесть. Чтобы достигнуть требуемой густоты стояния растений, норму высева необходимо устанавливать с учетом хозяйственной годности семян. Посев производят чистосортными семенами. Лучше использовать для опытов элитные семена одного сорта и одной партии. При ручном посеве на всех делянках одного повторения он должен быть выполнен одним человеком. Посев всего опыта необходимо провести в один день.

Рассаду готовят в одинаковых условиях режима культивационного сооружения, почвы, площади питания, ухода. Она должна быть однородной по качеству. Нельзя высаживать рассаду различного качества на разные делянки. Если трудно отобрать рассаду одного качества для всех делянок теплицы, то ее разбивают на группы (хорошая, средняя и плохая) и для каждой делянки берут рассаду первых двух групп в одинаковом соотношении. Рассаду третьей группы, поломанную и пораженную болезнями, бракуют. Высаживают рассаду на опытных делянках одним способом и в один день. Если невозможно провести посадку на всех повторениях в один день, необходимо обеспечить закладку опыта по начатым повторениям, не оставляя внутри повторения недосаженных делянок.

Распределение тепла, освещенности, влажности воздуха и грунта в теплицах неравномерно как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Это приводит к тому, что рост и развитие растений неодинаковы в различных микроразнообразиях теплицы. Разные условия образуются на делянках, размещенных в северной и южной зонах, а также в западной и восточной зонах теплиц. Обычно урожай выше в восточной зоне, очевидно из-за лучей освещенности. При калориферном обогреве теплиц на урожай сильно влияет расположение источников обогрева. В ангарных теплицах можно выделить пять зон, резко отличающихся по микроклимату: центральную, западную и восточную (примерно 2 м от боковых ограждений), северную и южную (на расстоянии 2–4 м от торцевых ограждений). Даже в современных блочных зимних теплицах с автоматическим регулированием микроклимата наблюдается определенная зональность микроклимата. Выделяют 3 зоны: примыкающую к центральной дорожке, 5–6-метровую вдоль бокового ограждения и центральную.

В пленочных теплицах микроклиматические зоны выявляются в зависимости от их конструкции (блочные или ангарного типа). Значительные колебания микроклимата отмечены в крайних секциях блочных теплиц, в крайних теплицах комбината, состоящего из ангарных теплиц, в крайних лентах малогабаритных пленочных сооружений, поэтому для опытной работы они непригодны. В гидропонных теплицах, кроме климатических факторов, на величину урожая влияет неравномерность насыпки субстрата в поддонах (из-за уклона для стока растворов), а также время и глубина затопления субстрата питательным раствором. Разница в урожаях на однородных делянках по зонам (картам) теплицы достигает 20–25 %.

Неоднородность условий выращивания растений в теплицах приводит к варьированию урожаев как по зонам теплиц, так и по делянкам. Причем урожай в весенних теплицах отличается несколько большим варьированием, чем в зимних. Кроме случайного варьирования, в любой теплице наблюдается и территориальное изменение урожаев, т. е. тенденция группировки высоких и низких урожаев по зонам теплицы (закономерный фактор). При одинаковом общем варьировании урожаев степень выраженности закономерного фактора в теплицах разных типов различна. Это должно учитываться при планировании структуры эксперимента в защищенном грунте, в частности способа расположения вариантов.

*Уход за опытными растениями* осуществляется в соответствии с принятой технологией. Все виды учета и наблюдений за вегетацию растений можно разделить на две группы:

1. Учет и наблюдения непосредственно за растениями (фенологические наблюдения, поражение болезнями и вредителями, показатели роста и развития растений, биохимические и физиологические исследования.

2. Наблюдения за факторами окружающей среды и учет их параметров.

Количественный учет и наблюдения проводят с помощью приборов, подсчетов и промеров, а учет и наблюдения за показателями качества – посредством агрохимических и биохимических анализов, а также органолептически. Урожай учитывают со всей площади делянки; биометрические и физиологические наблюдения проводят выборочно.

Во всех агротехнических опытах наряду с определением количества и качества урожая, обязательны следующие сопутствующие наблюдения: фиксация складывающегося режима микроклимата и наступление фенологических фаз, агрохимический анализ почвогрунта.

В зависимости от цели и задач исследования, кроме этих наблюдений, необходимы и другие сопутствующие наблюдения. При изучении способов подготовки рассады и их последствия необходима биометрическая характеристика рассады; способов формирования растений – хронометраж трудовых процессов и учет затраченных средств; применения удобрений – наблюдения за динамикой роста растений, потребления ими элементов минерального питания, содержания элементов питания в почвогрунте. Для изучения выноса элементов питания следует брать растительные пробы (4-5 растений рассады, 5 взрослых растений огурцов и томатов, 10-20 – салата, 30 – редиса). При агрономической оценке конструкций сооружений, систем

обогрева и другого технологического оборудования необходимы сопутствующие экономические исследования, устанавливающие размеры капитальных вложений, эксплуатационных расходов.

В гидропонных теплицах обязательны наблюдения за температурой раствора и субстрата; учет поливов, расхода раствора и удобрений; анализ раствора и субстрата на содержание элементов питания. При разработке системы питания для гидропонной культуры и изучении форм удобрений также необходимы исследования выноса элементов питания растениями, накопления их в субстрате и учет количества элементов питания, выброшенных с раствором при его замене, для составления баланса элементов питания и определения степени использования удобрений.

Фенологические наблюдения в культивационных сооружениях должны установить даты наступления фаз вегетации растений. Биометрические наблюдения в связи с их трудоемкостью проводят только в тех опытах, где есть явные различия в росте растений.

При сортоиспытании и подборе сортов для различных видов и типов сооружений для культурооборотов обязательны определение устойчивости сортов к болезням и вредителям, биохимический анализ плодов томатов, кочанов или листьев салата на содержание сухого вещества, аскорбиновой кислоты, сахаров, а также органолептическая оценка вкусовых качеств овощей.

Для анализов на качество продукции рекомендуют брать следующее количество овощей: 5-10 головок цветной капусты, 5-10 растений пекинской капусты, 20-30 корнеплодов редиса, 10-15 головок кочанного салата, 250-500 г листового салата, 10-20 черешков ревеня, 5-10 растений лука порея, 30-50 бобов фасоли, 5-20 плодов томатов. 5-20 – перцев, 5-30 – огурцов, 5-10 – кабачков.

Основные составляющие микроклимата – радиационный режим (суммарная, прямая и рассеянная коротковолновая радиация), температура и влажность воздуха, температура поверхности и корнеобитаемого слоя. Метеорологические элементы, измеряемые над поверхностью почвы в воздушном пространстве, относятся к быстро меняющимся величинам. Тепличный грунт вследствие высокой теплопроводности и теплоемкости является инерционной средой, и изменение температурных условий в нем происходит сравнительно медленно. В связи с этим методы изучения метеорологических элементов в воздухе и грунте значительно различаются. Для характеристики условий в воздухе и на поверхности грунта необходимо вести непрерывную запись, а при изучении температурного режима и влажности грунта можно ограничиться отдельными срочными изменениями.

Важнейшей радиационной характеристикой микроклимата является суммарная коротковолновая радиация, включающая частично ультрафиолетовые лучи, полностью видимый поток и ближайшую инфракрасную (до 2,5 мкм) радиацию. Определение этой величины в защищенном грунте представляет особый интерес вследствие того, что лучистый поток обеспечивает растения физиологически активной радиацией и трансформируется в тепловую энергию, повышая тем самым температуру воздуха и почвы в культивационных сооружениях.

При использовании рассеивающих светопрозрачных материалов для укрытий необходимо иметь представление о величине рассеянной радиации. Эта величина измеряется пиранометром.

Определение суммарной коротковолновой радиации в защищенном грунте дает возможность получить следующие величины:

1. Коэффициент светопрозрачности покрывающей поверхности. При определении этой величины необходимо знать значение суммарной радиации для открытого грунта. Чтобы исключить случайные показания датчика, расположенного в определенной точке культивационного сооружения, необходимо суммировать отсчеты не менее чем за световой день. Коэффициент прозрачности покрытия вычисляется как отношение количества радиации в теплице к лучистому потоку в открытом грунте. Коэффициент светопрозрачности покрытия зависит от угла наклона солнца, от конструкции сооружения, от светопрозрачности материала укрытия, а также от облачности.

2. Определение неоднородности облучения по площади сооружения. Для этого в безоблачную погоду пиранометры устанавливают в различных точках теплицы на высоте 1 м. Одновременно измеряется радиация и регулируется на многоточечных потенциометрах.

3. В безоблачную погоду при записи на электронном потенциометре плавного хода суммарной радиации в открытом грунте в культивационных сооружениях запись искажается из-за конструктивных элементов. По данным этих кривых могут быть получены: а) коэффициент прозрачности материала, покрывающего сооружение. Эта величина равняется отношению площади огибающей кривой радиации в теплице к площади кривой, ограниченной ходом радиации в открытом грунте; б) процент затенения в культивационных сооружениях непрозрачными элементами конструкции может быть определен отношением разности площадей, ограниченных огибающей и истинной кривой радиации в теплице, к интегральной величине радиации в открытом грунте.

4. Измерение лучистого потока внутри растительного покрова на различных высотах. Это позволяет судить о притоке радиации к листьям различных ярусов, что особенно важно при шпалерной культуре, когда большая часть объема сооружения занята зеленой массой.

В период вегетации растений представляет интерес определение количества не только суммарной коротковолновой радиации, поступающей на деятельную поверхность, но и фотосинтетической радиации в области видимой части спектра (0,38–0,71 мкм). Величина коротковолновой радиации может быть выражена в различных единицах энергии: кал/см<sup>2</sup> мин., кал/см<sup>2</sup> час, Вт/м<sup>2</sup> и лк.

$$1 \text{ кал/см}^2 \text{ мин} = 698 \text{ Вт/м}^2$$

$$1 \text{ кал/см}^2 \text{ час} = 11,63 \text{ Вт/м}^2$$

$$1 \text{ Вт/м}^2 = 0,00143 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$$

При оценке фотосинтетически активной солнечной радиации пользуются переводными коэффициентами Рвачева, учитывающими облачность:

$$1 \text{ кал/см}^2 \text{ мин} = 5,68 \times 10^4 \text{ лк (безоблачное небо),}$$

$$1 \text{ кал/см}^2 \text{ мин} = 3,88 \times 10^4 \text{ лк (сплошная облачность).}$$

Основные тепличные культуры выращивают через рассаду, поэтому при проведении любого агротехнического опыта дается оценка качества рас-

сады по биометрическим, физиологическим и агрохимическим показателям, выносу основных элементов питания. Рассаду на анализ отбирают выборочно. При средневываренной рассаде средние показатели выборок из 20 растений существенно не отличаются от средних показателей всех исследуемых растений.

Немаловажное значение имеет также способ отбора рассады в выборку. Невозможно значительно повысить репрезентативность выборки за счет увеличения числа растений, если они отбираются только в одном месте. Разница между выборочными и истинными значениями средних при отборе растений со всех стеллажей или делянок уменьшается по мере увеличения числа растений в выборке, и значения средних приближаются к истинным средним, в то время как эффект увеличения числа растений в выборке с одного из стеллажей или с одной делянки очень незначителен. Рациональнее сократить число растений в пробе до 10-15, отбирая их с параллельных делянок, чем увеличивать выборку до 20-30 растений, но отбирать их только с одной-двух делянок.

*Учет урожая.* На всех делянках урожай овощей убирают по достижении ими одинаковой степени технической спелости. В одно время для всех вариантов допустимо проводить уборку зеленных культур и выгоночных растений, когда в опыте надо определить увеличение зеленой массы в зависимости от применения того или иного приема, но и здесь требуется доведение продукта до товарной годности.

Листовой салат необходимо убирать в период образования мощной листовой розетки, но до появления цветоноса; кочанный салат – после формирования кочана размером, присущим данному сорту, но до выбрасывания цветоноса; шпинат – в начале образования стебля у единичных растений (не более 3-5 %); редис – при диаметре корнеплодов 2-2,5 см; лук на перо – при длине листьев не менее 25 см; укроп – при высоте 10-20 см (в зависимости от времени года); томаты – в фазе бурой или розовой спелости и реже при полной спелости; огурцы – в фазе зеленца. Если урожай убирают одновременно со всех делянок, то удобнее его начинать с защитных полос и затем уже с учетной площади. Перед уборкой тщательно просматривают все делянки. Если в некоторых местах делянки растения выпали, сильно повреждены или значительно отличаются по росту от растений на всей делянке, то такие места выключаются. К этой процедуре необходимо подходить с большой осторожностью. Надо посмотреть, не характерно ли это явление для всех делянок одного варианта во всех повторениях.

Когда площадь выключек превышает 20 % общей площади, делянку исключают из опыта. Если она менее 10 % общей площади делянки, можно не производить выключку. Выключкам обычно придают прямоугольную форму для более удобного вычисления площади. При установлении выключки для растений с густым стоянием (зеленые культуры) надо захватить еще приблизительно один ряд растений, на границе с нетипичной площадью, так как эти крайние растения могут быть не совсем нормально развиты. Площадь, подлежащую выключению, отмечают колышками, измеряют, записывают в журнал учета урожая. Сначала убирают урожай с выключенной площади, а затем с учетной делянки. При учете урожая многоборных культур, растения которых высаживают на большом расстоянии друг от

друга, приходится учитывать выпавшие растения и затем при пересчете урожая вносить соответствующую поправку. Если растения выпали после того, как с них частично убран урожай, то выключку делают с момента выпадения растений. При последующем учете урожая и оценке данных учетную площадь соответственно уменьшают. В случае выпадения растений вскоре после основной посадки (в течение первых пяти-восьми дней) на их место высаживают запасные растения, урожай которых пойдет в общий учет. Для этого надо иметь необходимый запас рассады. Если же растения с редким стоянием выпали позже (в течение первых 20 дней), то места, освободившиеся после выпадения растений, можно занять растениями другого сорта, резко отличающегося по внешним признакам. Это желательно сделать для сохранения требуемой густоты стояния растений. Урожай с замещающих растений убирают отдельно и не учитывают.

### Вопросы

1. Сформулируйте определение, цель и задачи вегетационного метода исследования.
2. Какие основные методические требования необходимо соблюдать при составлении схемы опыта?
3. Как классифицируют вегетационные опыты в зависимости от наполнителя?
4. От чего зависит выбор и размер вегетационных сосудов?
5. В чем заключается подготовка сосудов Митчерлиха и Вагнера?
6. В какой последовательности проводят закладку вегетационного опыта с почвенной культурой?
7. Как осуществляется тарирование вегетационных сосудов?
8. Как рассчитать дозы удобрений на сосуд при закладке вегетационных опытов с почвенной культурой.
9. Какие требования предъявляют при устройстве и выборе расположения лизиметров?
10. Какое значение имеют отдельные виды вегетационных опытов в изучении питания растений, свойств почв и удобрений?
11. Какие исследования можно проводить в песчаных и водных культурах?
12. Что такое лизиметрические исследования?
13. Что вы знаете о конструкциях лизиметров?
14. Охарактеризуйте методы определения сроков полива в вегетационных опытах с почвенной культурой.
15. В чем заключается подготовка семян к посеву? Расскажите о способах их посева в сосуды.
16. Какие показатели учитывают при уборке урожая в зависимости от вида культуры?
17. Какой песок используют для постановки вегетационных опытов с песчаной культурой? В чем заключается подготовка песка перед набивкой сосудов?
18. Дайте определение понятию «питательная смесь». Назовите наиболее широко используемые питательные смеси при проведении вегетационных опытов с песчаной культурой.
19. Что необходимо учитывать при составлении питательных смесей? Перечислите и опишите основные требования, предъявляемые к питательным смесям.
20. От чего зависит исходная и конечная реакция питательного раствора в течение вегетации опытной культуры?
21. Для решения каких агрохимических задач наиболее приемлем вегетационный опыт с песчаной культурой?

22. По каким показателям различаются питательные смеси, используемые в вегетационном опыте с песчаной культурой?
23. Для выращивания каких культур подходит питательная смесь: Прянишникова в модификации Треймана и Прянишникова в модификации Шеуджена?
24. Какие материалы и оборудование необходимы для проведения вегетационных опытов с песчаной культурой?
25. Какие соли в составе питательных смесей обладают буферным действием против изменения реакций среды?
26. Какой элемент питания балансирует соотношение катионов в питательных смесях?
27. В каких единицах измерения выражают концентрацию питательного раствора?
28. Какую воду и какие соли используют для приготовления питательных смесей в вегетационном опыте с песчаной культурой?
29. Какая влажность песка должна быть при набивке сосудов?
30. Какие наблюдения необходимо вести и в чем заключается уход за растениями в период вегетации?
31. Как рассчитать поливную норму сосудов?
32. Как осуществляют тарирование сосудов?
33. Какие материалы и оборудование необходимо иметь для постановки и проведения вегетационных опытов с водной культурой?
34. Опишите методы очистки солей, используемых в качестве питательной смеси при проведении вегетационных опытов с водной культурой.
35. Какие питательные смеси наиболее подходят при проведении вегетационных опытов с водной культурой?
36. Охарактеризуйте методы подготовки растений к посадке при проведении вегетационных опытов с водной культурой.
37. В чем заключается подготовка сосудов для водных культур?
38. С какой целью на стеклянные сосуды в водных культурах надевают чехлы из двойной материи или обертывают их плотной бумагой?
39. Что необходимо учитывать при приготовлении питательных смесей для водных культур?
40. Опишите технику постановки опытов в водных культурах.
41. Объясните цель продувания воздухом питательных растворов в водных культурах.
42. Почему при проведении вегетационных опытов с водной культурой производят смену питательного раствора?
43. Опишите приспособление для выращивания растений методом текущих растворов.
44. Для решения каких агрономических задач используют метод изолированного питания?
45. Объясните принцип метода изолированного питания растений.
46. Для решения каких задач используется метод стерильных культур?
47. Расскажите о способах стерилизации семян, используемых при проведении экспериментов методом стерильных культур.
48. Приведите преимущества и слабые стороны вегетационно-микроразового эксперимента по сравнению с полевым опытом.
49. Охарактеризуйте принцип метода сорбционных лизиметров.
50. Определите понятие «гидропоника», «аэропоника», «агрегатопоника» и «пластопоника».
51. Что необходимо учитывать при постановке опытов с радиоактивными элементами?
52. Охарактеризуйте суть метода «меченых атомов».
53. Опишите методику применения меченых атомов в агрохимии.
54. В чем состоит специфика проведения опытов с применением стабильного изотопа азота  $^{15}\text{N}$  в агрохимических исследованиях?

55. Что такое радиоактивность, радиация, радионуклид, изотопы?
56. Какие виды излучения вы знаете?
57. Что такое период полураспада?
58. Опишите механизмы взаимодействия  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения с веществом.
59. В чем сущность метода проростков Нейбауэра-Шнейдера?
60. Назовите отличительную особенность метода Митчерлиха.
61. Назовите основные элементы методики полевого опыта?
62. Что такое вариант? Повторность?
63. В чем различия между повторностью и повторением?
64. Как влияет число вариантов и количество повторностей на ошибку опыта?
65. Какие данные необходимо учитывать при выборе участка под опыт?
66. Для чего проводят почвенные исследования земельного участка?
67. Что такое типичность опыта?
68. Что следует брать за контроль?
69. Что такое делянка и повторность?
70. Почему в опытах необходимо вводить дополнительные контроли и варианты?
71. Назовите основные методы размещения вариантов на опытном участке?
72. В чем сущность стандартного метода размещения вариантов опыта?
73. Расскажите о систематическом и рендомизированном размещении вариантов в опыте?
74. Что такое пестрота плодородия почвы и способы ее устранения?
75. В чем сущность сплошного и разбросного размещения повторений на опытном участке?
76. Расскажите о недостатках и преимуществах размещения вариантов методом латинского квадрата и прямоугольника.
77. Что такое принцип единственного различия?
78. Что такое количественные и качественные показатели?
79. Перечислите основные этапы изучения севооборотов?
80. Какие требования предъявляют к размеру делянок при изучении севооборотов?
81. Какова цель изучения предшественников, промежуточных культур и звеньев севооборотов?
82. Какие задачи решаются при изучении способов обработки почвы?
83. Перечислите сопутствующие агрофизические, агрохимические и биологические анализы при изучении способов и систем обработки почвы.
84. Какова цель предпосевного обогащения семян микроэлементами?
85. Перечислите способы предпосевного обогащения семян микроэлементами.
86. Что учитывают при расчете нормы высева семян?
87. Опишите методику определения глубины заделки семян.
88. В чем различия подходов в изучении сроков посева озимых и яровых культур?
89. Чем руководствуются при выборе способа посева?
90. Опишите методику определения густоты стояния растений.
91. В чем особенности проведения опытов в условиях орошения.
92. Расскажите об особенностях проведения полевых опытов с рисом.
93. В чем заключаются особенности проведения опытов по химической защите посевов от сорняков, болезней и вредителей.
94. Какие требования предъявляют к опытам по защите почв от эрозии?
95. Опишите общие требования к планированию полевого опыта на сенокосах и пастбищах.
96. Какие отличительные особенности имеют опыты с культурами защищенного грунта?

### **3. АГРОХИМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПОЧВ И СОСТАВЛЕНИЕ КАРТОГРАММ<sup>8</sup>**

*Конечная цель всякого знания, одинаково в области изучения живой и мертвой природы, может быть выражена двумя словами: предвидеть и управлять, т. е. надо научиться предвидеть природное явление и управлять им по своему желанию.*

**Клод Бернар**

*Применение удобрений требует от агрохимической организации широких агрохимических исследований для согласования свойств удобрений с местными особенностями почв и потребностями удобряемых культур*

**Ф.А. Юдин**

#### **3.1. Законодательная база, цель и задачи агрохимического обследования почв**

Нормативно-правовой базой землепользования и управления плодородием почв является Федеральный закон Российской Федерации «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» № 101-ФЗ от 16 июля 1998 г. Настоящий Федеральный закон устанавливает правовые основы государственного регулирования обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

#### **Глава I. Основные положения**

##### **Статья 1. Основные понятия**

В настоящем Федеральном законе используются следующие основные понятия:

- плодородие земель сельскохозяйственного назначения – способность почвы удовлетворять потребность сельскохозяйственных культурных растений в питательных веществах, воздухе, воде, тепле, биологической и физико-химической среде и обеспечивать урожай сельскохозяйственных культурных растений;
- государственное нормирование плодородия земель сельскохозяйственного назначения – установление стандартов, норм, нормативов, правил, регламентов в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения;
- воспроизводство плодородия земель сельскохозяйственного назначения – сохранение и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения посредством систематического проведения агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных, противоэрозионных и иных мероприятий;
- деградация земель сельскохозяйственного назначения – ухудшение свойств земель сельскохозяйственного назначения в результате природного и антропогенного воздействий;
- загрязнение почв – содержание в почвах химических соединений, радиоактивных элементов, патогенных организмов в количествах, оказывающих вредное воздействие на здоровье человека, окружающую среду, плодородие земель сельскохозяйственного назначения;
- агротехнические мероприятия – совокупность научно обоснованных приемов обработки почв в целях воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения;

---

<sup>8</sup> Соавтор к.т.н. А.А. Тенеков

– агрохимические мероприятия – совокупность научно обоснованных приемов применения агрохимикатов и пестицидов в целях воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения при обеспечении мер по безопасному обращению с ними в целях охраны окружающей среды;

– мелиоративные мероприятия – проектирование, строительство, эксплуатация и реконструкция мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, обводнение пастбищ, создание систем защитных лесных насаждений, проведение культуртехнических работ, работ по улучшению химических и физических свойств почв, научное и производственно-техническое обеспечение указанных работ;

– фитосанитарные мероприятия – совокупность научно обоснованных приемов выявления и устранения засоренности почв сорными растениями, зараженности почв болезнями и вредителями сельскохозяйственных растений;

– противоэрозионные мероприятия – совокупность научно обоснованных приемов защиты почв от водной, ветровой и механической эрозии;

– агрохимическое обслуживание – деятельность по обеспечению производителей сельскохозяйственной продукции агрохимикатами и пестицидами, торфом и продуктами его переработки, гипсом, известковыми и органическими удобрениями, технологиями, техникой, а также деятельность по осуществлению агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных, противоэрозионных и иных мероприятий, по проведению научных исследований в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

## Статья 2. Цель настоящего Федерального закона

Целью настоящего Федерального закона является установление правовых основ государственного регулирования обеспечения воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения при осуществлении собственниками, владельцами, пользователями, в том числе арендаторами, земельных участков хозяйственной деятельности.

## Статья 3. Правовое регулирование деятельности в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения

Правовое регулирование деятельности в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения осуществляется в соответствии с земельным законодательством Российской Федерации, настоящим Федеральным законом и принимаемыми в соответствии с ними законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, а также законами и иными нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации.

### Статья 3.1. Осуществление мероприятий в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения

Осуществление мероприятий в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения является расходным полномочием субъектов Российской Федерации.

Отдельные мероприятия в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения могут финансироваться из федерального бюджета в рамках федеральных целевых программ.

## **Глава II. Полномочия органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения**

**Статья 4. Полномочия органов государственной власти  
Российской Федерации в области обеспечения плодородия  
земель сельскохозяйственного назначения**

К полномочиям органов государственной власти Российской Федерации в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения относятся разработка, утверждение и реализация федеральных целевых программ обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения, контроль за выполнением таких программ.

**Статья 5. Полномочия органов государственной власти субъектов Российской  
Федерации в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного  
назначения**

К полномочиям органов государственной власти субъектов Российской Федерации в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения относятся разработка и принятие законов и иных нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения, контроль за их соблюдением.

**Статья 6. Полномочия органов местного самоуправления в области обеспечения  
плодородия земель сельскохозяйственного назначения**

Органы местного самоуправления могут наделяться отдельными государственными полномочиями в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения с передачей необходимых для их осуществления материальных и финансовых средств.

**Глава III. Права и обязанности собственников, владельцев, пользователей, в том  
числе арендаторов, земельных участков в области обеспечения плодородия  
земель сельскохозяйственного назначения**

**Статья 7. Права собственников, владельцев, пользователей, в том числе  
арендаторов, земельных участков в области обеспечения плодородия земель  
сельскохозяйственного назначения**

Собственники, владельцы, пользователи, в том числе арендаторы, земельных участков имеют право:

– проводить агротехнические, агрохимические, мелиоративные, фитосанитарные и противоэрозионные мероприятия по воспроизводству плодородия земель сельскохозяйственного назначения;

– получать в установленном порядке информацию от органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации о состоянии плодородия почв на своих земельных участках и динамике изменения его состояния;

– иметь другие права, если их реализация не противоречит законам и иным нормативным правовым актам Российской Федерации.

**Статья 8. Обязанности собственников, владельцев, пользователей, в том числе  
арендаторов, земельных участков по обеспечению плодородия земель  
сельскохозяйственного назначения**

Собственники, владельцы, пользователи, в том числе арендаторы, земельных участков обязаны:

– осуществлять производство сельскохозяйственной продукции способами, обеспечивающими воспроизводство плодородия земель сельскохозяйственного назначения, а также исключаящими или ограничивающими неблагоприятное воздействие такой деятельности на окружающую среду;

- соблюдать стандарты, нормы, нормативы, правила и регламенты проведения агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных и противоэрозионных мероприятий;
- представлять в установленном порядке в соответствующие органы исполнительной власти сведения об использовании агрохимикатов и пестицидов;
- содействовать проведению почвенного, агрохимического, фитосанитарного и эколого-токсикологического обследований земель сельскохозяйственного назначения;
- информировать соответствующие органы исполнительной власти о фактах деградации земель сельскохозяйственного назначения и загрязнения почв на земельных участках, находящихся в их владении или пользовании;
- выполнять другие обязанности, предусмотренные законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, законами и иными нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации, а также нормативными правовыми актами органов местного самоуправления.

#### **Глава IV. Государственное регулирование деятельности в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения**

Статья 9. Основные направления государственного регулирования деятельности в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения

Утратила силу

Статья 10. Государственное управление в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения

Утратила силу

Статья 11. Обеспечение плодородия земель сельскохозяйственного назначения

Обеспечение плодородия земель сельскохозяйственного назначения осуществляется по следующим основным направлениям:

- разработка и реализация федеральных целевых программ обеспечения воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения, а также соответствующих региональных целевых программ;
- проведение учета показателей плодородия земель сельскохозяйственного назначения и мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения;
- разработка стандартов, норм, нормативов, правил, регламентов в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения;
- разработка планов проведения агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных и противоэрозионных мероприятий в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения;
- разработка планов мероприятий по реабилитации земель сельскохозяйственного назначения, загрязненных радионуклидами, тяжелыми металлами и другими вредными веществами;
- финансирование мероприятий по обеспечению плодородия земель сельскохозяйственного назначения;
- контроль за качеством используемых в целях обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения агрохимикатов и пестицидов и контроль за безопасным обращением с ними;
- создание банков данных в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

Статья 12. Национальный доклад о состоянии плодородия земель сельскохозяйственного назначения

Утратила силу

Статья 13. Целевые программы в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения

В целях обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения осуществляются разработка и реализация федеральных целевых программ обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения и региональных целевых программ в данной области.

Федеральные целевые программы обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения формируются Правительством Российской Федерации и утверждаются в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

Региональные целевые программы обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения разрабатываются и утверждаются в порядке, предусмотренном законами и иными нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации.

Статья 14. Государственное нормирование плодородия земель сельскохозяйственного назначения

Государственное нормирование плодородия земель сельскохозяйственного назначения осуществляется в соответствии с законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, законами и иными нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации.

Статья 15. Государственный учет показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения

Государственный учет показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения проводится в целях обеспечения органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, заинтересованных граждан и юридических лиц информацией о состоянии плодородия указанных земель.

Государственный учет показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения включает в себя сбор и обобщение результатов почвенного, агрохимического, фитосанитарного и эколого-токсикологического обследований земель сельскохозяйственного назначения.

Порядок государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения устанавливается уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти.

Статья 16. Мониторинг плодородия земель сельскохозяйственного назначения

Мониторинг плодородия земель сельскохозяйственного назначения является составной частью государственного мониторинга земель, порядок проведения которого устанавливается земельным законодательством.

Статья 17. Обязательное подтверждение соответствия агрохимикатов и пестицидов

Обязательное подтверждение соответствия агрохимикатов и пестицидов осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации о техническом регулировании.

(Статья 17 изложена в новой редакции в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 19.07.2011 г. №248-ФЗ)

Статья 18. Лицензирование деятельности по агрохимическому обслуживанию  
Исключена

## Статья 19. Агрохимическое обслуживание

1. Агрохимическое обслуживание осуществляется организациями независимо от их организационно-правовых форм, осуществляющими деятельность в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения, а также гражданами, осуществляющими индивидуальную предпринимательскую деятельность в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

2. Указанные в пункте 1 настоящей статьи организации в целях координации своей деятельности, защиты общих интересов могут в соответствии с законодательством Российской Федерации создавать объединения в форме ассоциаций (союзов).

## Статья 20. Основные направления агрохимического обслуживания

Основными направлениями агрохимического обслуживания являются:

– проведение почвенных, агрохимических, фитосанитарных и эколого-токсикологических обследований и мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения;

– проведение мелиоративных и противоэрозионных мероприятий в целях обеспечения воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения, в том числе консервации сильно эродированных земель;

– обеспечение производителей сельскохозяйственной продукции агрохимикатами и пестицидами, торфом и продуктами его переработки, гипсом, известковыми и органическими удобрениями;

– предоставление собственникам, владельцам, пользователям, в том числе арендаторам, земельных участков техники для осуществления агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных и противоэрозионных мероприятий.

## Статья 21. Экологические требования к обеспечению плодородия земель сельскохозяйственного назначения

Обеспечение плодородия земель сельскохозяйственного назначения должно осуществляться при условии соблюдения экологических требований, установленных законодательством Российской Федерации.

## Статья 22. Государственный контроль за воспроизводством плодородия земель сельскохозяйственного назначения и их рациональным использованием

Утратила силу

## Глава V. Государственная поддержка деятельности в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения

## Статья 23. Основные направления государственной поддержки деятельности в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения

Утратила силу

## Статья 24. Финансирование деятельности в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения

Утратила силу

## Статья 25. Материально-техническое обеспечение агрохимического обслуживания

Органы государственной власти субъектов Российской Федерации содействуют развитию агрохимического обслуживания посредством утверждения в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, государственных заказчиков, осуществляющих закупки следующих товаров, работ, услуг:

- производство и поставки агрохимикатов и пестицидов производителям сельскохозяйственной продукции;
- добычу торфа и производство продуктов его переработки;
- производство оборудования и машин для осуществления агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных и противоэрозионных мероприятий.

(В статью 25 внесены изменения в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 28.12.2013 г. №396-ФЗ).

**Статья 26. Научные исследования в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения**

Утратила силу

**Статья 27. Подготовка, переподготовка и повышение квалификации кадров в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения**

Утратила силу

**Глава VI. Разрешение споров в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения и ответственность за нарушение законодательства Российской Федерации в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения**

**Статья 28. Разрешение споров в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения**

Споры, возникающие в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения, разрешаются в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

**Статья 29. Ответственность за нарушение законодательства Российской Федерации в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения**

Нарушение законодательства Российской Федерации в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения влечет за собой ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

**Статья 30. Возмещение ущерба, причиненного нарушением законодательства Российской Федерации в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения.**

Утратила силу

**Глава VII. Заключительные положения**

**Статья 31. Вступление настоящего Федерального закона в силу**

Настоящий Федеральный закон вступает в силу со дня его официального опубликования.

Предложить Президенту Российской Федерации и поручить Правительству Российской Федерации привести свои нормативные правовые акты в соответствие с настоящим Федеральным законом.

В дополнение к этому принято Положение о государственной агрохимической службе Министерства сельского хозяйства Российской Федерации как о специализированной службе, обеспечивающей оценку состояния плодородия, государственный учет плодородия сельскохозяйственных угодий и государственный контроль за воспроизводством почвенного плодородия.

Целью агрохимического обследования почв является их оценка по кислотности, засоленности, содержанию подвижных форм фосфора и калия, а также составление картограмм.

Основными задачами агрохимического обследования почв являются:

- 1) своевременное выявление изменений состояния плодородия сельскохозяйственных угодий;
- 2) оценка, прогноз и принятие необходимых мер по сохранению и улучшению плодородия почв;
- 3) разработка рекомендаций по эффективному использованию земель сельскохозяйственного назначения, предупреждению и устранению последствий негативных процессов;
- 4) информационное обеспечение земельного кадастра и государственного контроля почвенного плодородия и охраны земель.

### **3.2. Методические указания по проведению агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий**

#### **3.2.1. Подготовка к агрохимическому обследованию почв**

Картографической основой для проведения агрохимического обследования является план внутрихозяйственного землеустройства с нанесенными контурами земельных участков с указанием их кадастровых номеров, типов, подтипов и гранулометрического состава почв. В Нечерноземной, лесостепной и степной зонах, а также в горных районах полевое агрохимическое обследование осуществляют в масштабе 1:10000–1:25000; в полупустынной и пустынной зонах – 1:25000; на орошаемых землях – 1:5000–1:10000.

Перед обследованием агрохимик-почвовед совместно с агрономом хозяйства или фермером проводят рекогносцировочный осмотр земельного угодья, уточняют и наносят на план землепользования размещение сельскохозяйственных культур, их состояние; соответствие конфигурации и площади кадастровому номеру земельного участка, выраженность макро-, мезо- и микрорельефа, эродированность, закустаренность, завалуженность, засоренность; отмечают поля, на которых проводилась химическая мелиорация почв и систематически вносились органические и минеральные удобрения. Все эти данные заносят в журнал агрохимического обследования почв и отмечают на плане землепользования. При подготовке картографического материала к полевым работам с уточненного плана землепользования делают выкопировку участка, на который наносят сетку элементарных участков.

*Элементарный участок* – наименьшая площадь, которую можно охарактеризовать данными анализа одного смешанного образца почвы. Иначе говоря, с каждого элементарного участка для анализа берут один смешанный образец почвы. Площадь элементарного участка, а отсюда и частота взятия образцов зависят от пестроты почвенного покрова, климатических условий и удобренности полей (табл. 18; ГОСТ 28168-89).

На средне- и сильноэродированных дерново-подзолистых и серых лесных почвах площадь элементарного участка должна составлять 1–2 га, на черноземах и каштановых почвах – 3 га. На рекультивированных землях один смешанный образец берут с площади 1 га. На полях, занятых овощными, техническими, плодово-ягодными культурами, виноградниках и на чайных план-

тациях площадь элементарного участка часто не превышает 1–2 га. Важно, чтобы каждый элементарный участок охватил площадь с более или менее однородным почвенным покровом, с одинаковым предшественником и был одинаково удобрен в прошлом. Форма элементарного участка предпочтительнее должна быть прямоугольной с соотношением сторон не более 1:2. При нанесении сетки элементарных участков на картографическую основу необходимо, чтобы их границы по возможности совпадали с границами элементарных участков предшествующего обследования. После нанесения на копию плана землепользования сетки элементарных участков каждый из них отмечают порядковым номером. Этим же номером отмечают и смешанный почвенный образец, который будет отобран с этого участка. В соответствии с нанесенной на карту внутрихозяйственного землепользования сеткой элементарных участков разбивают поля в натуре пользуясь эккерами и вехами.

Таблица 18 – Площадь элементарных участков при агрохимическом обследовании почв

Экономический регион	Максимально допустимая площадь, га			
	при ежегодном уровне применения фосфорных удобрений, кг/га			на орошаемых землях
	<60	60-90	>90	
Северный, Северо-Западный	5	4	2	2
Центральный	8	5	3	2
Центрально-Черноземный:				
– лесостепные районы с преобладанием серых лесных почв и оподзоленных черноземов	10	8	5	3
– лесостепные районы с преобладанием выщелоченных и типичных черноземов	15	10	5	3
– степные районы с преобладанием обыкновенных и южных черноземов	25	15	10	5
Средне- и Нижневолжский:				
– лесостепные районы с преобладанием серых лесных почв, выщелоченных и типичных черноземов	20	15	10	5
– степные и сухостепные районы с преобладанием обыкновенных, южных черноземов и каштановых почв	40	20	15	5
Уральский:				
– таежно-лесные районы с преобладанием дерново-подзолистых и серых лесных почв	8	5	4	3
– лесостепные и степные районы с преобладанием черноземных почв	15	10	5	3
Западно- и Восточно-Сибирский:				
– таежно-лесные районы с преобладанием дерново-подзолистых почв	10	5	3	—
– лесостепные и степные районы со слабо-расчлененным рельефом	20	15	5	3
– степные районы с равнинным рельефом	40	25	10	3
Северо-Кавказский:				
– степные районы с преобладанием черноземов	20	15	10	5
– равнинные сухостепные районы с преобладанием каштановых почв	40	25	10	5
– предгорные районы с преобладанием черноземов	10	5	3	2
Дальневосточный	10	5	4	2

### 3.2.2. Отбор почвенных проб и их химический анализ

Основное требование к отбору почвенных проб – получение репрезентативного среднего образца. Неправильно отобранные образцы искажают агрохимическую характеристику почв и обесценивают рекомендации по применению удобрений и химических мелиорантов.

При отборе почвенных образцов немало важное значение имеет срок их отбора. Содержание подвижных форм элементов питания в почве имеет сезонную динамику. При разных сроках отбора проб одна и та же почва может оказаться в разных группах по обеспеченности ее элементами питания. При определении срока взятия образцов необходимо учесть время внесения удобрений (образцы берут до внесения удобрений), состояние поля (удобнее работать на поле без растительности), наличие рабочей силы. С учетом всего этого почвенные образцы отбирают ранней весной, как только почва достигает физической спелости или осенью, сразу после уборки урожая. Если образцы не удалось взять до внесения удобрений, их отбирают спустя 2–3 месяца после их внесения. При внесении в почву навоза или компоста весной образцы следует отбирать при малых нормах удобрений осенью, а при больших – на следующий год.

Работу в поле начинают с разбивки обследуемого поля на элементарные участки, т. е. перенесения ранее выделенных участков на плане землепользования на полевой участок. При наличии большого числа ориентиров в обследуемом поле его можно разбить на ряд крупных участков, включающих в себя несколько элементарных участков. Если на поле мало ориентиров, то его разбивку на элементарные участки проводят с помощью эккера, вешек, рулетки, саженя или выверенными шагами.

Смешанный почвенный образец составляют из определенного количества индивидуальных проб. В зоне распространения дерново-подзолистых почв он состоит из 40 индивидуальных (точечных) проб; в зоне серых лесных почв – из 30; во всех остальных зонах – из 20 индивидуальных проб.

Отбор индивидуальных почвенных проб ведут «ходом по оси» элементарного участка вдоль длинной стороны (рис. 42). Для лучшего охвата пестроты проход выполняют по диагонали или по форме буквы «Z».

На средне- и сильноэродированных почвах, расположенных на склоне длиной 200 м, маршрутные ходы прокладывают вдоль склона, на более коротких – поперек склона. На полях лесных питомников маршрутные ходы прокладывают по диагонали элементарного участка.

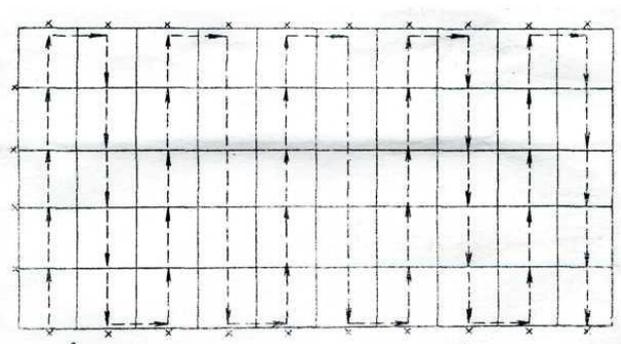


Рис. 42. Схема разбивки поля на элементарные участки и взятие смешанных почвенных образцов «ходом по оси»

При отборе индивидуальных почвенных проб необходимо избегать нехарактерных мест. Отбор не допускается вблизи дорог, из-под оставшихся куч минеральных и органических удобрений, мелиорантов, со дна развальных борозд, случайных пятен, перепаханных дорог, промоин, участков с нетипичным развитием растений, если это не ставится задачей.

Индивидуальные почвенные пробы отбирают простым буром на глубину пахотного слоя, на сенокосах и пастбищах – на глубину гумусового горизонта. Масса смешанного образца почвы должна быть не менее 300 г. Если она превышает необходимое количество, то ее высыпают на полиэтиленовую пленку или клеенку, тщательно перемешивают и путем квартования отбирают пробу нужной массы.

Отобранную в пределах элементарного участка смешанную пробу помещают в специальный мешочек или картонную коробку. Туда же вкладывают этикетку, на которой простым карандашом должны быть указаны название хозяйства, севооборот, поле, культура, номер образца, дата его отбора и фамилия и инициалы взявшего пробу. Такую же запись делают в полевом журнале, в котором кроме того отмечают характеристику и особенности рельефа элементарного участка, тип почвы, виды и состояние агроценоза, наличие сорняков.

Смешанные образцы, отобранные с элементарного участка, отправляют в агрохимическую лабораторию, где их высушивают до воздушно-сухого состояния. Для этого каждый образец рассыпают 2-х сантиметровым слоем на плотной бумаге и оставляют в затененном от солнца проветриваемом помещении на 3–5 суток. За это время для ускорения сушки почву периодически разминают руками, перемешивают и отбирают пинцетом корни, камни и другие посторонние включения. Высушенные пробы хранят в специальном контейнере, в который кладут этикетку с характеристикой смешанного образца. Снаружи контейнера на одной из стенок пишут номер смешанного образца. На высушенные образцы составляют приемо-сдаточный акт в 2-х экземплярах. Один экземпляр передают в аналитический отдел почвенно-агрохимических изысканий.

Поступившие для агрохимического анализа смешанные почвенные образцы размалывают и просеивают через сито с диаметром ячеек 1 мм. Из каждой размолотой смешанной пробы путем квартования отбирают образец массой 200 г, в котором определяют:  $pH_{КС}$ , гидролитическую кислотность, сумму поглощенных оснований, подвижные формы фосфора и калия, используя рекомендованные методы для конкретной почвенно-климатической зоны. Полученные результаты записывают в сводную ведомость анализов и в журнал агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий.

### **3.2.3. Радиоэкологическое обследование и определение содержания в почве микро- и ультрамикроэлементов**

В ходе проведения комплексного агрохимического обследования устанавливают содержание в почве микро- и ультрамикроэлементов. Большинство из них являются тяжелыми металлами. Их соединения довольно устойчивы и долго сохраняют свои токсические свойства, поэтому важно знать темпы накопления микро- и ультрамикроэлементов в почве, размеры их поступления в растения и факторы, усиливающие эти процессы. Накопле-

нию микроэлементов в почвах могут способствовать: 1) применение органических удобрений с ферм, где в корм животных добавляют микроэлементы; 2) использование в качестве удобрений промышленных, городских и бытовых отходов без систематического и тщательного контроля их химического состава; 3) нарушение технологии применения микроудобрений; 4) несовершенство качества и свойств микроудобрений. При накоплении в почве в значительных количествах они оказывают токсическое действие на растения, а через них по пищевой цепи могут попасть в организм животных и человека.

В соответствии с требованиями ГОСТа 17.4.3.04-85 основными критериями используемыми для оценки загрязнения почв считаются предельно допустимые количества (ПДК) и ориентировочно допустимые количества (ОДК) химических веществ в почвах по ГОСТ 27593-88.

Определение микро- и ультрамикроэлементов проводят в первую очередь в почвах, расположенных в зонах экологического бедствия, вблизи дорог, на полях, предназначенных для выращивания экологически чистой продукции. Под особым контролем должны также находиться почвы прилегающие к предприятиям и объектам промышленности, жилищно-коммунального хозяйства и крупных животноводческих комплексов, которые по характеру своей деятельности могут загрязнять почву выбросами, отходами, сточными водами.

Степень загрязнения почв микро- и ультрамикроэлементами устанавливают путем сравнения с ПДК соответствующего элемента в почве или его местным фактическим содержанием (табл. 19; Минеев В.Г., 1988). К загрязненным следует отнести почвы, в которых содержание микро- и ультрамикроэлементов находится на уровне или выше ПДК.

Таблица 19 – Значения ПДК содержания микро- и ультрамикроэлементов в почве

Химический элемент	Содержание, мг/кг	Химический элемент	Содержание, мг/кг
Бериллий	10	Олово	50
Бор	25	Ртуть	2
Кадмий	3	Свинец	100
Кобальт	50	Селен	10
Медь	100	Сурьма	5
Молибден	5	Фтор	200
Мышьяк	20	Хром	100
Никель	100	Цинк	300

Радиологическое обследование проводят по ходу маршрута в 8 точках элементарного участка во время отбора почвенных образцов для агрохимического картографирования путем замера гамма-фона.

Измерения гамма-фона проводят на высоте 1 м над поверхностью почвы дозиметрами. Почвенные образцы для определения гамма-излучения отбирают из прикопок лопатой на глубину пахотного слоя. Масса одного образца не менее 1,5 кг. Результаты измерений записывают в полевую ведомость. После окончания обследования данные наносят на план внутрихозяйственного землеустройства и составляют карту гамма-активности территории, штриховку на план наносят в соответствии с разработанной ЦИНАО градацией (табл. 20).

Таблица 20 – Условные обозначения, рекомендуемые при составлении карты гамма-фона

№ п/п	Условные обозначения	Мощность экспозиционной дозы, мкр/ч	Интенсивность потока гамма-излучения, мкр/ч
1	=====	2-10	<75
2	=====	11-30	76-225
3	IIIIIIIIIIII	31-50	226-375
4	////////////////	51-100	376-750
5	\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\	101-180	751-1350
6	//////////	181-420	1351-3150
7	#####	>420	>3150

При обнаружении точек, где гамма-фон превышает 50 мкр/ч, необходимо срочно известить об этом руководство агрохимической службы и прекратить дальнейшие измерения и отбор проб. Дополнительные обследования должны выполняться специалистами радиологами.

Основной документ полевого обследования почв — журнал агрохимического обследования почв. Его форма единая для всех регионов страны. Журнал заполняет агрохимик-почвовед, проводящий агрохимическое обследование сельскохозяйственных угодий, на основании полевых работ и результатов анализов почв, данных годовых отчетов и других документов, имеющихся в хозяйстве.

Основной составной частью журнала является ведомость результатов полевого агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. Форма ведомости позволяет использовать ее для паспортизации и сертификации земельных участков (полей – севооборота), составления агрохимических картограмм, создания банка данных и обработки результатов на ЭВМ. Произвольное изменение наименований граф ведомости не допускается. Если определяют более широкий набор показателей, чем предусмотрено ведомостью, то наименование этих показателей может быть вписано в дополнительные графы.

### 3.2.4. Составление и оформление агрохимических картограмм

Агрохимическая картограмма – карта, показывающая степень обеспеченности почвы доступными для растений элементами питания или потребность почвы в химической мелиорации. Агрохимические картограммы подразделяются на крупно- (масштаб 1:50000—1:10000), средне- (масштаб 1:300000—1:100000) и мелкомасштабные (масштаб 1:300000). Крупномасштабные агрохимические картограммы используют для определения общей потребности сельскохозяйственных предприятий в удобрениях, установления норм и видов удобрений для отдельных полей, при разработке плана химической мелиорации почв. Наиболее распространены агрохимические картограммы, показывающие обеспеченность почвы усвояемыми растениями фосфором и калием, кислотность почвы, реже – обеспеченность почвы азотом, магнием, микроэлементами. Средне- и мелкомасштабные картограммы необходимы для обоснования разработки и производства необходимых удобрений и применения их в отдельных регионах Российской Федерации.

Основными документами для составления агрохимических картограмм являются: ведомость результатов полевого агрохимического обследования почв, сводная ведомость результатов агрохимического обследования почв, аналитические ведомости и рабочий полевой экземпляр плана внутрихозяйственного землеустройства с нанесенными почвенными контурами, а также границами всех земельных участков.

Оформление агрохимических картограмм складывается из следующих работ:

1. Подготовка копий плана землеустройства;
2. Нанесение сетки элементарных участков на копии плана землеустройства, в середине которых ставят их номера.
3. Вписывание в центр каждого элементарного участка на плане землеустройства простым черным карандашом из ведомости результатов агрохимического анализа.
4. Обведение контуров элементарных участков цветными карандашами с учетом существующей группировки агрохимических показателей (табл. 21).

Таблица 21 – Условные обозначения на картограммах кислотности почвы или ее обеспеченности подвижным фосфором и обменным калием

Группа или класс	По картограмме кислотности		По картограмме обеспеченности почвы фосфором		По картограмме обеспеченности почвы калием	
	кислотность	окраска	обеспеченность	окраска	обеспеченность	окраска
1	очень сильно-кислая	красная	очень низкая	красная	очень низкая	красная
2	сильно-кислая	розовая	низкая	оранжевая	низкая	оранжевая
3	средне-кислая	оранжевая	средняя	желтая	средняя	желтая
4	слабокислая	желтая	повышенная	зеленая	повышенная	зеленая
5	близка к нейтральной	зеленая	высокая	голубая	высокая	голубая
6	нейтральная	темно-зеленая	очень высокая	синяя	очень высокая	синяя

5. Объединение элементарных участков одинакового цвета в общий контур. При выделении в пределах поля агрохимических контуров учитывают следующие положения:

- в самостоятельный контур выделяют площадь не менее чем по трем смежным элементарным участкам, агрохимические показатели которых укладываются в пределах двух соседних классов существующей группировки;
- каждый элементарный участок, имеющий смежный класс обеспеченности, на полях крупных хозяйств в самостоятельный контур не выделяют, иначе будет необходимо рассчитывать дозы удобрений и вносить их на все выделенные контуры поля отдельно, что в условиях производства нерационально;
- при составлении картограмм для фермерских хозяйств (имеющих сравнительно небольшие размеры полей) агрохимический контур может со-

стоять из одного элементарного участка, так как при использовании малогабаритной сельскохозяйственной техники имеется возможность дифференцированно вносить удобрения на каждом отличающемся по плодородию участке.

6. Закрашивание контуров соответствующим цветом с учетом существующей группировки агрохимических показателей.

Контуры на картограммах могут совпадать с границами почвенных контуров, если различия в плодородии обусловлены генетическими особенностями почв. На интенсивно удобряемых полях контуры могут совпадать с естественными границами полей, поэтому допускается выпрямление границ агрохимических контуров.

Допускается составление совмещенных картограмм, т. е. один показатель показывают сплошной раскраской, а другие соответственно треугольником, кружочком, ромбом, причем цвет в выбранной фигуре должен соответствовать шкале раскраски показателя.

Картографическое оформление результатов определения валового содержания тяжелых элементов или их подвижных форм выполняют как в виде элементных картограмм, так и совмещенных. На картограммах красным цветом раскрашивают участки, если содержание того или иного элемента выше ПДК; желтым — если содержание элемента превышает фоновое значение более чем в 2 раза, но ниже ПДК.

При картографическом оформлении результатов радиоэкологического обследования на площади с превышением предельно допустимого уровня делают выкопировку в масштабе 1:10000.

Авторские оригиналы агрохимических картограмм подписываются агрохимиком-почвоведом, руководителем отдела почвенно-агрохимических изысканий и передаются руководителю группы картографических материалов для оформления агрохимических картограмм.

Все материалы, используемые для составления агрохимических картограмм и паспортов полей, хранят в архиве проектно-изыскательского центра химизации области (или станции). Бессрочному хранению подлежат полевая карта отбора образцов, авторские экземпляры картограмм, схемы паспортизуемых участков, полевые и аналитические ведомости результатов агроэкологического обследования почв.

### **3.2.5. Составление почвенно-агрохимического паспорта поля**

По завершении работ по агрохимическому обследованию почв хозяйству вместе со схемой паспортизуемых участков передают паспорта полей или паспортные ведомости.

Паспорт поля (земельного участка) представляет собой свод данных о природно-хозяйственном, агрохимическом и экологическом состоянии поля, записанных на специальной карточке или электронном носителе. Паспортная ведомость отличается от паспорта тем, что все сведения об агроэкологическом состоянии поля (земельного участка) представлены в ней в виде таблиц. Паспорта составляют на все типы угодий хозяйства: пашню, сенокосы, многолетние насаждения и плантации. Основными до-

кументами для составления паспорта поля служат полевые и аналитические ведомости агрохимического обследования почв.

Паспорт поля (земельного участка) включает адресную почвенно-агрохимическую, экологическую и оперативную составляющие. В адресной части паспорта указывают область, район, хозяйство, отделение (бригада), тип угодья, тип и номер севооборота, номер поля (участка) и его площадь. Почвенно-агрохимическая часть паспорта включает сведения о типе, подтипе почв, гранулометрическом составе, степени эродированности, кислотности почв, содержании элементов питания и другие показатели, характеризующие почвенно-агрохимические особенности этого поля (участка). Наименование почвы дается по наиболее распространенной на участке. В экологическую часть паспорта включены сведения о загрязнении участка токсикантами и радионуклидами. В оперативной части паспорта поля (участка) приводятся сведения о внесенных удобрениях, химических мелиорантах, пестицидах, возделываемых культурах и их урожайности.

Паспорт поля служит исходным документом для составления проекта применения удобрений и химических мелиорантов, учета количества химических мелиорантов и вносимых удобрений, для планирования урожайности, а также оценки экологического состояния почв.

Окончательная схема паспортизуемых участков — это план внутрихозяйственного землеустройства с нанесенными границами паспортизуемых сельскохозяйственных угодий. Границы угодий выделяют линиями разных цветов: пашня — красным, сенокосы — зеленым, пастбища — коричневым, многолетние насаждения — синим, причем границы орошаемой (осушаемой) пашни, улучшения сенокосов (пастбищ) показывают пунктиром принятого для данного угодья цвета.

### **3.2.6. Составление агрохимического очерка**

Передаваемые сельскохозяйственным товаропроизводителям агрохимические картограммы или схемы паспортизованных участков с паспортами полей (паспортными ведомостями) сопровождают кратким агрохимическим очерком.

В очерке на основании данных Журнала агрохимического обследования приводятся сведения о предприятии: местоположение, общая площадь землепользования, угодья, направленность и специализация, севообороты, нормы, дозы и формы удобрений, урожайность сельскохозяйственных культур за последние 5 лет, состояние агротехники. Описываются почвенно-климатические условия, и дается агропроизводственная характеристика. Характеризуют эродированность, выпаханность, каменистость, засоленность почв, мелкоконтурность полей — все, что связано с плодородием почв или работой техники при внесении удобрений.

В начале главы излагают методику полевых работ, указывают количество взятых и проанализированных образцов, приводят данные анализов и методику их выполнения. В виде таблицы дают агрохимическую характеристику основных почвенных разностей (по угодьям) и полей севооборотов, приводят рекомендации по рациональному применению удобрений дифференцированными дозами в зависимости от содержания в почве поля доступ-

ных для растений питательных элементов, а также указания по корректировке рекомендуемых доз при размещении культур на полях с другим уровнем плодородия. С учетом степени кислотности, щелочности почв, состава и чередования культур в севообороте намечают очередность известкования (гипсования) по отдельным полям и определяют дозы извести (гипса).

Что касается луговых земель хозяйства, то на основании исследования почв, характера и состояния травостоя дается сравнительная оценка местообитаний по бонитировочной шкале или с более упрощенным подразделением луговых участков: на лучшие, перспективные, продуктивность которых можно легко поднять при небольших затратах на удобрение и мелиорацию и худшие, требующие значительных затрат на окультуривание почв в целях создания искусственных сенокосов и пастбищ.

### **3.3. Автоматизация аналитической оценки агрохимических данных**

В сфере почвенного обследования и агрохимического анализа в настоящее время используются новые технологии. Создание электронных схем полей выполняется с помощью высокоточных GPS-приемников и специальных ГИС-программ. Точная привязка к координатам на местности позволяет отбирать почвенные пробы автоматическими пробоотборниками с высокой точностью в одном и том же месте из года в год.

Электронная векторная карта полей имеет одно ключевое преимущество над «бумажной». Состоит оно в том, что каждый объект электронной карты полностью автономен. Он может редактироваться отдельно от других объектов и к каждому из них может быть привязан широкий ряд характеристик или иными словами «база данных». Так, для каждого поля можно фиксировать все необходимые параметры: 1) паспорт, 2) технологическая карта возделывания сельскохозяйственных культур, 3) агрохимическая характеристика почвы.

Структурированная таким образом информация (в специальном программном обеспечении) является основой для создания современной системы управления сельским хозяйством. Фактически создается компьютерная модель хозяйства, которая позволяет оперативно производить расчеты, упорядочивать информацию о сельскохозяйственном производстве, формировать отчеты и задания, ставить виртуальные эксперименты для принятия оптимальных управленческих решений.

#### **3.3.1. Составление электронных схем полей**

Электронные схемы полей составляют следующими способами: объездом по периметру поля с навигационным оборудованием (более точный и корректный метод); обрисовкой контуров полей по космоснимку привязанному к координатам (менее точный, но часто более оперативный и дешевый метод); считыванием контуров полей с бортовых терминалов сельхозтехники и комбинированный метод (электронная карта, созданная по космическим снимкам, корректируется с выездом в поле с помощью высокоточного GPS-приемника). Если в хозяйстве уже создана карта полей, то ее следует использовать при выполнении полевых работ

(что удешевляет работу) и при подготовке агрохимических картограмм. На рисунке 43 показана электронная схема полей, составленная в программе Agrar-Office AgroWIN.

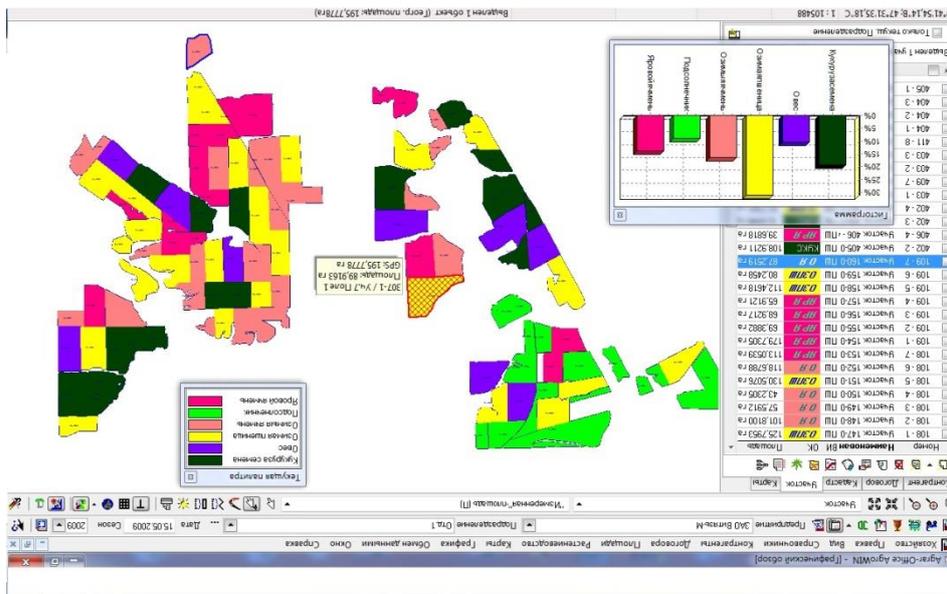


Рис. 43. Электронная схема полей хозяйства

Оконтуривание полей определяет реальные границы и площадь сельхозугодий, что в свою очередь используется при расчете потребности в удобрениях и учете урожая. Разница между реальным размером сельхозугодий и размером известным агроному или руководителю может составлять до 20%.

### 3.3.2. Разбивка поля на элементарные участки

Электронная схема полей предприятия хранится и обрабатывается в ГИС-программах (например, Аграр-Офис, AgroNet), в которых на каждое поле автоматически наносится растровая сетка или сетка элементарных участков прямоугольной формы. В дальнейшем при следующем агрохимическом обследовании используют уже наложенную сетку элементарных участков, чтобы в динамике проследить изменение каждого элемента и оценить состояние плодородия каждого элементарного участка. В программе каждому элементарному участку присваивается уникальный номер, для автоматического внесения результатов анализов из лаборатории и построения агрохимических картограмм. Если имеются зональные карты поля (карты рельефа, биомассы, урожая, электропроводности и др.), то целесообразнее разбить поле на полигоны с учетом однородных зон внутри поля (рис. 44).

Преимущества зонального отбора почвенных образцов по полигонам заключается в том, что не происходит смешивание почвы из соседних зон. Каждый полигон в данном случае представляет собой элементарный участок, которому программа присваивает уникальный номер для возможности автоматического внесения результатов лабораторных анализов.

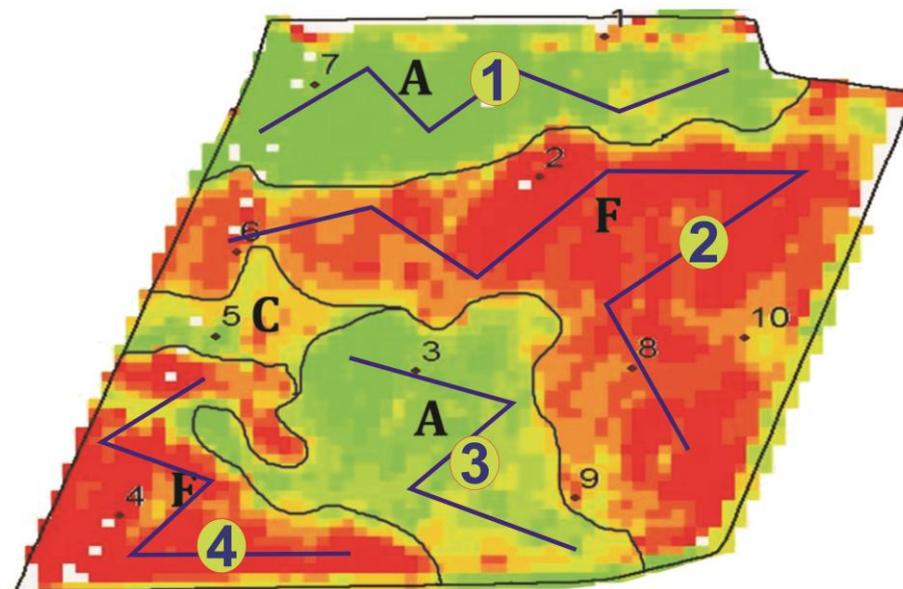
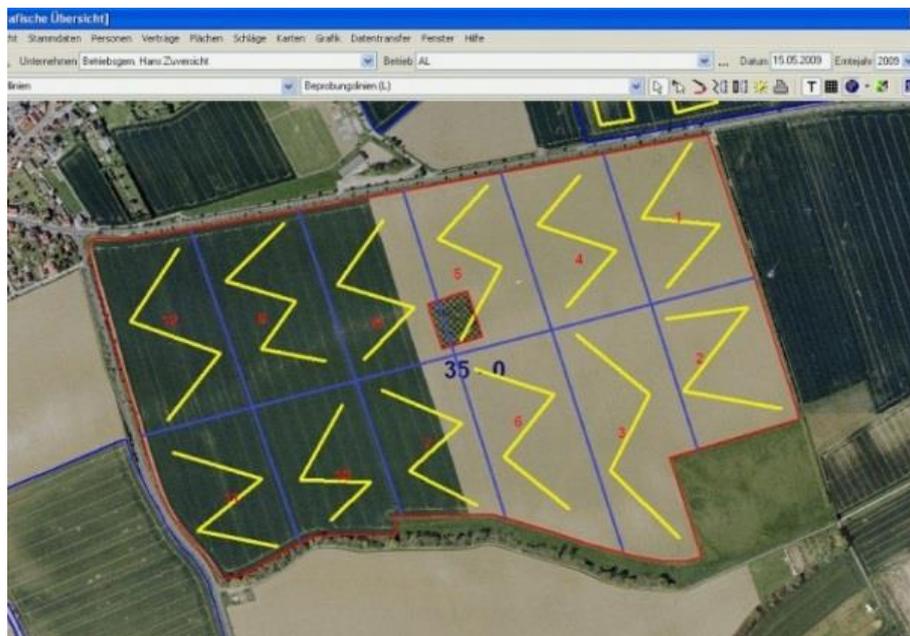


Рис. 44. Разбивка поля на элементарные участки, нанесение маршрута отбора почвенных проб и нумерация образцов

### 3.3.3. Построение маршрута отбора проб почв с привязкой к координатам

Внутри каждого элементарного участка в программе прорисовывается трек движения пробоотборника по диагонали или зигзагом (рис. 45). Трек движения представляет собой зигзагообразный маршрут отбора, двигаясь по которому специалист будет выполнять уколы автоматическим пробоотборником.



Рис. 45. Задание для зонального отбора почвенных образцов с привязкой к координатам и прорисовкой маршрутов

### 3.3.4. Отбор почвенных проб

Основное требование к отбору почвенных проб состоит в том, что они должны отбираться с четкой привязкой к координатам, по составленным маршрутам отбора и с постоянной заданной глубины отбора (30 или 60 см, на рисовых полях – 20 см).

Для повышения производительности труда используют автоматизированный почвенный пробоотборник, установленный на движитель – квадроцикл, внедорожник, прицеп или трактор. Это позволяет за день отобрать почвенные образцы для агрохимического обследования с площади до 1 500 га, при этом исключается человеческий фактор не качественного отбора проб почв.

Пробоотборник установленный на квадроцикле, можно применять в течение всего сезона, он не оставляет следов при ранневесеннем отборе проб почв по посевам, маневрен и высокопроизводителен. Недостаток квадроцикла – отсутствие комфортных условий работы для специалиста и требуется еще одно транспортное средство с прицепом для транспортировки квадроцикла. Пробоотборник на внедорожнике обеспечивает комфортные условия

работы специалиста и хорошую маневренность при отборе проб с полей расположенных на значительном расстоянии друг от друга. К его недостаткам следует отнести невозможность отбирать почвенные пробы ранней весной и оставление колеи при отборе по увлажненной почве. Применение автомобильного прицепа и трактора не находят широкого применения из-за чрезмерного уплотнения почвы и их невысокой производительности.

По принципу взятия пробы пробоотборники бывают колющие и бурящие (рис. 46). У колющих (Wintex 1000) – отбор осуществляется зондом, который при прокалывании почвы поворачивается по спирали, что уменьшает нагрузку на механизм и обеспечивает высокую скорость забора. Внутренняя полость зонда имеет такой размер, что за 10-15 проколов он набирает необходимое для лабораторного анализа количество грунта (около 300 граммов). Максимальная глубина отбора – 30 см. Образцы почвы автоматически помещаются в коробку, которая при заполнении достается из пробоотборника вручную, подписывается и отправляется в лабораторию. Достоинство колющих пробоотборников – бесшумность работы, легкость установки, высокая производительность; недостаток – не возможность работы по сухой, уплотненной и тяжелой по гранулометрическому составу почве, максимальная глубина отбора не может превышать 30 см.



а) колющий



б) бурящий

Рис. 46. Автоматические пробоотборники

Бурящие пробоотборники (Nietfeld N 2005, DP-60) оснащены гидравлической помпой, посредством которой бур погружается и извлекается из почвы. Для совершения одного прокола требуется 5 секунд без учета переезда с точки на точку. После осуществления 10-15 проколов в пределах элементарного почвенного участка оператор высыпает накопившуюся почву из металлического контейнера в подготовленный мешочек с номером.

Достоинствами бурящих пробоотборников являются надежное извлечение почвенного образца даже на очень твердых грунтах, высокая надежность и возможность взятия проб с разных глубин: 0-30 см и 30-60 см; недостатками – сложность конструкции, более высокая цена, повышенный шум при работе и меньшая производительность в сравнении с колющими.

### 3.3.6. Программное обеспечение

Отбор почвенных образцов выполняется согласно электронной карте, на которой обозначены элементарные участки, и по маршруту движения пробоотборника по каждому элементарному участку. Электронная карта с маршрутами отбора и номерами элементарных участков загружается в полевой компьютер со специальным программным обеспечением (Аграр-Офис, AgroNet и др.). Полевой компьютер должен быть пыле-, влагозащищенным, устойчив к тряске. К компьютеру через USB или COM разъем подключается выносная GPS антенна для позиционирования на местности (рис. 47).

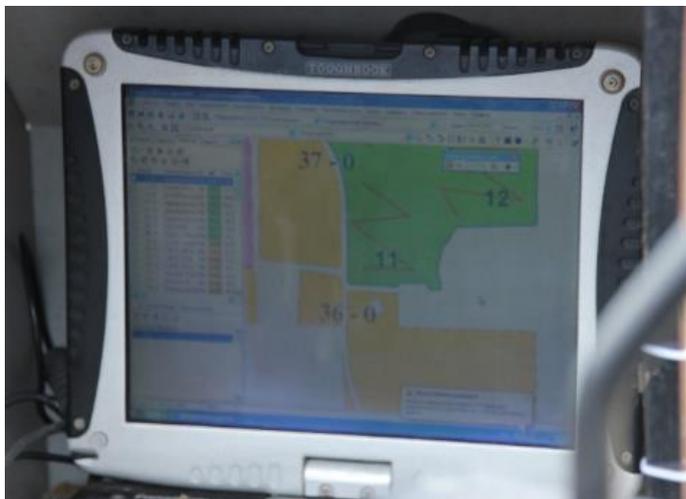


Рис. 47. Отбор проб почвы, предварительно подготовленный в программе «Аграр-Офис»

Программное обеспечение позволяет также осуществлять навигацию по отмеченному в бортовом компьютере маршруту отбора на поле. Специалист на пробоотборнике движется строго по предварительно созданным трекам, которые отображаются на экране полевого компьютера, и выполняет отбор. Специалист корректирует свое движение по треку благодаря GPS антенне.

### 3.3.7. Агрохимический анализ почвы в лаборатории

Отобранные и маркированные образцы почвы передаются в агрохимическую лабораторию для анализа. Анализ осуществляется в лаборатории, имеющей аттестат об аккредитации в соответствии с ГОСТ/ИСО–17025. В лаборатории определяют содержание в почве гумуса и элементов питания растений (азот, фосфор, калий, кальций, магний, натрий, бор, сера, алюминий, медь, цинк, кобальт, марганец), ее pH, гидролитическую кислотность, сумму поглощенных оснований и емкость катионного обмена.

Современные лаборатории мирового уровня выполняют анализ на высокоточном аналитическом оборудовании (Varian, FOSS, VELP, Hanna, WTW, HACH-LANGE, Binder), что позволяет в разы увеличить точность измерений и максимально сократить время предоставления результатов анализа заказчику.

### 3.3.8. Обработка результатов агрохимического анализа почвы и перенос карт дифференцированного внесения удобрений в терминалы техники

Из лаборатории после выполнения анализов предоставляется ведомость, где указаны агрохимические показатели соответствующие номерам проб (рис. 48 и 49). Эти данные обрабатываются специалистами агрохимиками, которые рассчитывают: норму вносимых удобрений для каждого элементарного участка в зависимости от плановой урожайности культур. При расчете учитываются параметры удобрения и цена, а также ограничения, которые накладываются на внесение удобрений (например, максимально возможная норма). После расчета норм удобрений получаем карту-задание, в которой уже просчитано количество удобрений необходимых для внесения на данное поле, стоимость в рублях и экономия в сравнении с равномерным их внесением (рис. 50). В специальных агрономических программах (AggrOffice, AgroNet, и др.) составляются карты для дифференцированного внесения удобрений. Все данные предоставляются как на бумажном носителе, так и в электронном виде для работы с терминалами техники.

Созданные карты дифференцированного внесения удобрений через флеш-накопитель переносятся в бортовые терминалы сельскохозяйственной техники, которые по картам предписания автоматически управляют заслонками распределителя удобрений.

При зональном внесении удобрений работа механизатора никак не усложняется, его основная задача – управлять агрегатом, а норму внесения автоматически регулирует терминал распределителя, который согласно загруженной карте автоматически ее регулирует (рис. 51).

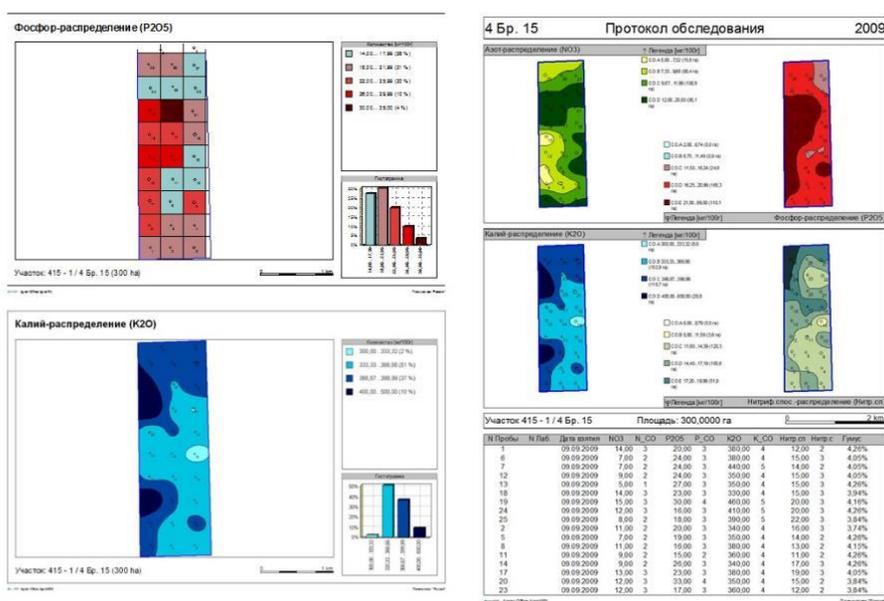


Рис. 48. Результат агрохимического обследования почв отдельного поля из лаборатории

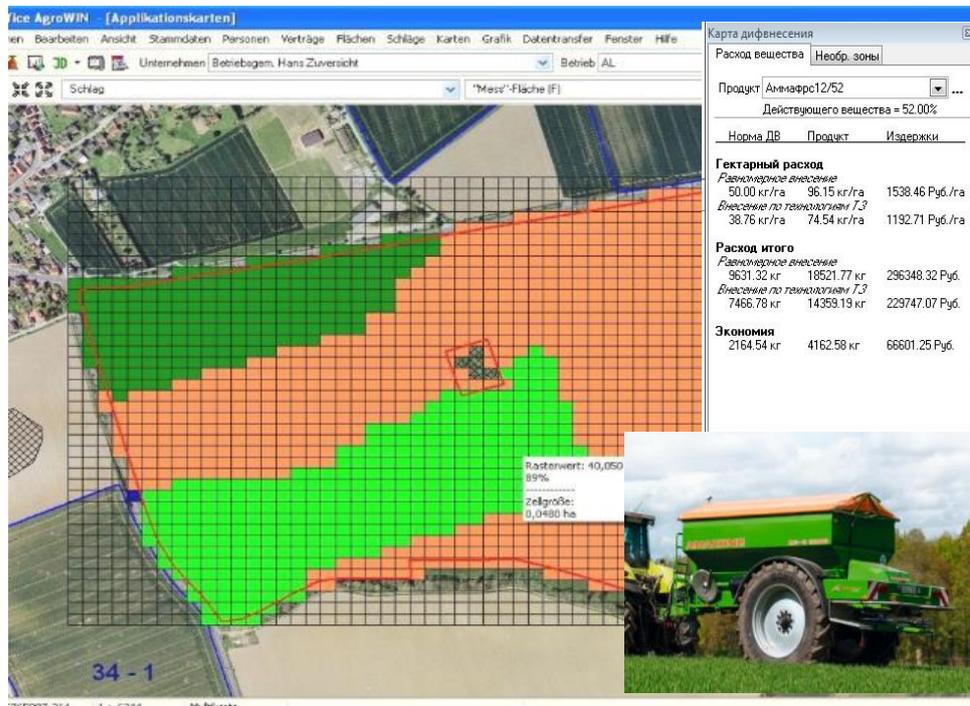


Рис. 49. Результат агрохимического обследования почв предприятия с прорисовкой маршрутов и номерами проб

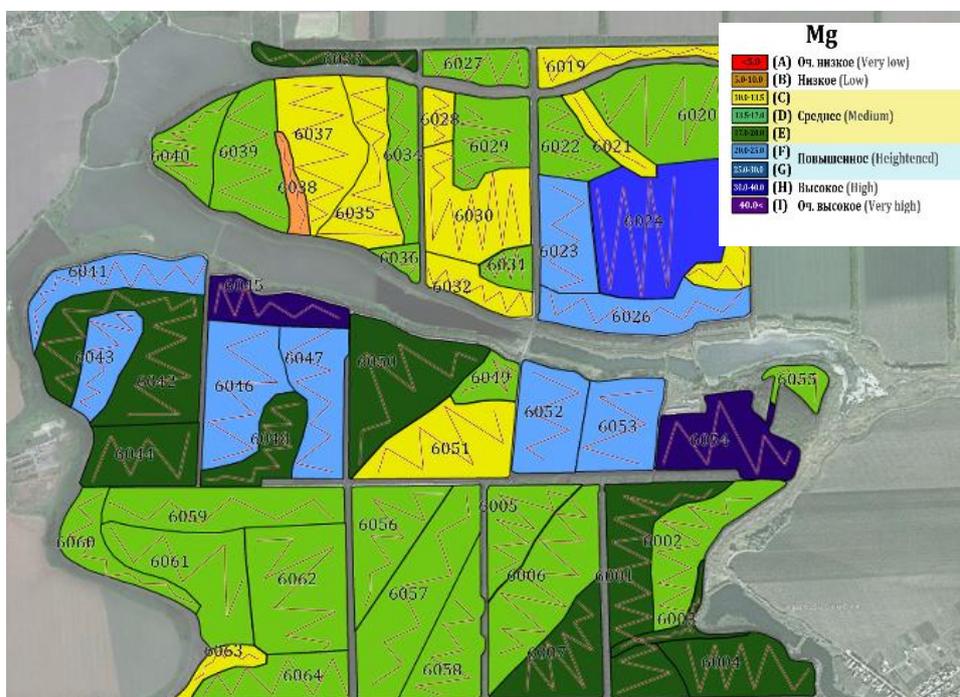


Рис. 50. Карта дифференцированного внесения удобрений, подготовленная на компьютере



Рис. 51. Навигационная система для дифференцированного внесения удобрений

### **3.3.9. Автоматизация агрохимического обследования почв – качественно новый уровень информационного обеспечения прецизионных технологий**

Особенности проведения агрохимического обследования почв с использованием методики и средств точного земледелия:

- объединенная проба почвы на анализ содержания элементов питания отбирается с 1–5 га (по традиционной методике – с 25–40 га);
- отбор проб почвы осуществляется автоматическим пробоотборником (прежде – ручным буром);
- картографической основой служит почвенная карта, план внутрихозяйственного землепользования, а также спутниковые изображения и аэрофотоснимки с точной географической привязкой;
- место отбора проб почвы определяется с помощью навигационного оборудования, координаты точки отбора фиксируются с точностью до 15–30 см (по традиционной методике – место отбора точно не фиксируется);
- восстановление маршрута отбора проб почвы на следующий год возможно с точностью до 30 см (осуществить это по традиционной методике весьма затруднительно);
- составление агрохимических картограмм с помощью специализированного программного обеспечения в автоматизированном режиме (прежде – составление картограмм вручную);
- расчет норм удобрений выполняется дифференцированно для каждого участка поля (по традиционной методике нормы удобрений рассчитываются по средневзвешенному значению показателей плодородия);
- на каждый участок поля удобрения вносятся по потребности растений с учетом обеспеченности почвы элементами питания (по тради-

ционной методике вносятся усредненные нормы НРК, что вызывает либо перерасход удобрений, либо их недостаток по участкам поля);

– расчет норм и затрат на удобрения производится автоматически с помощью специализированного программного обеспечения (традиционно либо вручную по известным методикам, либо программным путем в учебно-научных учреждениях и консультационных центрах);

– снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду за счет точного («адресного») внесения удобрений по потребности растений.

Таким образом, применение современного оборудования, программного обеспечения и новых методов позволяют осуществить принципиально иной подход к проведению агрохимического обследования полей, проводить отбор почвенных проб с большей точностью, автоматизировать рабочий процесс и в конечном итоге повысить эффективность и экологическую безопасность использования дорогостоящих минеральных удобрений.

### Вопросы

1. Какой закон служит нормативно-правовой базой землепользования и управления плодородием почв в Российской Федерации?
2. Сформулируйте цель и задачи агрохимического обследования почв?
3. Какой документ служит картографической основой для проведения агрохимического обследования почв?
4. Как наносится сетка элементарных участков на картографическую основу?
5. В каком масштабе составляются агрохимические картосхемы в разных зонах Российской Федерации?
6. Дайте определение понятия элементарный участок.
7. Назовите факторы, определяющие площадь элементарного участка.
8. Какое основное требование предъявляют к отбору почвенных проб при агрохимическом обследовании?
9. Определите понятие «смешанный» и «индивидуальный» (точечный) образец.
10. С какой целью и как проводят радиологическое обследование почв?
11. Как устанавливают степень загрязнения почв тяжелыми элементами?
12. Определите понятие «агрохимическая картограмма».
13. Проведите сопоставительный анализ мелко-, средне- и крупномасштабных агрохимических картограмм.
14. Какие документы и сведения необходимы для составления агрохимических картограмм?
15. Опишите последовательность оформления агрохимических картограмм.
16. Какие аспекты учитываются при выделении в пределах поля агрохимических контуров?
17. Как составляются и оформляются агрохимические картограммы?
18. Как используют агрохимические картограммы при составлении системы удобрения сельскохозяйственных культур?
19. Что необходимо знать и учитывать при составлении сводной ведомости результатов агрохимического обследования почв и их обобщении?
20. Определите понятие паспорт поля.
21. Как ведется паспортизация полей?
22. Какие обязательные разделы должны присутствовать в паспорте поля?
23. Что представляет собой окончательная схема паспортизируемого участка?
24. Какие сведения содержит агрохимический очерк?
25. Какие пробоотборники почвы существуют?
26. Электронные карты. Методы сбора исходных данных.
27. Использование навигационных систем при агрохимическом обследовании почв.
28. Как вносят удобрения в системе прецизионного (точного) земледелия?

#### 4. ФОТОГРАФИЯ – В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

*Наука есть не что иное, как отображение действительности.*

**Ф. Бекон**

*Боже, дай мне неутомимость, чтобы я не спал, не слушал похвал, пока не увижу, что выводы из моих наблюдений сходятся с результатами моих расчетов или пока в смиренной радости не открою и не разоблачу свою ошибку.*

**Синклер Льюис**

Фотография – область науки, искусства и техники, служащая для получения изображений предметов или для регистрации излучений при физических, химических и других процессах. Первые наблюдения, показавшие светочувствительность солей серебра и первые опыты воспроизведения контуров под действием света были сделаны немецким врачом И. Шульцем (1727). Английские химики Т. Веджвуд и Г. Деви открыли светочувствительность бумаги пропитанной солями серебра (1802). Однако открытие фотографии приписывается двум французам: Нисефору Ньепсу и художнику Луи Жаку Дагерру (1839) и англичанину У. Толботу (1840), которые почти одновременно получили изображения при помощи света. Цветные изображения впервые получил французский исследователь Л. Дюко дю Орон (1868). Фотография в агрохимии используется при изучении архитектоники растений, а также для пропаганды научных достижений. Применяют следующие виды фотосъемки:

- фотосъемка закладки и проведения опыта;
- фотосъемка как метод исследования, показывающий динамику роста и развития растений, формирования репродуктивных органов, развития болезней и распространения вредителей;
- макро- и микросъемка биологических объектов: насекомых и органов растений, поврежденных ими, возбудителей болезней и частей растений, пораженных ими, процесса оплодотворения растений;
- репродукционная съемка – воспроизведение схем, диаграмм, фотоизображений.

Главное требование к фотографии – выразительность кадра при съемке в научных исследованиях. В кадре не допускается наличие не несущих информацию деталей. Основной объект съемки должен максимально занимать площадь кадра.

Съемка условий и результатов исследования ведется с целью показать, насколько это возможно, культуру проведения опыта, методику его постановки, вид делянок. Иногда удается отразить разницу в росте и развитии растений отдельных вариантов. Композицию снимков, показывающих условия проведения опытов, следует тщательно готовить и продумывать. Она должна быть уравновешенной. На первом плане представляют главное, на втором – детали, несущие дополнительную информацию. Параллельные стороны делянок должны сходиться к середине верхней трети кадра, небо - занимать не более 1/4 снимка. В кадре не должно быть ни одного сорняка, выпада основной культуры в рядке, если это не следствие изучаемого приема. Резкость по всему

полно обеспечивают одинаковую. Съемки со штатива или с рук с большой экспозицией надо проводить в безветренную солнечную погоду до 10 или после 16 ч. Освещение должно быть боковое или заднебоковое.

При съемке в помещении особое внимание следует обращать на равномерность освещения в кадре. Изображение должно быть четким, ярким и контрастным. Необходимо избегать присутствия отражения, теней и бликов. Нужно стараться, чтобы палитра серого цвета, от темного до светлого, укладывалась в широту фотослоя. Не должно быть ни забытых светом светлых предметов, ни темных провалов в тенях. На отпечатке должна чувствоваться фактура предмета. Если фотографируют растения в вегетационных сосудах, то объектив устанавливают так, чтобы в резко изображаемом пространстве не оказалась арматура сооружения. Резко выделенная арматура создает пестроту в кадре, отвлекает взгляд от главного объекта съемки. При сопоставлении роста и развития растений в отдельных сосудах объекты съемки нужно располагать на однотонном фоне (светлее или темнее растений), создающим достаточный уровень контрастности. Если это полотно, то его края не должны быть видны в кадре. Снимки, предназначенные для печати, следует делать на черном, белом или естественном фоне, но не на сером. Съемку деленок в поле желательно проводить сверху – со стремянок. Фотография должна быть напечатана на высококачественной фотобумаге с разрешением минимум 600 пикселей на дюйм. Фото должно быть без загибов, царапин, пятен.

Развитие объектов исследования в динамике на опытах возможно показать лишь в особо благоприятных условиях, например, когда какой-либо из вариантов резко отстает в развитии или «уходит» вперед, когда варианты резко различаются по густоте стояния растений. Во всяком случае, разница должна улавливаться глазомерно. Если она неразличима, фотографировать нет никакого смысла. Иногда гораздо нагляднее показать два растения рядом с корнями или без них, снятые на белом или черном фоне. С этой целью удобно фотографировать растения в вегетационных сосудах. Чтобы показать ход накопления биомассы, например при разных уровнях минерального питания растений, нужно иметь дублирующие деленки, на которых можно было бы извлекать растения из почвы, вымывать корни без опасения исказить данные урожая.

Для фотографирования мелких объектов крупным планом – цветков и соцветий, их строения, листьев, семян, насекомых, характера повреждения растений насекомыми, поражения болезнями – используют макросъемку.

### **Вопросы**

1. Что такое фотография. дайте определение.
2. Кто впервые получил черно-белое и цветное изображение объектов?
3. Какие требования предъявляют к научной фотографии?
4. Какие виды фотосъемки применяют в агрохимических исследованиях?
5. Что следует учитывать при съемке в помещении?

## 5. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 5.1. Предмет и методы математической статистики

*Наука лишь постольку наука, поскольку в нее входит математика.*

**И. Кант**

*Утверждение о том, что «исследователь может доказать все с помощью статистики», является верным лишь для того случая, когда исследователь игнорирует некоторые из основных принципов.*

**Т. Литтл, Ф. Хиллз, 1981**

**Математическая статистика** – раздел математики, посвященный математическим методам систематизации, оценки и использования статистических данных.

*Статистическими данными* называются результаты, полученные в ходе наблюдения, анализа, проведения эксперимента.

**Метод исследования**, опирающийся на рассмотрение статистических данных о тех или иных совокупностях объектов, называется *статистическим*.

Общие черты статистического метода сводятся к подсчету числа объектов, входящих в те или иные группы; рассмотрению распределения количественных признаков; применению выборочного метода (в случаях, когда детальное исследование всех объектов обширной совокупности затруднено); использованию теории вероятностей при оценке достаточного числа наблюдений для тех или иных выводов. Эта формальная математическая сторона статистических методов исследования, безразличная к специфической природе изучаемых объектов, и составляет предмет математической статистики.

Знание методов статистической оценки необходимо не только для количественной характеристики наблюдений и полученных в опыте данных, когда уже нельзя ничего исправить, но и на всех этапах эксперимента – от планирования до интерпретации окончательных результатов. Нельзя, однако, преувеличивать ценность статистических методов и превращать их использование в самоцель. Дело в том, что математический аппарат сам по себе сугубо формален, и успех его применения полностью зависит от биологической доброкачественности исходных данных. «Подобно тому, – писал А.Н. Крылов (1932), – как для получения хорошей муки надо засыпать хорошее зерно, так и в приложениях математики к решению практических вопросов надо, прежде всего, заботиться, чтобы те приложения и допущения, которые делаются для придания практическому вопросу математической формы, соответствовали действительности в мере практической потребности». Главная обязанность экспериментатора – постановка добротных, целенаправленных опытов, а математическая статистика помогает исследователю в выборе оптимальных условий для его проведения. Она дает лишь объективную количественную оценку экспериментальным данным.

В процессе проведения исследований за изучаемым объектом проводятся наблюдения. Обычно это групповые объекты, т. е. представленные различным числом отдельных единиц. Например, изучая влияние от-

дельных приемов выращивания растений, мы оцениваем посев (групповой объект), состоящий из множества отдельных растений (*единица наблюдения*). Совокупность таких относительно однородных, но индивидуально различных единиц, объединяемых в отношении некоторых общих условий для совместного, т. е. группового изучения, называется *статистической* или *генеральной совокупностью*.

Правильное формирование генеральной совокупности – важный элемент проведения исследований. Основным принцип ее формирования базируется на качественной однородности ее состава. Так, изучая изменчивость продуктивности растений риса при внесении удобрений на засоленных почвах, нельзя включать в генеральную совокупность различные по устойчивости к засолению сорта.

Наряду с понятием статистической совокупности существует понятие *статистического комплекса*. В статистический комплекс объединяются разнородные группы для совместного изучения. При этом каждая группа должна состоять из однородных элементов. При испытании различных норм удобрений каждую опытную делянку рассматривают как отдельную группу, входящую в состав статистического комплекса.

От правильного формирования статистической совокупности или статистического комплекса зависят выводы экспериментатора по изучаемому вопросу. При составлении комплексов особое внимание следует обратить на наличие внутренней связи между частью и целым, между единичным и общим. В зависимости от поставленной цели в статистический комплекс включаются разные совокупности. Так, при разработке агротехнических приемов совокупность формируют с учетом продолжительности вегетационного периода, устойчивости к неблагоприятным условиям выращивания (засолению почв, поражению болезнями и вредителями) и др. При оценке модификационной изменчивости материал должен быть генетически однородным, а генетической изменчивости – наоборот, охватывать максимально возможное разнообразие.

На практике исследователь не может учесть и наблюдать за всеми объектами генеральной совокупности и ограничивается некоторым числом объектов. Ту часть объектов, которая попала на проверку, исследование, называют *выборочной совокупностью* или просто *выборкой*. В статистических совокупностях существует внутренняя связь между частью и целым, единичным и общим, которая и находит свое выражение в статистических законах, действующих в сфере массовых явлений. Число единиц выборки называется *объемом выборки* (выборочной совокупности) и обозначается латинской буквой *n*. Объем выборки определяется многими факторами. Главное требование – максимально точно охарактеризовать генеральную совокупность объектов. На этом основан выборочный метод исследования, который получил математическое обоснование в *теории малой выборки*. Цель выборочного метода научного исследования, по определению Б.А. Доспехова (1979), – при помощи сравнительно ограниченных средств, которые дают возможность изучать единичные явления, установить характерные свойства и законы для бесконечного числа возможных или встречающихся явлений.

Всякая генеральная совокупность – это совокупность некоторых условных единиц. В зависимости от объекта исследований это могут быть рас-

тения, животные, случаи, события, факты. Каждая единица совокупности в отдельности строго индивидуальна и отличается от других рядом признаков – высотой, массой, количеством и качеством продукции. В общем смысле под «*признаком*» подразумевают свойство, проявлением которого один объект совокупности отличается от другого. Каждый изучаемый признак принимает разные значения у различных единиц совокупности, он изменяется в своем значении от одной единицы совокупности к другой. Это различие между единицами совокупности называется *вариацией*, т. е. изменчивостью. Изменчивость – свойство, присущее всем предметам природы: двух совершенно одинаковых предметов не существует, хотя различия между ними и могут быть незаметными для невооруженного глаза. Когда мы говорим – «признак варьирует», – это означает, что он принимает различные значения у разных членов совокупности. Каждое частное значение ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ), которое способен принимать данный признак ( $X$ ), называется *вариантой* (от лат. *varians, variantis* – различимый, изменяющийся). По терминологии Р. Фишера (1958), числовые значения признаков называются «датами».

Все биологические признаки подвержены изменчивости. Различают *количественную* и *качественную* изменчивость. Кроме того, если признак имеет два взаимно противоположных выражения (высокорослый – короткостебельный, больной – здоровый, устойчивый – восприимчивый), говорят об *альтернативной* изменчивости. При учете одни признаки поддаются непосредственному измерению, другие – нет. На этом основано их деление на *количественные* и *качественные* (*атрибутивные*).

Качественные признаки учитываются по их наличию у отдельных единиц совокупности. Например, в группе цветочных растений можно подсчитать число растений с белыми, красными и розовыми цветками; выделить пораженные и здоровые растения и т. п.

Количественные признаки учитываются путем подсчета или измерения. На этом основано их деление на *мерные* и *счетные*. Высота растений, длина метелки, продуктивность – это мерные признаки, варьирующие непрерывно. Их величина может принимать в определенном интервале любые значения. Счетные признаки – учитываются путем подсчета количества, например, число колосков или зерен, количество растений на единице площади, число стеблей, их значения выражаются целыми числами, т. е. они варьируют *прерывисто* или *дискретно* (*дискретная изменчивость*).

Деление признаков на качественные и количественные весьма условно и зависит от способа группировки. Например, продолжительность вегетационного периода – количественный признак, изменяется у сортов риса от 100 до 200 дней; однако, их принято делить на скороспелые, среднеспелые и позднеспелые, а это уже качественный признак. Вместе с тем в каждом качественном признаке, например, устойчивости растений к полеганию, можно обнаружить целую гамму количественных изменений, которую можно измерить, например, числом полеглых растений или углом наклона стебля.

Несмотря на условность приведенной классификации признаков, из нее следует, что количественные признаки распределяются в вариационный ряд, а качественные – нет. В зависимости от выбранной группировки исходных данных применяют разные способы их оценки.

## 5.2. Группировка первичных данных

*Прежде чем приступить к возведению дворца вселенной, сколько нужно еще добыть материала из рудников опыта!*

### Гельвецкий

*Средние величины сами по себе зависят от методов группировки и отбора первичного материала, и в целом ряде случаев, при неудачном или неумелом его расчленении, такие средние могут попросту исказить действительную картину изучаемых явлений или оказаться чисто-фиктивными, ничего не выражающими величинами.*

### Ю.Л. Поморский

Собранные экспериментатором сведения об изучаемом объекте представляют собой, как правило, обширный цифровой материал. Чтобы увидеть закономерности в изменчивости объектов выборочной или генеральной совокупности, необходимо проанализировать полученные экспериментатором исходные данные.

Оценка исходных данных начинается с построения статистического ряда значений признака. Для этого значение признаков записывают в ряд в порядке их учета, например: 6, 9, 5, 7, 10, 8, 9, 10, 8, 11, 9, 12, 9, 8, 10, 11, 9, 10, 8, 10, 7, 9, 11, 9, 10. Количество экземпляров, обладающих данным значением признака, составляет *частоту* ( $f$ ) встречаемости данной варианты в выборке. Чтобы легче было его анализировать, выстроим по ранжиру (от фр.: *ranger* – выстраивать в ряд по ранжиру, т. е. по росту) полученные данные в ряд с учетом их повторяемости в анализируемой совокупности.

Варианты $X_i$	5	6	7	8	9	10	11	12
Частота встречаемости $f$	1	1	2	4	7	6	3	1

Совместный ряд вариантов и соответствующих им частот ( $X, f$ ) образует вариационный ряд, подлежащий дальнейшей оценке. *Вариационным рядом* или *рядом распределения* называют двойной ряд чисел, показывающий распределение единиц изучаемой совокупности по ранжированным значениям варьирующего признака.

Установим, какую изменчивость (дискретную или непрерывную) мы наблюдаем. При *дискретной изменчивости* разница между вариантами, отдельными значениями случайной переменной выражается целыми числами, между которыми нет и не может быть переходов. Например, число корешков у проростков риса выражается членами натурального ряда (1, 2, 3, 4, 5...) и не может быть дробным.

При *непрерывной изменчивости* значения признака, например, высота растений, не обязательно выражаются только целыми значениями. Известная дискретность соседних значений зависит при этом исключительно от принятой точности измерений, обрывающей число десятичных знаков. При непрерывном типе изменчивости группировка вариантов в классы более сложна. Суть группировки в данном случае состоит в объединении близких по своему значению вариантов в классы и замене попадающих в каждый класс вариант усредненной величины – центральным классовым значением

Таблица 22 – Ориентировочное число классов для построения вариационного ряда

Число наблюдений $n$ (от – до)	Число классов $K$
25–40	5–6
40–60	6–8
60–100	7–10
100–200	8–12
> 200	10–15

( $x_{ц}$ ). Потери информации будут минимальными, если число классов в определенной мере соответствует объему выборки и степени изменчивости признака. Число классов должно быть тем больше, чем выше объем выборки, и тем меньше, чем сильнее изменчивость признака.

В зависимости от типа и диапазона варьирования признака статистическая со-

вокупность объектов распределяется в *безынтервальный* (каждое ранжированное значение признака приобретает статус отдельной группы или класса, для которой подсчитывается частота) или *интервальный* (частоты подсчитываются для значений признаков в определенном интервале от минимального до максимального значения) вариационные ряды.

При построении вариационного ряда важно правильно выбрать межклассовый интервал, т. к. от этого зависит интерпретация наблюдаемого варьирования. При широких интервалах искажается картина варьирования, при узких интервалах – затрудняется анализ изменчивость из-за слишком большого числа классов. Задача исследователя найти «золотую середину». Г.Ф. Лакин (1990) рекомендует для приблизительного определения числа классов руководствоваться таблицей 22, а более точно по формуле Стерджеса ( $K=1+3,32 \lg n$ ; при  $n > 100$   $K=5 \lg n$ ).

**Техника построения вариационного ряда.** В распоряжении практически каждого исследователя имеется программа Microsoft Office, поэтому изложение теории построения вариационного ряда будет сопровождаться описанием расчетов в программе Microsoft Office Excel.

Составив сводку исходных данных, состоящую из 100 наблюдений ( $n=100$ ), отыскивают в массе числовых значений признака минимальную ( $x_{\min}$ ) и максимальную ( $x_{\max}$ ) варианты.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	90,0	109,0	99,0	100,0	115,0	68,0	70,0	72,0	73,0	70,0	45	$x_{\min}$
2	76,0	82,0	80,0	68,0	69,0	74,0	72,0	69,0	80,0	79,0	115	$x_{\max}$
3	79,0	84,0	84,0	108,0	83,0	84,0	99,0	98,0	102,0	101,0		
4	45,0	59,0	60,0	63,0	78,0	87,0	94,0	91,0	88,0	90,0		
5	72,0	68,0	80,0	81,0	84,0	77,0	79,0	81,0	84,0	76,0		
6	70,0	67,0	100,0	103,0	69,0	72,0	74,0	66,0	67,0	72,0		
7	79,0	78,0	83,0	92,0	93,0	81,0	82,0	86,0	89,0	93,0		
8	77,0	76,0	88,0	89,0	94,0	82,0	80,0	81,0	77,0	80,0		
9	92,0	91,0	76,0	79,0	73,0	84,0	79,0	84,0	79,0	84,0		
10	89,0	85,0	93,0	90,0	79,0	83,0	91,0	87,0	89,0	94,0		

Для этого в ячейку (например K1) введем функцию «=МИН(A1:J10)»<sup>9</sup>, а в другую (K2) – «=МАКС(A1:J10)» и получим соответственно  $x_{\min}$  и  $x_{\max}$ . Величину классового интервала получают посредством деления размаха варьирования признака на число классов (k):

$$i = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,32 \lg 100} = \frac{115 - 45}{7,64} = 9,16$$

В Microsoft Excel: «=(МАКС(A4:J13)-МИН(A4:J13))/(1+3,32\*LOG10(100))»

Точность классового интервала должна соответствовать точности измерения признака. В нашем примере:  $i=9,16 \rightarrow i=10$ . Теперь необходимо найти центральные классовые значения. Для построения вариационного ряда, наиболее полно описывающего варьирование признака, необходимо, чтобы минимальное значение признака ( $x_{\min}$ ) попадало приблизительно в середину первого класса. Нижнюю границу ( $x_n$ ) первого класса находим по формуле  $x_n = x_{\min} - i/2 = 45 - 10/2 = 40$ . Затем рассчитываем классовые интервалы, последовательно прибавляя к нижней границе класса ( $x_n$ ) величину классового интервала до тех пор, пока в границы последнего класса не попадет максимальное значение признака ( $x_{\max}$ ): ( $i=10$ ): 40–50–60–70–80–90–100–110–120. Для получения границ классов уменьшаем их верхние границы на величину, равную точности измерения признака, в нашем примере на 1: 40–49, 50–59, 60–69, 70–79, 80–89, 90–99, 100–109, 110–119.

Приступаем к вычислению частот (f) встречаемости объектов со значениями признака в каждом классе. Составим в электронной таблице массив интервалов. Для этого запишем в столбец A значение верхних границ каждого класса:

	A	B	C	D	E	G	H	I	J	K	L
21	49	1									
22	59	1									
23	69	11									
24	79	29									
25	89	33									
26	99	17									
26	109	7									
28	119										
29											
30											
31											

Выделяем массив с числом ячеек на одну больше, чем количество классов (например, B21:B29), вводим функцию ЧАСТОТА и ее аргументы – массив значений и массив интервалов: «=ЧАСТОТА(A1:J10;B21:B29)». Нажимаем клавишу F2, а затем CTRL+SHIFT+ENTER. В выделенных

<sup>9</sup> Кавычки поставлены для выделения в тексте функции, при вводе функции или любых других действий в ячейку их не ставят: =МИН(A1:J10).

ячейках появляется частота встречаемости единиц каждого класса в генеральной совокупности.

Для наглядности выражения закономерности варьирования того или иного количественного признака вариационные ряды можно изобразить графически. Существует три способа графического изображения вариационного ряда: 1) вариационная кривая (кривая распределения частот); 2) гистограмма и 3) кумуляты или огивы.

Для построения *вариационной кривой* (правильнее назвать *полигоном распределения частот*) на оси абсцисс откладываются значения вариант (при дискретной изменчивости) или центральные классовые значения (при непрерывной изменчивости), а на оси ординат – частоты.

Центральные значения классов ( $x_{ц}$ ) находят, прибавляя к нижнему значению ( $x_{н}$ ) класса  $1/2$  классового интервала ( $i$ ). В нашем примере:  $x_{н} = 40-50-60-70-80-90-100-110$ ;  $i=10$ ;  $1/2i=5$ ;  $x_{ц} = 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105, 115$ . Записываем в одну строку электронной таблицы  $X_{ц}$ , а в другой (ниже) – частоту встречаемости объектов каждого класса ( $f$ ). Выделяем наш массив данных, состоящий из строки с данными частоты и строки с центральными классовыми значениями / добавить диаграмму / точечная (точечная диаграмма на которой значения соединены отрезками), и далее, следуя указанию мастера диаграмм, создаем нужный нам дизайн графического представления вариационного ряда (рис. 52).

Центральное классовое значение $X_{ц}$	45	55	65	75	85	95	105	115
Частота встречаемости ( $f$ )	1	1	11	29	33	17	7	1

Для построения *гистограммы* на оси абсцисс откладываются границы классов, а численность каждого класса выражается площадью соответствующего прямоугольника. Чтобы построить гистограмму в программе Excel, воспользуемся таблицей, которую использовали для построения вариационной кривой. Выделим массив, состоящий из строки «частота встречаемости» без заголовка. Далее

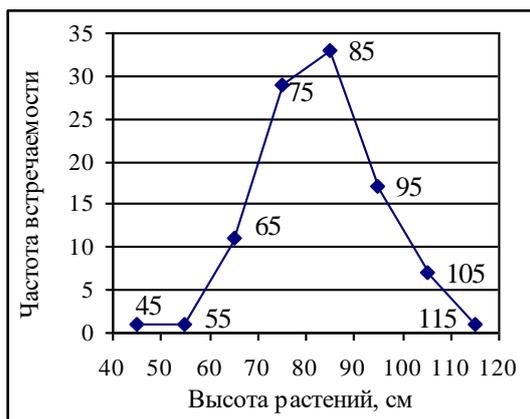


Рис. 52. Графическое представление вариационного ряда

Далее *добавить диаграмму / гистограмма (обычная)* и далее, следуя указанию мастера диаграмм, создаем нужный нам дизайн. Автоматически на оси X (абсцисс) выставляется порядковый номер категории (в нашем случае это класс). Вместо номеров можно поставить центральное классовое значение. Для этого в меню *исходные данные* в окне «Подписи оси X» выделить строку «центральные классовые значения» (рис. 53).

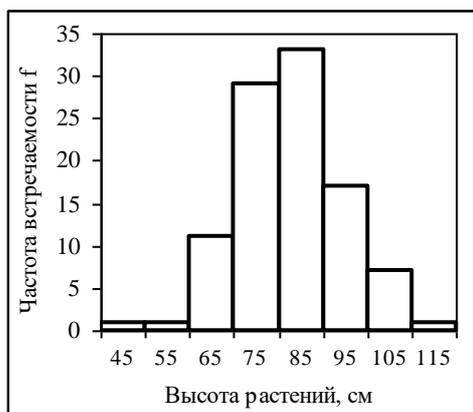


Рис. 53. Гистограмма вариационного ряда

Вариационные кривые, построенные на основании эмпирического материала, обычно представляют собой ломаную линию. Кумулята и огива имеют более обтекаемую форму. Центральные точки этих графиков совпадают с центральным классовым интервалом. Огива позволяет сравнивать варьирование нескольких выборок разного (неравного) объема (Лакин Г.Ф., 1990).

Для построения таких графиков необходимо вычислить кумуляты частот, т. е. накопленные частоты. Накопленные частоты получаются последовательным суммированием или кумуляцией (от лат. *cumulo* – накапливаю) частот в направлении от минимальной классовой варианты или от первого класса до конца вариационного ряда:

Центральное классовое значение $X_c$	45	55	65	75	85	95	105	115
Частота встречаемости ( $f$ )	1	1	11	29	33	17	7	1
Кумуляты частот	1	2	13	42	75	92	99	100

*Кумулята* получается, если на оси абсцисс откладывать значения классов, а по оси ординат – накопленные частоты с последующим соединением геометрических точек прямыми линиями. В отличие от куполообразной вариационной кривой, кумулята – S-образной формы (рис. 54).

Если накопленные частоты откладывать по оси абсцисс, а значения классов – по оси ординат с последующим соединением геометрических точек прямыми линиями, получится график, называемый *огивой* (рис. 55).

В программе Excel эти графики строятся так же, как и вариационная кривая.

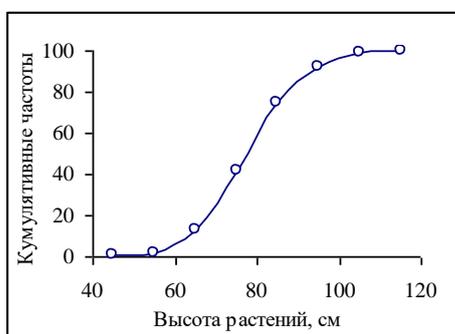


Рис. 54. Кумулята вариационного ряда

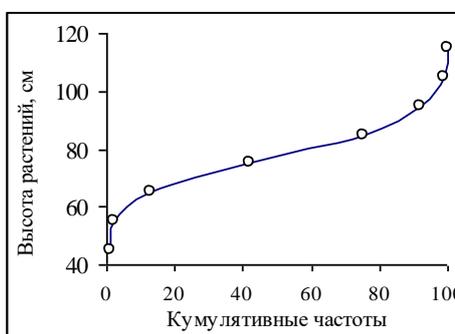


Рис. 55. Огива вариационного ряда

### 5.3. Статистические показатели для характеристики совокупности

*Статистика является для большинства наиболее трудной и, как иногда кажется, менее всего относящейся к делу. В этом частично виноваты сами статистики, так как слишком часто довольствовались построением формул, не думая об их практическом применении в полевых условиях. В настоящее время общепринято, что статистика занимает важное место в исследовании, поэтому важно, чтобы ученый сочетал в себе качества практика-экспериментатора и математика.*

С.Пирс

Вариационные ряды и их графики дают наглядное представление о том, как варьирует данный признак, но они не позволяют полно описать варьирующие объекты. Для этого существует ряд статистических показателей, которые называются *статистическими характеристиками* варьирующих объектов. Они позволяют судить о своеобразии варьирующих объектов и сравнивать их между собой.

Как известно, вариационные ряды могут различаться: 1) по тому значению признака, вокруг которого концентрируется большинство вариантов. Это значение признака отражает как бы уровень развития признака в данной совокупности или, иначе, *центральную тенденцию* ряда, т. е. типичное для данного ряда значение признака; 2) по степени отклонения вариант от центральной тенденции ряда и 3) по форме распределения.

Соответственно этому статистические показатели, характеризующие варьирующие объекты, разделяются на три группы: 1) показатели, характеризующие *центральную тенденцию*, или уровень ряда; 2) показатели, измеряющие степень вариации, т. е. изменчивости (Рокицкий П.Ф., 1964); 3) показатели формы распределения (Шмидт В.М., 1984; Лакин Г.Ф., 1990).

К показателям первой группы (т. е. показатели *центральной тенденции*) принадлежат различные виды средних величин (средняя арифметическая, средняя квадратическая, средняя кубическая, средняя геометрическая, средняя гармоническая, мода, медиана, квантили). Все эти величины сохраняют размерность, в которой выражен признак.

Ко второй группе относятся показатели *изменчивости* – размах вариации, среднее квадратическое (или стандартное) отклонение, коэффициент вариации. Первые два показателя сохраняют размерность характеризваемого признака, третий – величина относительная, безразмерная.

В третью группу объединены показатели *формы распределения*, о которых речь пойдет несколько позже, ибо их рассмотрению должна предшествовать определенная подготовка. В данном разделе мы коснемся показателей первых двух групп, вычисление которых составляет важнейший этап оценки вариационного ряда.

**Средние величины.** В отличие от индивидуальных числовых характеристик, средние величины обладают большей устойчивостью, способностью характеризовать группу однородных единиц одним (средним) числом.

Поэтому расчет средних показателей составляет основу первичной оценки экспериментальных данных. Различают *структурные* и *степенные* средние. К степенным средним относятся арифметическая, геометрическая, квадратическая, кубическая и гармоническая; структурным – мода, медиана, квантиль, квартиль. Степенные средние бывают *простыми* (вычисляются по не сгруппированным данным) и *взвешенными* (вычисляются с учетом частоты повторяемости каждой варианты, т. е. по сгруппированным данным).

*Средняя арифметическая*, или *медия*. Из общего семейства степенных средних наиболее часто используется средняя арифметическая – обобщенная абстрактная характеристика вариационного ряда, являющаяся центром распределения, вокруг которого группируются варианты статистической совокупности. Теоретически она может не совпадать ни с одной из вариантов, аккумулируя в себе их значения. Нахождение средней арифметической – это, в сущности, замена индивидуальных варьирующих значений признаков отдельных членов совокупности некоторой уравненной величиной при сохранении основных свойств всех членов совокупности. Среднюю арифметическую обозначают  $\bar{x}$  (отдельные авторы ее обозначают буквой *M*; Шмидт В.М., 1984). Различают *простую* и *взвешенную* среднюю арифметическую.

Для вычисления *простой средней арифметической (медии)* суммируют все частные значения признака в выборке и делят эту сумму на объем выборки:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n},$$

где:  $\sum x_i$  – сумма всех вариантов ( $x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n$ );  
 $n$  – число вариантов (объем выборки).

*Взвешенную среднюю арифметическую* вычисляют, когда значения вариантов повторяются, т. е. для данных, сгруппированных в классы, по формуле:

$$\bar{x} = \frac{f_1 x_1 + f_2 x_2 + f_3 x_3 \dots + f_n x_n}{f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_n} = \frac{\sum f_i x_i}{\sum f_i},$$

где:  $x$  – значение признака, варианты;  
 $f$  – частота встречаемости каждой варианты, признака.

Основные свойства средней арифметической: 1) равенство суммы всех положительных и всех отрицательных отклонений от нее, т. е. сумма центральных отклонений всех отдельных вариантов от  $\bar{x}$  равна нулю; 2) если к каждому значению варианты прибавить или вычесть из него некоторую постоянную величину  $A$  или 3) умножить или разделить каждое ее значение на ту же величину  $A$ , то средняя арифметическая увеличится или уменьшится на величину  $A$  или в  $A$  раз. Сумма квадратов отклонений вариант от их средней  $\bar{x}$  меньше суммы квадратов отклонений тех же вариант от любой другой величины  $A$ , не равной  $\bar{x}$ :  $\sum (x_i - \bar{x})^2 < \sum (x_i - A)^2$ .

Для определения средней арифметической в программе Excel необходимо ввести значения вариант в ячейки электронной таблицы, за-

тем в следующую вставить функцию СРЗНАЧ и диапазон значений для которого вычисляется средняя, например «=СРЗНАЧ(A24:A35)». В ячейке появится искомое значение. Следует помнить, что этой функцией нельзя пользоваться при расчете средней в сгруппированных данных, т. е. средней взвешенной. Удобнее вычислить среднюю до группировки данных.

*Средняя геометрическая* ( $\bar{x}_g$ ). Вычисляется по формуле:

$$\bar{x}_g = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_n} ,$$

где:  $x_1 \dots x_n$  – варианты, т. е. изменяющиеся значения признака;

$n$  – общее число членов в изучаемой совокупности.

Удобнее *среднюю геометрическую* вычислять с помощью десятичных логарифмов. При этом формула приобретает следующий вид:

$$\lg \bar{x}_g = \frac{\lg x_1 + \lg x_2 + \lg x_3 + \dots + \lg x_n}{n}$$

Наиболее точно средняя геометрическая характеризует динамику изменения вариант во времени, например, прирост высоты или массы растений по фазам вегетации. Для вычисления средней геометрической прироста варианты используют как абсолютные, так и относительные их значения. В зависимости от того, какие *значения* используют для вычисления средней геометрической, общая формула видоизменяется. Если для вычисления средней геометрической используют:

– абсолютные прибавки величины признака, то пользуются формулой:

$$\lg \bar{x}_g = \frac{\sum \lg x_i}{n} ,$$

где:  $x_i$  – абсолютная прибавка величины признака;

$n$  – число наблюдений;

– относительные прибавки за равные промежутки времени:

$$\lg \bar{x}_g = \frac{\sum \lg(x_2/x_1)}{n} ;$$

– конечное ( $x_k$ ) и начальное ( $x_n$ ) значения признака:

$$\lg \bar{x}_g = \frac{\lg x_k - \lg x_n}{n} .$$

Среднюю геометрическую обычно вычисляют для прогнозирования динамики изменения признака, при определении средних прибавок массы или размеров изучаемых объектов за определенные (чаще всего равные) промежутки времени. Средняя геометрическая по величине незначительно отличается от средней арифметической. При этом она обеспечивает получение неискаженных результатов лишь при наличии геометрической прогрессии в динамике признака. Учитывая еще и сложность ее вычисления, используется недостаточно часто.

Для определения средней геометрической в программе Excel необходимо ввести значения вариант в ячейки электронной таблицы, затем в следующую вставить функцию СРГЕОМ и диапазон значений, для которого вычисляется средняя, например «=СРГЕОМ(A24:A35)». В ячейке появится искомое значение.

*Средняя квадратическая* ( $\bar{x}_q$ ) служит для характеристики мер площади, например площади листьев, общей адсорбирующей и активно-поглощающей поверхностей корней и т. п. Эта величина равняется корню квадратному из суммы квадратов вариант, отнесенной к их общему числу измерений (учетов) в выборке:

$$\bar{x}_q = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}},$$

или при повторяемости отдельных вариант:

$$\bar{x}_q = \sqrt{\frac{\sum f_i x_i^2}{n}},$$

где:  $x_i$  – значение варианты;  
 $f$  – частота встречаемости варианты;  
 $n$  – объем выборки.

В программе Excel нет специальной функции для расчета средней квадратической; чтобы ее рассчитать, необходимо ввести цепочку расчетов вручную.

*Средняя кубическая* ( $\bar{x}_Q$ ) более точно, чем средняя арифметическая, характеризует показатели объемных признаков. Рассчитывается как корень кубический из суммы кубов всех вариант ( $\sum X_i^3$ ), деленной на их число ( $n$ ):

$$\bar{x}_Q = \sqrt[3]{\frac{\sum x_i^3}{n}},$$

или с учетом повторяемости отдельных вариант:

$$\bar{x}_Q = \sqrt[3]{\frac{\sum f_i x_i^3}{n}}.$$

В программе Microsoft Excel нет специальной функции для расчета средней кубической, чтобы ее рассчитать, необходимо ввести цепочку расчетов вручную.

*Средняя гармоническая* ( $\bar{x}_h$ ) – частное от деления количества нескольких чисел на сумму их обратных величин. *Простая средняя гармоническая* представляет собой отношение объема выборки ( $n$ ) к сумме обратных значений вариант (признак, наблюдение):

$$\bar{x}_h = \frac{n}{\sum \frac{1}{x_i}}.$$

Взвешенная средняя гармоническая выражается следующей формулой:

$$\bar{x}_h = \frac{n}{\sum f_i \frac{1}{x_i}} .$$

Среднюю гармоническую целесообразно использовать в случаях, когда изучаемый признак находится в обратной пропорциональности к другому, связанному с ним функционально, например, для выяснения времени, необходимого для изменения признака на определенную величину. Поясним на примере. Необходимо вычислить, сколько времени необходимо для увеличения высоты проростка на 1 см. В этом случае необходимый нам признак оценивается обратной величиной учитываемого признака (высота проростка). Например, за сутки высота проростков увеличилась на 1,0; 1,8; 1,3; 1,6; 2,5 см. Если для определения средней величины использовать среднюю арифметическую, то получим  $\bar{x} = (1,0 + 1,8 + 1,3 + 1,6 + 2,5) / 5 = 1,64$  см/сут., если среднюю гармоническую –  $\bar{x}_h = \frac{5}{1/1 + 1/1,8 + 1/1,3 + 1/1,6 + 1/2,5} = 1,49$  см/сут.

А теперь вычислим за какое время проросток увеличивается на 1 см. Используем для расчета среднюю арифметическую ( $\bar{x}$ ) –  $24 / 1,64 = 14,63$  ч/см – и среднюю гармоническую ( $\bar{x}_h$ ) –  $24 / 1,49 = 16,08$  ч/см. Уточним, какая из величин более точная:  $(24/1 + 24/1,8 + 24/1,3 + 24/1,6 + 24/2,5) / 5 = 16,08$  ч/см, т. е. в большей степени для таких расчетов пригодна средняя гармоническая, т. к. обеспечивает более точный результат.

Для определения средней арифметической в программе Excel необходимо ввести значения вариант в ячейки электронной таблицы, затем в следующую вставить функцию СРГАРМ и диапазон значений для которого вычисляется средняя, например «=СРГАРМ(A24:A35)». В ячейке появится искомое значение.

*Мода (Mo)* – наиболее часто встречающееся в вариационном ряду значение признака. На графике это значение соответствует максимальной частоте, т. е. вершине вариационной кривой. Если вариационный ряд разбит на классы, то существует модальный класс, которому соответствует максимальная частота. Иначе говоря, класс с наибольшей частотой называется модальным.

Для определения моды (*Mo*) в программе Excel необходимо в любую ячейку вставить функцию МОДА и, как того требует программа, указать диапазон (массив) значений, для которого необходимо произвести вычисления – «=МОДА(A24:J13)». В ячейке появится искомое значение.

При отсутствии вычислительной техники приближенное значение *Mo* можно определить по формуле:

$$Mo = x_n + i \cdot \left( \frac{f_2 - f_1}{2f_2 - f_1 - f_3} \right),$$

где:  $x_n$  – нижняя граница модального класса;  
 $f_1$  – частота класса, предшествующего модальному;  
 $f_2$  – частота модального класса;  
 $f_3$  – частота класса, следующего за модальным;  
 $i$  – классовый интервал.

*Пример.* Число корней у риса в фазу выметывания, подсчитанное у 100 ( $n=100$ ) растений, изменялось от 45 шт. до 115 шт. После проведенной группировки вариант и вычисления частоты встречаемости каждого класса получен следующий вариационный ряд:

Классы по числу корней	40–49	50–59	60–69	70–79	80–89	90–99	100–109	110–120
Частота встречаемости ( $f$ )	1	1	11	29	33	17	7	1

Для установления наиболее часто встречающегося у растений риса количества корней, т. е. моды ( $Mo$ ) вариационного ряда, определим модальный класс – это 80–89 см, его нижняя граница  $x_n=80$  см, частота ( $f_2$ ) 33. Частота предшествующего ( $f_1$ ) и последующего ( $f_3$ ) классов соответственно 29 и 17. Воспользуемся формулой и рассчитаем  $Mo$ :

$$Mo = 80 + 10 \cdot \left( \frac{33 - 29}{2 \cdot 33 - 29 - 17} \right) = 82 \text{ шт./раст.}$$

Таким образом, наиболее часто у анализируемых растений формировалось по 82 корешка. Еще раз следует подчеркнуть, что это приближительное значение. Степень приближения к истинному значению, в частности, установленному в программе Excel, будет зависеть во многом от точности группировки, в т. ч. и выбранного классового интервала.

*Медиана ( $Me$ )* – срединное (но не среднее) значение признака, относительно которой вариационный ряд делится на две части. В обе стороны от медианы располагается одинаковое число членов ряда (вариант). Для нахождения медианы надо сначала расположить все варианты по порядку от минимальных их значений до максимальных. Такое расположение вариант называют *ранжировкой (ранжированием)*. Если число членов ряда нечетное, то центральная варианта и будет его медианой. При четном числе членов ряда медиана определяется по полусумме двух соседних вариант, расположенных в центре ряда. Если же вариационный ряд сгруппирован в классы, то медиану находят по формуле:

$$Me = x_{Me} + i \cdot \left( \frac{0,5n - \sum f_i}{f_{Me}} \right),$$

где:  $x_{Me}$  – начало класса, в котором содержится медиана;  
 $i$  – величина классового интервала;  
 $n$  – объем выборки;  
 $\sum f_i$  – сумма накопленных частот всех классов, предшествующих медианному классу;  
 $f_{Me}$  – частота медианного класса.

Медиану можно определить графически по кумуляте. Для этого ординату, на которую нанесен ряд накопленных частот, делят пополам. Затем из срединной точки восстанавливают перпендикуляр до пересечения с кумулятой. Опущенный из точки пересечения на ось абсцисс перпендикуляр укажет значение медианы.

*Пример.* Рассчитаем медиану для того же, что и моду, вариационного ряда, состоящего из 100 вариант. Для этого дополнительно необходимо вычислить накопленные (кумуляты) частоты  $\sum f_i$ :

Классы по числу корней	40–49	50–59	60–69	70–79	80–89	90–99	100–109	110–120
Частота встречаемости ( $f$ )	1	1	11	29	33	17	7	1
Кумуляты частот $\sum f_i$	1	2	13	42	75	91	99	100

Определим класс, содержащий медиану: вариационный ряд содержит 100 вариант –  $0,5n = 0,5 \cdot 100 = 50$ . Первая  $\sum f_i$  больше 50 –  $\sum f_i = 75$ . Это класс, содержащий медиану. Его границы  $x_n (x_{Me}) = 80$ ,  $x_v = 89$ , его частота  $f_{Me} = 33$ , классовый интервал  $i = 10$ .

$$Me = 80 + 10 \cdot \left( \frac{0,5 \cdot 100 - 42}{33} \right) = 82,42 \approx 82 \text{ шт./раст.},$$

Таким образом, варианта, имеющая значение 82, делит вариационный ряд на две равные части. Подчеркиваем, что это приблизительное значение.

*Квантили* – величины, отсекающие в пределах вариационного ряда определенную часть его членов (вариант). К ним относятся квантили, децили и перцентили (процентили).

*Квартиль* – величина, отсекающая  $\frac{1}{4}$  членов ряда. Три квартиля –  $q_1$   $q_2$   $q_3$  делят весь вариационный ряд на 4 равночисленные кварталы, т.е. части.

*Дециль* – величина, отделяющая  $\frac{1}{10}$  всех членов ряда. Если речь идет о сотых долях вариант в общем ряду распределения, такая величина, обозначаемая символом  $P_j$ , называется *персентилем* или *процентилем*. 99 персентилей делят всю совокупность наблюдений на 100 равночисленных частей.

Программа Microsoft Excel позволяет рассчитывать квартили и персентили. Для этого вводим в ячейку функцию КВАРТИЛЬ с двумя аргументами: первый – массив, для которого необходимо произвести вычисления, второй – «часть», может принимать пять значений: 0 – возвращает значение минимальной варианты, 1 – первый квартиль, 2 – второй квартиль, 3 – третий квартиль, 4 – значение максимальной варианты: «=КВАРТИЛЬ(С54:Л63;1)».

Для расчета персентилей используем функцию ПЕРСЕНТИЛЬ с двумя аргументами, первый – массив, для которого находят персентиль, второй – значение персентиль в интервале от 0 до 1 включительно: «=ПЕРСЕНТИЛЬ(С54:Л63;0,5)». 0 (ноль) соответствует первому персентилю, 1 – девяносто девятому.

В практике используют обычно персентили  $P_{0,03}$ ,  $P_{0,1}$ ,  $P_{0,25}$ ,  $P_{0,5}$ ,  $P_{0,75}$ ,  $P_{0,9}$  и  $P_{0,97}$ . Причем  $P_{0,25}$  и  $P_{0,75}$  соответствуют первому и третьему квартилям, между которыми находится 50% всех членов ряда, а  $P_{0,5}$  – второму квартилю и равен медиане, т.е.  $P_{0,5} = Me$ .

При отсутствии вычислительной техники персентиль определяют по формуле:

$$P_j = x_n + i \cdot \left( \frac{K - \sum f_i}{f_P} \right),$$

где:  $x_n$  – нижняя граница класса, содержащего персентиль  $P_j$ ; она определяется по величине  $K = L_j n / 100$ , превосходящей или равной  $\sum f_i$  в ряду накопленных частот;  $P_j$  – выбранный персентиль;

$n$  – объем выборки (общее число наблюдений);  
 $i$  – ширина классового интервала;  
 $f_P$  – частота класса, содержащего искомый перцентиль;  
 $\sum f_i$  – сумма накопленных частот в классе, предшествующем содержащему перцентиль;  
 $L_j$  – порядок персентилия, показывающий, какой процент наблюдений имеет меньшую величину, чем  $P_j$ . Например, для  $P_{0,25}$  и  $P_{0,75}$  порядки окажутся соответственно равными 25 и 75%.

Нахождение персентилей связано с кумуляцией частот вариационного ряда в направлении от низшего (начального) класса к высшему.

Персентили используют в тех ситуациях, когда необходимо знать, какой процент наблюдений имеет меньшую, чем персентиль величину. Номер (доля) персентилия показывает процент (долю) вариант со значением меньшим, чем персентиль:  $P_{25}$  ( $P_{0,25}$ ) соответствует 25 %,  $P_{50}$  ( $P_{0,5}$ ) – 50 %,  $P_{90}$  ( $P_{0,9}$ ) – 90 %.

*Пример.* Если необходимо знать число корней у растений какой либо определенной части вариационного ряда, воспользуемся персентилем. Так, вычислив  $P_{25}$ , мы получим значение варианты, в данном примере это количество корней у 25 % растений от начала вариационного ряда, т. е. меньше, чем персентиль.

Для этого нам потребуются следующие значения:

Классы по числу корней	40	–	50	–	60	–	70	–	80	–	90	–	100	–	110	–	120
Частота встречаемости ( $f$ )	1		1		11		29		33		17		7		1		
Кумуляты частот $\sum f_i$	1		2		13		42		75		91		99		100		

Вначале вычислим величину  $K = L_j \cdot n / 100 = 25 \cdot 100 / 100 = 25$ . По полученной величине находим класс, содержащий персентиль. Это первый в ранжированном ряду класс, имеющий сумму накопленных частот  $\sum f_i$  равную или превышающую  $K$ . В нашем примере –  $\sum f_i = 42$ . Это частота класса, содержащего  $P_{25}$  ( $P_{0,25}$ ), его нижняя граница  $x_n = 70$ , частота  $f_P = 29$ , интервал  $i = 10$ , сумма накопленных частот в классе, предшествующем содержащему персентиль  $\sum f_i = 13$ . Воспользуемся формулой:

$$P_j = x_n + i \cdot \left( \frac{K - \sum f_i}{f_P} \right) = 70 + 10 \cdot \left( \frac{25 - 13}{29} \right) = 74$$

Таким образом, 25 % растений риса в анализируемой совокупности имеют 74 и менее корешков.

**Показатели изменчивости.** К ним относятся: лимиты (размах вариации), среднее квадратическое отклонение, дисперсия и коэффициент вариации.

*Лимиты.* Одним из простейших способов количественной характеристики вариационного ряда является указание на его размах, т. е. на нижнюю и верхнюю его границы (минимальная и максимальная варианты совокупности), которые называют *лимитами*. Иначе этот показатель называют размах вариации  $R$ . Чем больше разность между нижним и верхним значениями, тем изменчивее признак. При всей привлекательно-

сти, лимиты не указывают на то, как распределяются по изучаемому признаку отдельные члены совокупности.

*Дисперсия* (от лат. *dispersio* – рассеивание), или *варианса*, – средний квадрат отклонений вариант от их средней величины в данной совокупности. Дисперсия представляет собой частное от деления суммы квадратов отклонений  $\sum (x_i - \bar{x})^2$  на число всех измерений без единицы ( $n-1$ ):

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}.$$

Если исходные наблюдения сгруппированы и частоты групп обозначены через  $f$ , то дисперсию вычисляют по формуле:

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum f(x_i - \bar{x})^2}{n-1}.$$

Для вычисления дисперсии  $\sigma^2$  следует определить отклонения каждой варианты ( $x_i$ ) от среднего арифметического ( $x_i - \bar{x}$ ), возвести его в квадрат  $(x_i - \bar{x})^2$ , суммировать их  $\sum (x_i - \bar{x})^2$  и разделить на число всех измерений без единицы ( $n-1$ ).

Величина  $n-1$  – число свободно варьирующих единиц или элементов в составе численно ограниченной совокупности – называется *числом степеней свободы*. Так, если совокупность состоит из  $n$ -го числа членов –  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , т. е. имеет объем, равный  $n$ , и характеризуется средней величиной  $\bar{x}$ , то любой член этой совокупности ( $x_i$ ) может иметь какое угодно значение, не изменяя при этом среднюю  $\bar{x}$ , кроме одной варианты, значение которой определяется разностью между суммой значений всех отдельных вариантов и значением  $n\bar{x}$ . Следовательно, одна варианта численно ограниченной совокупности не имеет свободы вариации, и число степеней свободы будет равно объему выборки без единицы, т. е.  $n-1$ . При наличии не одного, а нескольких ограничений свободы вариации, число степеней свободы  $k = n-v$ , где  $n$  – объем выборки,  $v$  – число ограничений свободы вариации.

Дисперсия, являясь мерой варьирования числовых значений признака вокруг средней арифметической выборки, измеряет и внутреннюю изменчивость значений признака, зависящую от разности между наблюдениями. Кроме того, она разлагается на составляющие ее компоненты, что позволяет оценить влияние различных факторов на величину анализируемого признака.

*Среднее квадратическое отклонение (стандартное отклонение)*. Размерность дисперсии равна квадрату размерности изучаемого признака, что неудобно и заставляет ввести для измерения рассеяния другую характеристику, имеющую размерность признака. Такой показатель, называемый стандартным или средним квадратическим отклонением ( $\sigma_x$ ), представляет собой корень квадратный из дисперсии:

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

Если исходные наблюдения сгруппированы и частоты групп обозначены через  $f$ , то стандартное отклонение вычисляют по формуле:

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2} = \sqrt{\frac{\sum f(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

Среднее квадратическое отклонение не является постоянной величиной и вычисляется для каждой совокупности. Стандартное отклонение служит показателем наиболее вероятной средней ошибки отдельного единичного наблюдения, взятого из данной совокупности. В пределах одного значения ( $\pm 1 \sigma$ ) укладывается примерно 68,3 % всех наблюдений, т. е. основное ядро изучаемого ряда величин. Поэтому стандартное отклонение называют также *основным отклонением* вариационного ряда. Таким образом, возможны отклонения от  $\bar{x}$ , превосходящие  $\pm 1 \sigma$ , но вероятность их по мере удаления отклонений от  $\pm 1 \sigma$ , все время уменьшается. Так, вероятность встретить вариант, отклоняющуюся от средней арифметической на величину больше  $\pm 3 \sigma$ , не превышает 0,3 %. Поэтому утроенное значение стандартного отклонения принято считать *предельной ошибкой отдельного наблюдения* и, следовательно, практически все значения вариант в вариационном ряду укладываются в пределах  $\pm 3 \sigma$ . Шестикратное значение среднего квадратического отклонения, т. е. от  $+3 \sigma$  до  $-3 \sigma$ , дает четкое представление о ширине ряда наблюдений, о его рассеянии.

Среднее квадратическое отклонение используется как самостоятельный показатель и как основа для вычисления коэффициента вариации, абсолютной ошибки выборочной средней, коэффициентов корреляции и регрессии.

Дисперсия и среднее квадратическое отклонение используют для сравнения изменчивости одноименных величин, но они не позволяют сравнивать изменчивость различных признаков, т. к. имеет различную размерность. Вместе с тем на практике возникает потребность сравнить изменчивость признаков, выраженных разными единицами. Для этого необходимо использовать относительные показатели вариации. Одним из относительных показателей вариации является коэффициент вариации.

*Коэффициент вариации* ( $V$ ) – стандартное отклонение, выраженное в процентах от средней арифметической данной совокупности:

$$V = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \cdot 100.$$

Коэффициент вариации показывает, какой процент среднего арифметического составляет среднее квадратическое отклонение в исследуемой совокупности. Следовательно, он является относительным показателем изменчивости. Изменчивость считают незначительной, если коэффициент вариации не превышает 10 %, средней – когда он 11–25 %, и значительной – если он более 25 %. Коэффициент вариации отражает лишь степень разнообразия признака. Он не зависит от абсолютной величины признака и может использоваться при сравнении изменчивости различных признаков одной совокупности.

Нормированное отклонение  $t$  – отклонение варианты ( $x_i$ ) от средней арифметической ( $\bar{x}$ ,  $M$ ), отнесенное к величине среднего квадратического отклонения ( $\sigma_x$ ), называют *нормированным отклонением*:

$$t = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma_x} \text{ или иначе } t = \frac{(x_i - M)}{\sigma_x}.$$

Нормированное распределение позволяет сравнивать варьирование различных признаков, т. к. оно «измеряет» отклонение вариант от среднего уровня. Этот показатель показывает, как велико отклонение отдельной варианты от средней величины. Нормированное распределение используют при работе с нормальным распределением.

*Пример.* У 100 15-ти дневных проростков риса была измерена высота ростка ( $x_i$ ). Ее значение представлены в таблице 23.

Оценим изменчивость этого признака, используя показатели вариации:

1. Размах варьирования:  $R = x_{\max} - x_{\min} = 10,2 - 4,9$  см.

Таблица 23 – Высота 15-ти дневных проростков риса, см

$x_i$				$x_i - \bar{x}$				$(x_i - \bar{x})^2$			
7,0	7,4	9,1	7,1	-0,338	0,062	1,762	-0,238	0,1142	0,0038	3,1046	0,0566
5,3	9,0	7,9	8,0	-2,038	1,662	0,562	0,662	4,1534	2,7622	0,3158	0,4382
7,1	7,2	5,9	8,0	-0,238	-0,138	-1,438	0,662	0,0566	0,019	2,0678	0,4382
4,9	6,9	8,0	5,2	-2,438	-0,438	0,662	-2,138	5,9438	0,1918	0,4382	4,571
6,8	9,0	9,0	8,6	-0,538	1,662	1,662	1,262	0,2894	2,7622	2,7622	1,5926
6,8	6,5	6,9	7,0	-0,538	-0,838	-0,438	-0,338	0,2894	0,7022	0,1918	0,1142
6,5	8,5	6,9	8,0	-0,838	1,162	-0,438	0,662	0,7022	1,3502	0,1918	0,4382
7,5	7,4	6,5	9,2	0,162	0,062	-0,838	1,862	0,0262	0,0038	0,7022	3,467
5,6	7,4	8,0	7,6	-1,738	0,062	0,662	0,262	3,0206	0,0038	0,4382	0,0686
10,2	4,9	5,7	8,1	2,862	-2,438	-1,638	0,762	8,191	5,9438	2,683	0,5806
6,3	7,0	7,6	6,3	-1,038	-0,338	0,262	-1,038	1,0774	0,1142	0,0686	1,0774
8,1	7,6	8,6	5,5	0,762	0,262	1,262	-1,838	0,5806	0,0686	1,5926	3,3782
7,0	6,9	6,7	8,2	-0,338	-0,438	-0,638	0,862	0,1142	0,1918	0,407	0,743
7,8	8,0	8,1	6,8	0,462	0,662	0,762	-0,538	0,2134	0,4382	0,5806	0,2894
5,2	5,6	7,7	8,3	-2,138	-1,738	0,362	0,962	4,571	3,0206	0,131	0,9254
7,5	9,5	7,1	8,3	0,162	2,162	-0,238	0,962	0,0262	4,6742	0,0566	0,9254
6,7	8,2	6,3	7,8	-0,638	0,862	-1,038	0,462	0,407	0,743	1,0774	0,2134
7,8	6,7	9,2	5,4	0,462	-0,638	1,862	-1,938	0,2134	0,407	3,467	3,7558
9,5	6,0	7,3	7,6	2,162	-1,338	-0,038	0,262	4,6742	1,7902	0,0014	0,0686
6,1	8,5	6,6	8,4	-1,238	1,162	-0,738	1,062	1,5326	1,3502	0,5446	1,1278
7,1	6,5	10,0	7,3	-0,238	-0,838	2,662	-0,038	0,0566	0,7022	7,0862	0,0014
9,6	10,1	7,2	6,5	2,262	2,762	-0,138	-0,838	5,1166	7,6286	0,019	0,7022
7,1	6,4	5,1	9,2	-0,238	-0,938	-2,238	1,862	0,0566	0,8798	5,0086	3,467
5,0	6,5	9,1	7,5	-2,338	-0,838	1,762	0,162	5,4662	0,7022	3,1046	0,0262
6,6	7,3	7,3	6,0	-0,738	-0,038	-0,038	-1,338	0,5446	0,0014	0,0014	1,7902
Сумма всех (вариант) измерений $\sum x_i = 733,8$				$\sum x_i - \bar{x} = 0$				$\sum (x_i - \bar{x})^2 = 150,2$			
Средняя $\bar{x} = 7,338$											

2. Дисперсия. Вычисляем сумму всех (вариант) измерений  $\sum x_i = 733,8$  и их среднюю арифметическую  $\bar{x} = 7,338$ . Последовательно, от каждой варианты вычитаем среднее значение  $\bar{x}$  и суммируем. При правильно выполненных вычислениях  $\sum x_i - \bar{x}$  всегда должна равняться 0. Следующим шагом каждое значение  $x_i - \bar{x}$  возводим в квадрат и вычисляем  $\sum (x_i - \bar{x})^2 = 150,2$ . Для вычисления дисперсии воспользуемся формулой

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{150,2}{100-1} = 1,5172.$$

3. Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2} = \sqrt{1,5172} = 1,232 \text{ см.}$$

4. Коэффициент вариации:

$$V = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{1,232}{7,338} \cdot 100 = 16,79\%.$$

5. Нормированное отклонение. Необходимо выяснить, как велико отклонение высоты б проростка ( $x_6$ ) от среднего значения этого признака ( $\bar{x}$ ) в выборке:

$$t = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma_x} = \frac{6,8 - 7,338}{1,232} = -0,437 \text{ см.}$$

В программе Microsoft Excel, чтобы вычислить дисперсию и среднее квадратическое отклонение, необходимо использовать функции «ДИСП» и «СТАНДОТКЛОН» соответственно. Аргументами этих функций является массив чисел, который указывается в скобках, например: «=ДИСП(A1:D25)» и «=СТАНДОТКЛОН(A1:D25)». Для вычисления коэффициента вариации необходимо ввести цепочку вычислений с клавиатуры: «=1,232/7,338\*100». Нормированное отклонение позволяет вычислить функция «НОРМАЛИЗАЦИЯ», аргументами этой функции являются: значение нормализуемой величины ( $x$ ), среднее и стандартное отклонение, которые указываются в скобках через «;». Вместо конкретных значений можно сослаться на ячейки электронной таблицы, в которых они записаны: «=НОРМАЛИЗАЦИЯ(C1;D3;G5)».

*Статистические показатели качественной изменчивости.* Такими являются: доля признака, показатель изменчивости (среднее квадратическое отклонение), коэффициент вариации и ошибка выборочной доли.

*Доля признака.* Этот показатель характеризует относительную численность (частоту) отдельной варианты в данной совокупности и обозначается через  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ . Доля признака выражается в частях единицы или в процентах. В первом случае сумма всех долей в пределах данной совокупности или ряда распределения равна единице, во втором – 100 %. Доля признака – это отношение численности каждого из членов ряда  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$  к численности совокупности  $N$ . Иными словами, доля признака – это вероятность появления данного признака в изучаемой совокупности:

$$p_1 = \frac{n_1}{N}; \quad p_2 = \frac{n_2}{N}; \quad p_3 = \frac{n_3}{N}; \quad \dots \quad p_n = \frac{n_n}{N}$$

При альтернативной изменчивости, т. е. когда варьирование одной группы вариант противопоставляется другой, статистические показатели вычисляются следующим образом. Общее число вариант (наблюдений) обозначим  $n$ , а численность вариант обладающих признаком,  $m$ . В этом случае число вариант, имеющих противоположное проявление признака, составит  $n-m$ . Доля вариант, обладающих учитываемым признаком, обозначим  $p$ , которая вычисляется как  $p=m/n$ . Долю вариант с альтернативным признаком обозначается через  $q$ . Она равна  $q=(n-m)/n=1-(m/n)=1-p$ . Вероятность двух противоположных явлений может быть выражена равенством  $p+q=1$ , или в процентах –  $p+q=100$ .

Относительные частоты признака при количественной изменчивости, в т. ч. и альтернативной, выполняют такую же роль, что и средние величины при количественной изменчивости.

*Пример.* В гибридной популяции, состоящей из 1000 растений ( $n=1000$ ), было отобрано 20 ( $m=20$ ) растений, обладающих устойчивостью к нематоду. Доля устойчивых растений ( $p$ ) составила –  $p=m/n=20/1000=0,02$ , а доля поражающихся (т. е. неустойчивых) –  $q=1-p=1-0,02=0,98$ . При выражении доли признака в процентах –  $p=(m/n)100=(20/1000)100=2$  и  $q=100-p=100-2=98$ . Интерпретируется приведенный пример следующим образом: в изучаемой гибридной популяции вероятность появления устойчивых к нематоду растений составляет 2 %.

*Показатель изменчивости количественного признака ( $\sigma$ )* по терминологии Б.А. Доспехова (1979) или *среднее квадратическое отклонение* по терминологии Г.Ф. Лакина (1990). Этот показатель характеризует варьирование величин ряда относительно друг друга. Вычисляют его по формуле:

$$\sigma = \sqrt[k]{p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot \dots \cdot p_k},$$

где:  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_k$  – доля признака (или процентные значения их) в общей совокупности;  
 $k$  – число градаций признака.

Если изменчивость изучаемого признака имеет более чем 2 градации ( $k>2$ ), целесообразно вычислить показатель путем логарифмирования:

$$\lg \sigma = \frac{\lg p_1 + \lg p_2 + \dots + \lg p_k}{k}, \quad s = 10^{\lg \sigma}.$$

При альтернативной изменчивости признака среднее квадратическое отклонение определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{p(1-p)} = \sqrt{pq}.$$

Если численность альтернативных групп выражена в процентах, формула приобретает вид:

$$\sigma = \sqrt{p(100-p)}.$$

В зависимости от соотношения  $p$  и  $q$  значение  $s$  изменяется от 0 до 0,5. Максимальная изменчивость качественного признака будет наблюдаться тогда, когда  $p=q=0,5$ . В этом случае:

$$\sigma_{\text{макс.}} = \sqrt{0,5 \cdot 0,5} = 0,5 \text{ или } 50 \text{ \%}.$$

Максимальная изменчивость качественного признака зависит от числа его градаций. Ее значения приведены ниже (Доспехов Б.А., 1979):

Число градаций признака	$\sigma_{\text{макс}}$	Число градаций признака	$\sigma_{\text{макс}}$
2	0,500 (50,0 %)	5	0,200 (20,0 %)
3	0,333 (33,3 %)	6	0,167 (16,7 %)
4	0,250 (25,0 %)	7	0,143 (14,3 %)

**Коэффициент вариации качественных признаков.** Это фактический показатель изменчивости, выраженный в процентах к максимально возможной изменчивости. Его обозначают через  $V_p$  и определяют по формуле:

$$V_p = \frac{\sigma}{\sigma_{\text{макс.}}} \cdot 100.$$

Коэффициент вариации характеризует относительную степень изменчивости исследуемых признаков и используется для сравнительной оценки выравненности различных совокупностей. Максимальное значение  $V_p$ , равное 100 %, наблюдается при  $\sigma = \sigma_{\text{макс.}}$ .

### 5.3.1. Ошибки репрезентативности

*Если эксперимент – король наук, то статистические методы – его телохранители.*

#### М. Трайбус

*Математические методы ... позволяют извлечь максимум информации из исходных данных, оценить, насколько существенны, реальны различия между вариантами, установить коэффициенты уравнений регрессий и производственных функций – математических моделей урожаев, качества продукции, свойств почвы и других показателей.*

#### Б.А Доспехов

Исчерпывающую информацию об изучаемом объекте получают при обследовании всех членов данной совокупности, т. е. при *полном (сплошном)* учете. На практике к такому способу сбора информации прибегают крайне редко, не только из-за больших затрат труда, но и практической невозможности такого учета. В практике научных исследований в подавляющем большинстве случаев ограничиваются обследованием части совокупности, т. е. *выборочными* наблюдениями (выборочный метод).

Совокупность, из которой отбирают определенную часть ее членов для совместного изучения, называют *генеральной*, а отобранную тем или иным способом ее часть – *выборочной совокупностью* или *выборкой*.

Теоретически *объем генеральной совокупности* ничем не ограничен ( $N \rightarrow \infty$ ), т. е. ее представляют как бесконечно большое множество относительно однородных единиц или членов, составляющих ее содержание. Однако в практике научных исследований объем генеральной совокупности всегда ограничивается особенностями объекта наблюдений и решаемыми задачами. Так, изучая реакцию риса на азотные удобрения, генеральную совокупность, т. е. все известные сорта риса, выращиваемые в мире, ограничивают сортами с одинаковой продолжительностью вегетационного периода, регионом возделывания, конкретным сортом и т. п. *Объем выборки (n)* может быть представлен различным числом объектов, но не менее двух единиц.

Выборочный метод – основной при изучении статистических совокупностей. Его преимущество перед полным учетом всех членов генеральной совокупности заключается в том, что он сокращает время и затраты труда (за счет уменьшения числа наблюдений), а главное – позволяет получать информацию о таких групповых объектах, сплошное обследование которых практически невозможно или нецелесообразно.

Основное требование, предъявляемое к любой выборке, сводится к получению наиболее полной информации о состоянии генеральной совокупности, из которой выборка взята. Опыт тысячелетних научных исследований доказал, что грамотно составленная выборка довольно хорошо отображает структуру генеральной совокупности. Однако полного совпадения выборочных показателей с характеристиками генеральной совокупности не бывает. Чтобы выборка наиболее полно отображала структуру генеральной совокупности, т. е. была *репрезентативной* (от лат. *represento* – представляю), необходимо правильно планировать эксперимент, а при формировании выборки следует обеспечить равную возможность для всех членов генеральной совокупности попасть в ее состав.

Таким образом, выборочные параметры (статистические параметры выборки) являются приближенными оценками параметров генеральной совокупности. Числовые показатели, характеризующие генеральную совокупность, называют *параметрами*, а характеризующие выборку – *выборочными характеристиками*. Оценки генеральных параметров по выборочным характеристикам могут быть точечными и интервальными.

Генеральные характеристики, или параметры, принято обозначать буквами греческого алфавита, а выборочные характеристики – латинского. Выборочная средняя  $\bar{x}$  является оценкой генеральной средней  $\mu$ , выборочная дисперсия  $s_x^2$  – оценкой генеральной дисперсии  $\sigma_x^2$  ( $\sigma_m^2$ ), а среднее квадратическое отклонение  $s_x$  – оценкой стандартного отклонения  $\sigma_x$  ( $\sigma_m$ ), характеризующего генеральную совокупность. Это *точечные оценки*, представляющие собой не интервалы, а числа («точки»), вычисляемые по случайной выборке. Эти оценки должны удовлетворять по меньшей мере следующим требованиям: быть состоятельными, эффективными и несмещенными.

Точечная оценка называется:

– *состоятельной*, если при увеличении объема выборки она стремится к величине генерального параметра;

– *эффективной*, если она имеет наименьшую дисперсию выборочного распределения по сравнению с другими аналогичными оценками, т. е. обнаруживает наименьшую случайную вариацию;

– *несмещенной*, если математическое ожидание ее выборочного распределения совпадает со значением генерального параметра. Выборочная средняя является несмещенной оценкой генеральной средней, а выборочная дисперсия представляет собой смещенную оценку относительно генерального параметра. Чтобы получить несмещенную оценку генеральной дисперсии, при вычислении выборочной дисперсии, а также среднего квадратического отклонения сумму квадратов отклонений необходимо отнести не к числу наблюдений  $n$ , а к числу степеней свободы ( $k=n-1$ ).

Величину отклонения выборочного показателя от его генерального параметра называют *статистической ошибкой* или *ошибкой репрезентативности*. Статистические ошибки присущи только выборочным характеристикам, они возникают в процессе отбора вариантов из генеральной совокупности. Ошибки репрезентативности чаще всего измеряются *дисперсией выборочного распределения*  $\sigma_m^2$  или найденным на ее основе значением среднего квадратического отклонения, которое называют также *квадратической ошибкой статистики*  $\sigma_m$ . Его величина показывает, насколько велика случайная вариация отдельных оценок по отношению к центру выборочного распределения, совпадающего со значением генерального параметра.

**Ошибка выборочной средней, или ошибка выборки.**  $s_{\bar{x}}$  является мерой отклонения выборочной средней  $\bar{x}$  от средней генеральной совокупности  $\mu$ . Ошибки выборки возникают вследствие неполной репрезентативности (представительности) выборочной совокупности и свойственны исключительно выборочному методу исследования. Они связаны с перенесением результатов, полученных при изучении выборки, на всю генеральную совокупность. Величина ошибки зависит от объема выборки и от степени изменчивости изучаемого признака.

Стандартная ошибка прямо пропорциональна выборочному стандартному отклонению  $\sigma$  и обратно пропорциональна корню квадратному из числа измерений  $n$ :

$$s_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{n}}.$$

Подставив значение  $\sigma_x^2$ , получим:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n(n-1)}}.$$

Ошибки выборки выражают в тех же единицах измерения, что и варьирующий признак, и приписывают к соответствующим средним знакам  $\pm$ , например,  $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ . Согласно закону нормального распределения,

можно утверждать с гарантией, которая отвечает значению  $t_{05}$  в таблице Стьюдента (прил. 1), что средняя генеральной совокупности ( $\mu$ ) находится в пределах  $\bar{x} \pm t_{05} s_{\bar{x}}$ .

Абсолютная ошибка выборочной средней используется для установления доверительных границ в генеральной совокупности, достоверности выборочных показателей и разности, а также установления необходимого объема выборок в научно-исследовательских работах.

*Относительная ошибка выборочной средней* – это ошибка выборки, выраженная в процентах от соответствующей средней:

$$P = \frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{V\%}{\sqrt{n}},$$

где:  $n$  – объем выборки;  
 $V\%$  – коэффициент вариации.

Относительную ошибку средней иногда называют «точностью опыта», что не совсем верно. Точность опыта считается удовлетворительной, если величина показателя не превышает 5%. При значениях больше 5% рекомендуется увеличить число наблюдений или повторностей. Ошибка точности опыта определяется по формуле:

$$m_P = P \sqrt{\frac{1}{2n} + \left(\frac{P}{100}\right)^2}.$$

*Пример.* В результате измерения высоты 30 растений риса получены следующие данные:

100,0	63,0	69,0	84,0	84,0	103,0	79,0	93,0	79,0	82,0
68,0	81,0	83,0	68,0	87,0	92,0	90,0	94,0	72,0	84,0
108,0	115,0	78,0	74,0	77,0	89,0	69,0	73,0	81,0	83,0

Вычислим среднее значение признака и его ошибку:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 83,4 \text{ см.}$$

Затем вычисляем среднее квадратическое (стандартное) отклонение:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 2,245 \qquad \bar{x} = 83,4 \pm 2,25.$$

**Ошибка медианы:**  $s_{Me} = s_{\bar{x}} \sqrt{\pi/2} = 1,2533 s_{\bar{x}} / \sqrt{n}$ .

**Ошибка дисперсии:**  $s_s^2 = s_x^2 / \sqrt{2n}$ .

**Ошибка среднего квадратического отклонения:**

$$s_s = \frac{s_x^2}{\sqrt{2n}}.$$

**Ошибка репрезентативности коэффициента вариации:**

$$m_V = \frac{V}{\sqrt{2n}}.$$

**Ошибка выборочной доли.** Эта мера отклонения доли признака выборочной совокупности  $p$  от доли его во всей генеральной совокупности  $p$  вследствие неполной репрезентативности (представительности) выборки. Этот показатель обозначается через  $s_p$  и вычисляется по формуле:

$$s_p = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = \sqrt{\frac{pq}{n}}.$$

Для альтернативного варьирования, когда значение  $s = \sqrt{pq}$ , формула ошибки выборочной доли примет вид:

$$s_p = \sqrt{\frac{pq}{N}}, \text{ или с поправкой Пирсона: } s_p = \sqrt{\frac{pq}{n} \left(1 - \frac{n}{N}\right)}.$$

Здесь  $p$  и  $q$  могут быть выражены в долях единицы или в процентах:

$$s_p = \sqrt{\frac{p(100-p)}{n}}.$$

Вероятность встречаемости признака  $p$  (или  $q$ ) в интервале  $p \pm s_p$  составляет приблизительно 68 %, в интервале  $p \pm 2s_p$  – 95 % и в интервале  $p \pm 3s_p$  – 99 %, т. е., как и при количественной изменчивости, все значения  $p$  с вероятностью 99 % укладываются в пределах тройной ошибки выборочной доли.

**Ошибка абсолютной частоты:**

$$s_m = \sqrt{\frac{m(n-m)}{n}} = \sqrt{np(1-p)}.$$

### 5.3.2. Проверка принадлежности варианты к данной совокупности

*В основе сельскохозяйственной практики лежат информация, традиция и интуиция. Цель агробиологических исследований – увеличить вес первой из названных компонент и в разумном сочетании со второй и третьей добиться повышения эффективности сельскохозяйственного производства.*

**Дж. Франс, Дж. Х. М. Горнли**

*Применение статистических методов должно быть продуманным, нешаблонным, а не самоцелью. «Бездумное» отношение к их применению всегда может привести к существенным погрешностям в выводах.*

**П. Грейг-Смит**

Иногда в выборке наблюдаются варианты, сильно отличающиеся от основной массы вариантов. Если объем выборки достаточно большой ( $n > 100$ ), исключение из ее состава отдельных сильно отличающихся вариант не влияет сколько-нибудь серьезно на величину выборочных параметров. Но в меньших по объему выборках (особенно при  $n < 20$ ) совершенно необходимо установить принадлежность сомнительной варианты к изучаемой генеральной совокупности.

Прежде всего, проверяют, не являются ли они результатом ошибки наблюдения, измерения или записи. Если такой ошибки нет, то необходимо

установить, лежит ли «отскакивающая» варианта в пределах вероятного отклонения от средней арифметической или же она выходит за эти пределы, принадлежит к другой генеральной совокупности. В первом случае сильно отличающуюся варианту оставляют в выборке, во втором – исключают, как не принадлежащую к изучаемой генеральной совокупности. Для решения этого вопроса используют критерий  $\tau$ . Этот критерий представляет собой нормированное отклонение предположительно не входящей в изучаемую совокупность варианты ( $\tau_a$ ) от среднего значения (медианы):

$$\tau_a = \frac{x_a - \bar{x}}{\sigma},$$

где  $\bar{x}$  и  $\sigma$  – среднее арифметическое и среднее квадратичное отклонение, рассчитанное для всей выборки, включая отклоняющуюся варианту.

Правило оценки состоит в том, что при  $\tau_a < \tau_{st}$  (стандартные значения этого критерия  $\tau_{st}$  вычислены и обычно приведены в приложениях учебников по статистике, биометрии и т. п.) «отскакивающее» значение варианты считается допустимым и включается в выборку, а при  $\tau_a > \tau_{st}$  оно признается «артефактом» (т. е. искусственно созданным) и из выборки исключается. При использовании  $\tau$ -критерия, необходимо помнить, что он пригоден лишь для нормального распределения.

*Пример.* На 5 делянках произрастало соответственно 41, 44, 22, 42, 43 растения. Не является ли варианта 22 «артефактом»<sup>10</sup>? Объем выборки  $n=5$ , а подсчеты показывают, что здесь  $\bar{x} = 38,4$  и  $\sigma = 9,23$ . Расчет критерия дает:

$$\tau_a = \frac{22 - 38,4}{9,23} = -1,78.$$

Стандартное значение критерия (табл. 24) при 5%-ном уровне значимости<sup>11</sup> составляет  $\tau_{st}=1,92$ , а при 1%-ном уровне  $\tau_{st}=1,97$ . Таким образом, при любом из уровней существенности  $\tau_a < \tau_{st}$  и варианта 22 должна быть оставлена в выборке: ее отклонение лежит в пределах вероятного.

Существует и другой способ проверки принадлежности «сомнительной» варианты к совокупности (Доспехов Б.А., 1973).

Чтобы рассчитать фактическое значение критерия  $\tau$ , варианты располагают в порядке возрастания:  $X_1, X_2, \dots, X_{n-1}, X_n$ .

Сомнительными обычно бывают одни или оба крайних члена ряда, т. е.  $X_1$  и  $X_n$ , а не вызывающие сомнения ближайшие к ним варианты  $X_2$  и  $X_{n-1}$ , с которыми и сравниваются  $X_1$  и  $X_n$ .

Критерий  $\tau$  вычисляют по отношениям:

$$\text{для } X_1 \quad \tau = \frac{X_2 - X_1}{X_{n-1} - X_1}, \quad \text{и для } X_n \quad \tau = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_2}.$$

<sup>10</sup> \* *Артефакт* [лат. *arie* искусственно + *factus* сделанный] – биол. образования или процессы, возникающие иногда при исследовании биологического объекта вследствие воздействия на него самих условий исследования.

<sup>11</sup> *Уровень значимости* – вероятность опровержения правильной гипотезы, т. е. вероятность совершить ошибку. Чем меньше уровень значимости, тем меньше эта вероятность.

Таблица 24 – Критерий  $\tau_{st}$  для исключения крайних вариант

$n$	$\tau_{st}$		$n$	$\tau_{st}$		$n$	$\tau_{st}$	
	0,05	0,01		0,05	0,01		0,05	0,01
5	1,92	1,97	21	2,80	3,11	80	3,33	3,70
6	2,70	2,16	22	2,82	3,13	90	3,37	3,74
7	2,18	2,31	23	2,84	3,16	100	3,40	3,77
8	2,27	2,43	24	2,86	3,18	120	3,46	3,83
9	2,35	2,53	25	2,88	3,20	150	3,53	3,90
10	2,41	2,62	26	2,90	3,22	200	3,61	3,98
11	2,47	2,69	27	2,91	3,24	300	3,73	4,09
12	2,52	2,75	28	2,93	3,26	400	3,80	4,17
13	2,56	2,81	29	2,94	3,28	500	3,87	4,24
14	2,60	2,86	30	2,96	3,29	600	3,92	4,28
15	2,64	2,90	35	3,02	3,36	700	3,96	4,32
16	2,67	2,94	40	3,08	3,42	800	3,99	4,35
17	2,70	2,98	45	3,12	3,48	900	4,02	4,38
18	2,73	3,02	50	3,16	3,52	1000	4,05	4,41
19	2,75	3,05	60	3,22	3,58	1500	4,14	4,50
20	2,78	3,08	70	3,28	3,64	2000	4,21	4,56

В этих формулах разности  $X_{n-1} - X_1$  и  $X_n - X_2$  характеризуют размах варьирования вариационного ряда без крайних значений, которые сомнительны, и, следовательно, нецелесообразно связывать с ними оценку значимости отклонения  $X_1$  с сомнительной датой  $X_n$ , а  $X_n$  – с сомнительной величиной  $X_1$ .

*Пример.* На 6 делянках произрастало соответственно 40, 44, 22, 42, 43 и 47 растений. Не являются ли варианты 22 и 47 «артефактом»? Располагаем варианты в порядке возрастания: 22, 40, 42, 42, 47. Вызывают сомнения  $X_1 = 22$  и  $X_n = 47$ . Надо проверить гипотезу о принадлежности этих вариантов к совокупности.

Рассчитаем фактические значения критерия  $\tau$  и сравним их с теоретическими:

$$\text{для } X_1 \quad \tau = \frac{X_2 - X_1}{X_{n-1} - X_1} = \frac{40 - 22}{44 - 22} = 0,818$$

$$\text{и для } X_n \quad \tau = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_2} = \frac{47 - 44}{47 - 40} = 0,429$$

Значение  $\tau$  для  $X_1$  больше, чем  $\tau_{05} = 0,689$  и  $\tau_{01} = 0,805$  (табл. 25). Следовательно, как при 5%-ном, так и при 1%-ном уровне значимости можно считать значение вариансы  $X_1 = 22$  выходящим за пределы случайных колебаний, и есть основания исключить эту дату из дальнейшей оценки. В отношении  $X_n = 47$  оснований для браковки нет (нулевая гипотеза о принадлежности этой вариансы к данной совокупности не отвергается ни при 5%-ном, ни при 1%-ном уровне значимости:  $\tau < \tau_{05}$  и  $\tau < \tau_{01}$ ).

Таблица 25 – Критические значения критерия  $t$  для 5%-ного и 1%-ного уровня значимости \*

$n$	$t$		$n$	$t$	
	0,01	0,05		0,01	0,05
4	0,991	0,955	18	0,449	0,349
5	0,916	0,807	19	0,439	0,341
6	0,805	0,689	20	0,430	0,334
7	0,740	0,610	21	0,421	0,327
8	0,683	0,554	22	0,414	0,320
9	0,635	0,512	23	0,407	0,314
10	0,597	0,477	24	0,400	0,309
11	0,566	0,450	25	0,394	0,304
12	0,541	0,428	26	0,389	0,299
13	0,520	0,410	27	0,383	0,295
14	0,502	0,395	28	0,378	0,291
15	0,486	0,381	29	0,374	0,287
16	0,472	0,369	30	0,369	0,283
17	0,460	0,359			

\*Если вычисленные значения  $t$  превышают табличные, то варианта отбрасывается

Для больших выборок проверку нулевой гипотезы о принадлежности сомнительных дат к изучаемому ряду часто проводят вычислением доверительного интервала (способы вычисления см. далее) для всей совокупности и определением вероятности нахождения сомнительной вариансы (даты)  $X$  в пределах  $\bar{x} \pm 2s$  (вероятность 95%) или  $\bar{x} \pm 3s$  (уровень вероятности 99%). Если  $X$  выходит за пределы  $\bar{x} \pm 2s$ , то нулевая гипотеза отвергается на 5%-ном уровне, а если  $X$  выходит  $\bar{x} \pm 3s$  – на 1%-ном уровне значимости и дата бракуется.

*Пример.* На 6 делянках произрастало соответственно 40, 44, 22, 42, 43 и 47 растений. Не являются ли вариансы 22 и 47 «артефактом»? Используем функции «СРЗНАЧ(число\_1;число\_2;...)» и «СТАНДОТКЛОН(число\_1;число\_2;...)» («=СТАНДОТКЛОН (40; 44; 22; 42; 43; 47)») или формулы для расчета вычисляем среднее значение по выборке  $\bar{x}=39,67$  и стандартное отклонение  $s$  (или  $\sigma$ )=8,96.  $2s=17,92$ ,  $3s=26,88$ . Доверительный интервал на 5 % уровне  $21,75 \div 57,59$  и 1 % –  $12,79 \div 66,55$ . Вариансы, находящиеся вне этого интервала, не принадлежат к исследуемой совокупности, т. е. их можно исключить из вариационного ряда. При таком способе оценки варианса 22 принадлежит к исследуемой совокупности.

Для малых выборок ( $n < 30$ ) проверка осуществляется по соотношению  $\bar{x} \pm ts$ . Значение критерия  $t$  (критерий Стьюдента) берут из таблицы или используя функцию «=СТЮДРАСПОБР(вероятность;степени\_свободы)» для принятого уровня значимости и числа степеней свободы  $n-1$  в данном случае «=СТЮДРАСПОБР(0,05;5)», а стандартное отклонение вычисляют по всем фактическим датам.

*Пример.* На 6 делянках произрастало соответственно 40, 44, 22, 42, 43 и 47 растений. Не является ли вариансы 22 и 47 «артефактом»?  $\bar{x}$

$=39,67$ , стандартное отклонение  $s$  (или  $\sigma$ )= $8,96$ ,  $t_{05}=2,57$  и  $t_{01}=4,03$ .  $\bar{x} \pm ts = 39,67 \pm 8,96 \cdot 2,57 = 39,67 \pm 23,03$  и  $\bar{x} \pm ts = 39,67 \pm 36,11$  соответственно для 5 и 1 % уровня значимости.

При ориентировочных расчетах значение  $s$  можно определить по формуле  $s = k \cdot (X_{\max} - X_{\min})$ . Коэффициенты  $k$  даны ниже.

$n$	2–3	4–5	6–10	11–25	25–100
$k$	0,75	0,50	0,33	0,25	0,20

К исключению «сомнительных» вариантов (дат) прибегают лишь в исключительных случаях, В связи с этим необходимо тщательно планировать эксперимент (схема опыта, наблюдения, учеты, анализы). Проведение эксперимента на высоком уровне, тщательная организация труда и некоторое предвидение трудностей, которые могут возникнуть в опытной работе, позволяют избежать грубых ошибок, а следовательно, и браковки сомнительных дат.

### 5.3.3. Интервальные оценки

*Мы не обещаем, что это будут «наилучшие» орудия труда, в частности, потому, что мы не уверены в существовании каких-то единственных «наилучших» инструментов.*

**Дж. Тьюки**

*Математика – это все равно, что сильные жернова, которые могут все перемолоть, но если вы положите зерно, то получите муку, а если положите гравий – получите песок.*

**Н.Е. Жуковский**

Выборочный метод, которым чаще всего пользуется исследователь при сборе информации об исследуемых процессах и явлениях, не позволяет получить абсолютно точную характеристику всей генеральной совокупности данных. В связи с этим в статистике для всех вычисленных показателей (средние, коэффициенты вариации, коэффициенты корреляции, критерии различия и др.) принято рассчитывать количественные границы доверия, т. е. устанавливается интервал, в котором с той или иной вероятностью находится генеральный параметр. Вероятности, признанные достаточными для уверенного суждения о генеральных параметрах на основании известных выборочных показателей, называют *доверительными*. С доверительной вероятностью тесно связано понятие *доверительный интервал*, обозначающий возможные колебания значения показателя в меньшую и большую стороны в пределах доверительной вероятности.

Применение теории вероятности для решения практических задач основано на принципе, согласно которому маловероятные события считаются практически невозможными, а события, вероятность которых близка к единице, – почти достоверными. В зависимости от требований к соответствию выборочных оценок генеральным, в качестве доверительных обычно используют вероятности  $P_1=0,95$ ;  $P_2 = 0,99$  и  $P_3=0,999$ . Это означает, что при оценке генеральных параметров по известным выборочным показателям

существует риск ошибиться в первом случае один раз на 20 испытаний, во втором – один раз на 100 и в третьем – один раз на 1000 испытаний. Понятие о доверительных вероятностях предложено Р. Фишером.

В симметричных распределениях, близких к нормальному, доверительным вероятностям соответствуют определенные величины нормированных отклонений ( $t$ ): вероятности  $P_1=0,95$  соответствует  $t_1 = 1,96$ ;  $P_2=0,99 - t_2=2,58$ ;  $P_3=0,999 - t_3 = 3,29$ .

Порог доверительной вероятности выбирают исходя из практических соображений той ответственности, с какой делаются выводы о генеральных параметрах.

С доверительной вероятностью тесно связан *уровень значимости*  $\alpha$ , под которым понимают разность  $\alpha = 1-P$ . Уровень значимости показывает, какая часть вариантов находится за пределами доверительной вероятности. Так, для  $t=1,96$  отклонения от центра нормального распределения включают 95% всех членов генеральной совокупности, за пределами этих границ по обе стороны находятся по 2,5% вариант, составляя тем самым 5%-ный уровень значимости.

Чтобы наглядно представить, что на практике означает доверительный интервал и уровень значимости, рассмотрим рисунок 56. Как уже отмечалось, при нормальном распределении признака все варианты генеральной совокупности располагаются на площади, ограниченной кривой нормального распределения. Условно это ее величина принимается равной 1 или 100 %.

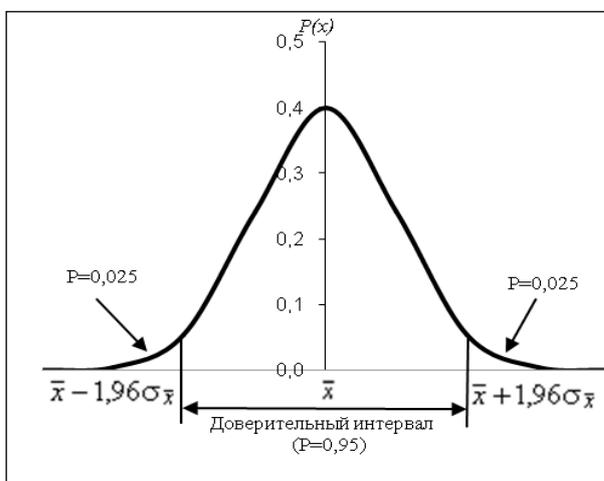


Рис. 56. Границы доверительного интервала

Площадь под кривой нормального распределения от  $\bar{x} - 1,96\sigma_{\bar{x}}$  до  $\bar{x} + 1,96\sigma_{\bar{x}}$  составляет 95 % от общей, а под кривой от  $-\infty$  до  $\bar{x} - 1,96\sigma_{\bar{x}}$  и от  $\bar{x} + 1,96\sigma_{\bar{x}}$  до  $+\infty$  – по 0,025 % указанной площади, что вместе составляет 5 %-ный уровень значимости.

*Доверительный интервал для генеральной средней.* При достаточно большом объеме выборки распределение статистических параметров имеет нормальную форму. Поэтому вероятность того, что среднее значе-

ние признака в выборке  $\bar{x}$ , отклонится случайным образом от центра  $\mu$  на какую-то долю квадратической ошибки  $\sigma_{\bar{x}}$ , может быть оценена через нормированное значение по таблицам нормального распределения, т. е.

$$-t \leq \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} \leq t.$$

Отсюда можно утверждать, что генеральная средняя  $\mu$ , находится с этой вероятностью в интервале:

$$\bar{x} - t\sigma_{\bar{x}} \leq \mu \leq \bar{x} + t\sigma_{\bar{x}}$$

или

$$\bar{x} - \frac{t\sigma_{\bar{x}}}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{t\sigma_{\bar{x}}}{\sqrt{n}}.$$

Величины  $\bar{x}$  и  $\sigma_{\bar{x}}$  рассчитывают по выборке, а  $t$  (нормированное отклонение) зависит только от одного из трех значений доверительной вероятности 0,95; 0,99; 0,999, принимая значения 1,96; 2,58; 3,29.

*Пример.* В результате измерения высоты 30 растений риса получены следующие данные:

100,0	115,0	68,0	103,0	69,0	72,0
68,0	69,0	74,0	92,0	93,0	81,0
108,0	83,0	84,0	89,0	94,0	82,0
63,0	78,0	87,0	79,0	73,0	84,0
81,0	84,0	77,0	90,0	79,0	83,0

Построим 95%-ный доверительный интервал для генеральной средней этого распределения. Вначале вычислим выборочную среднюю арифметическую и дисперсию:  $\bar{x} = 83,4$  см,  $\sigma_{\bar{x}} = 12,30$  см.

$$\bar{x} - \frac{t\sigma_{\bar{x}}}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{t\sigma_{\bar{x}}}{\sqrt{n}} = 83,4 - \frac{1,96 \cdot 12,30}{\sqrt{30}} \leq \mu \leq 83,4 + \frac{1,96 \cdot 12,3}{\sqrt{30}} = 79,0 \leq \mu \leq 87,8$$

Таким образом, с вероятностью  $P=0,95$ , или 95%, можно утверждать, что генеральная средняя данного нормального распределения находится между 79,0 и 87,8 см.

В программе Microsoft Excel доверительный интервал для среднего генеральной совокупности находим с помощью функции «ДОВЕРИТ». Аргументами этой функции являются уровень значимости, стандартное отклонение и размер выборки. Среднее значение и стандартное отклонение находят посредством функций соответственно «СРЗНАЧ» и «СТАНДОТКЛОН» или же используя пакет «Анализ данных». Для установления нижней и верхней границ доверительного интервала результат функции необходимо соответственно вычесть и прибавить к среднему значению выборки.

*Доверительный интервал для генеральной дисперсии и стандартного отклонения.* Доверительный интервал для дисперсии нормально распределяющейся генеральной совокупности можно представить в таком

виде:  $P_n \leq \sigma_x^2 \leq P_v$ , где  $P_n = s_x^2 - t s_x^2 \cdot \sqrt{2/n}$  – нижняя, а  $P_v = s_x^2 + t s_x^2 \cdot \sqrt{2/n}$  – верхняя границы доверительного интервала.

*Пример.* Определить границы 95%-ного доверительного интервала для генеральной дисперсии распределения высоты растений у риса. Для этого распределения  $n=100$  и  $s_x^2=151,21$ . Ошибка выборочной дисперсии:

$$s_{s^2} = s_x^2 \cdot \sqrt{\frac{2}{n}} = 151,21 \cdot \sqrt{\frac{2}{30}} = 39,04.$$

Тогда,  $P_n = 151,21 - 1,96 \cdot 39,04 = 151,21 - 76,52 = 74,69$  и  $P_v = 151,21 + 1,96 \cdot 39,04 = 151,21 + 76,52 = 227,73$ .

Границы доверительного интервала для стандартного отклонения оказываются следующие:  $P_n = \sqrt{74,69} = 8,64$  и  $P_v = \sqrt{227,73} = 15,09$ .

*Доверительный интервал для коэффициента вариации.* Границы доверительного интервала для генерального коэффициента вариации  $C_v$  определяют по следующим формулам:

$$P_n = \frac{C_v}{1 + K\sqrt{1 + 2C_v^2}}; P_v = \frac{C_v}{1 - K\sqrt{1 + 2C_v^2}},$$

где:  $K = \frac{t}{\sqrt{2(n-1)}}; C_v = \frac{s_x}{\bar{x}}$ .

*Пример.* В приведенной выше выборке коэффициент вариации высоты растений риса равняется 14,75 % ( $C_v=0,148$ ). Вычислим, в каких границах изменяется коэффициент вариации в генеральной совокупности на 0,05 % уровне значимости, т. е. определим границы 95%-ного доверительного интервала для генерального параметра  $C_v$ .

$$K = \frac{t}{\sqrt{2(n-1)}} = \frac{1,96}{\sqrt{2(30-1)}} = 0,257$$

$$P_n = \frac{C_v}{1 + K\sqrt{1 + 2C_v^2}} = \frac{0,148}{1 + 0,257\sqrt{1 + 2(0,148)^2}} = 0,117 \text{ или } 11,7 \%$$

$$P_v = \frac{C_v}{1 - K\sqrt{1 + 2C_v^2}} = \frac{0,148}{1 - 0,257\sqrt{1 + 2(0,148)^2}} = 0,201 \text{ или } 20,1 \%$$

Это означает, что при повторных выборках в данных условиях (в нашем примере это выборка с из посева) коэффициент вариации не превысит 20,1 % и не будет ниже 11,7 %

*Доверительный интервал для доли.* Доля – это средняя, которая характеризует количество единиц в выборке, имеющих учитываемый признак. Общее число таких единиц в генеральной совокупности составляет *генеральную долю* ( $\bar{p} = t/N$ ). Границы доверительного интервала для генеральной доли –  $P_n \leq \bar{p} \leq P_v$  – определяют так же, как и для генеральной средней количественного признака (т. е. при количественной изменчивости):

$$P = \frac{1}{n+t^2} \left[ \left( m + \frac{t^2}{2} \right) \pm t \sqrt{\frac{m(n-m)}{n} + \frac{t^2}{4}} \right],$$

где:  $n$  – число наблюдений;  
 $m$  – абсолютная численность одной из групп;  
 $t$  – нормированное отклонение, определяемое по значению вероятности ( $P$ ).

Если выборочные доли  $p$  и  $q$  равны между собой или незначительно отклоняются от 50%-ной численности групп, то доверительный интервал рассчитывают по формуле:

$$P = \bar{p} \pm ts_m.$$

*Пример.* Из посева риса на инфекционном фоне случайным образом было отобрано 500 растений, 120 растений не имели признаков заболевания. Определить 95 % доверительный интервал вероятности отбора устойчивых растений.

Выборочная доля устойчивых  $\bar{p} = 120/500 = 0,24$ . Для  $P=0,95$   $t=1,96 \approx 2$ . Вычисляем:

$$P = \frac{1}{n+t^2} \left[ \left( m + \frac{t^2}{2} \right) \pm t \sqrt{\frac{m(n-m)}{n} + \frac{t^2}{4}} \right] = \frac{1}{500+2^2} \left[ \left( 120 + \frac{2^2}{2} \right) \pm 2 \sqrt{\frac{120(500-120)}{500} + \frac{2^2}{4}} \right] =$$

$$= \frac{1}{500+4} \left[ \left( 120 + \frac{4}{2} \right) \pm 2 \sqrt{92,2} \right] = 0,002(122 \pm 19,2) = 0,244 \pm 0,038$$

Таким образом, границы доверительного интервала доли следующие:  $P_n = 0,244 - 0,038 = 0,206$ , или 20,6 %;  $P_v = 0,244 + 0,038 = 0,282$ , или 28,2%, т. е. вероятностью  $P = 95\%$  можно утверждать, что в изучаемой популяции 20,6–28,2 % растений обладают устойчивостью к патогену.

#### 5.4. Типы распределения

*О значении математики в методике сельскохозяйственного опытного дела двух мнений быть не может. Она нужна и полезна. Однако... везде должна быть мера применения математики. Опытник должен уметь бороться за разумное применение математики в опытном деле, бороться с фетишизацией математики, огульным, шаблонным, некритическим ее применением. Сначала тщательная агрономическая оценка опытных данных, а затем уже возможное применение сравнительной математической оценки.*

**П.Н. Константинов**

*Математический аппарат сам по себе сугубо формален, и успех его применения полностью зависит от биологической доброкачественности исходных данных.*

**В.М. Шмидт**

Несмотря на большое разнообразие вариант, появление определенных значений признака подчинено определенной закономерности, обусловленной внутренней природой явления. Частота появления опреде-

ленных значений признака в совокупности называется *распределением*, которое описывается определенной математической функцией.

Различают эмпирическое и теоретическое распределение частот совокупности результатов наблюдений.

*Эмпирическое распределение* – распределение результатов измерений, полученных при изучении выборки.

При оценке экспериментальных данных, практически не встречаются два совершенно одинаковых распределения. Вместе с тем, доказано, что в природе существует весьма ограниченное количество типов изменчивости признаков живых организмов, которые могут служить статистическими моделями этого явления в подавляющем большинстве случаев (Шмидт В.М., 1984). В основе его лежат определенные математические закономерности, которые в генеральной совокупности характеризуются некоторыми теоретическими распределениями. На основе теоретических распределений построены статистические критерии, которые используются для проверки некоторых гипотез. Именно с ними сравнивают эмпирические распределения признаков в выборках.

*Теоретическое распределение* предполагает распределение измерений на основе теории вероятностей. К числу основных типов теоретических распределений принадлежат: биномиальное распределение Бернулли, нормальное распределение Гаусса-Лапласа, распределение Пуассона, *t*-распределение Стьюдента, *F*-распределение Фишера,  $\chi^2$ -распределение Пирсона.

Определение типа распределения вариант производится путем вычисления теоретических частот распределения и сравнения их с наблюдаемыми в опыте (эмпирическими) частотами. Мера совпадения определяется различными критериями, например  $\chi^2$ . При совпадении опытных и теоретических частот на эмпирическую выборку распространяют закономерности, присущие данному теоретическому типу распределения.

Статистическая оценка результатов исследований (это могут быть измерения, учеты, наблюдения) основана на сравнении наблюдаемого распределения случайных событий или измерений с каким либо типом теоретического распределения. На этом же принципе основано моделирование биологических процессов. Каждая из моделей воспроизводит распределение случайных событий и величин в природе и в общем случае важны для оценки возможности отнесения конкретных наблюдений к некоторым однородным условиям. Если какой-либо реальный случайный процесс описывается конкретным распределением, то можно полагать, что реальные механизмы, заложенные в его основу, соответствуют тем, которые заложены в модели.

Различают распределения *дискретные*, когда изучаемые случайные события или отдельные значения признака однозначно различимы, и *непрерывные*, если распределение случайных событий или значений признаков могут иметь любые значения, представляемые через натуральные числа. В зависимости от количества свойств или показателей, которыми характеризуется изучаемый признак, выделяют *одномерные* и *многомерные* распределения. Например, одномерные распределения наблюдаются при оценке влияния удобрений на урожайность зерна риса, т. к. оценивается лишь массой зерна с единицы площади. В то же время при оценке влияния удоб-

рений на качество зерна риса необходимо учитывать многомерные распределения, в том случае, если необходимо получить комплексную оценку качества, т. к. оно характеризуется содержанием белка, крахмала и зольных элементов, а также пленчатостью, трещиноватостью, выходом крупы и т. д.

Распределения описываются параметрами, по которым можно воспроизвести все их свойства. Выделяют следующие типы параметров (Пузаченко Ю.Г., 2004):

– характер положения – *математическое ожидание* или *центр распределения* (в реальной выборке это *среднее значение* признака, а при качественной изменчивости – количество вариант с признаком), медиана, мода;

– характер рассеивания – дисперсия, среднее квадратическое распределение, коэффициент вариации;

– моменты распределения – центральные моменты порядка  $r$ , математическое ожидание, дисперсия, коэффициент асимметрии, коэффициент эксцесса;

– квантили.

Особым параметром дискретных распределений является *разнообразие*, или *энтропия*. Разнообразие оценивается параметром  $H$ :

$$H = -\sum_{i=1}^k p_i \log p_i$$

Иногда параметр  $H$  называют *неопределенностью*, имея в виду, что он показывает неопределенность исхода при случайном выборе. Уменьшить неопределенность исхода можно путем проведения испытаний. Разнообразие системы может быть одной из мер ее потенциальной ценности.

В дискретных распределениях максимальное разнообразие наблюдается при условии, когда все классы или типы объектов равновероятны:

$$H_{\max} = \log k$$

Выравненность оценивается отношением наблюдаемого разнообразия к максимально возможному:  $E = H/H_{\max}$ . Она тем меньше, чем более выражено доминирование какого-либо одного класса. Для биномиального распределения выравненность максимальна при  $p = 0,5$ .

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся в биологических системах типы распределения.

**Биномиальное распределение Бернулли.** Возникает при альтернативной изменчивости признака. Распределение называется *биномиальным*, если вероятность появления отдельных значений выражается величинами, соответствующими коэффициентам разложения бинома Ньютона:  $P_n(0)$ ,  $P_n(1)$ , ...,  $P_n(m)$ . Такое название объясняется, во-первых, тем, что признак может иметь всегда только два варианта: он есть или его нет; во-вторых, закономерности таких распределений имеют количественное выражение, связанное с коэффициентами разложения *бинома Ньютона*.

Биномиальное распределение характеризуется двумя параметрами: *средним*, или *наивероятнейшим*, числом  $\mu$  *ожидаемого результата* и *дисперсией частоты*  $\sigma_m^2$  события  $A$  в  $n$  независимых испытаниях. Первый пара-

метр приближенно равен произведению числа испытаний  $n$  на вероятность  $p$ , которую событие  $A$  имеет в каждом классе испытаний, т. е.  $\mu=np$ . Вторым параметром равен произведению числа испытаний  $n$  на вероятность  $p$  ожидаемого события  $A$  и вероятность  $q$  противоположного события  $\bar{A}$ , т. е.  $\sigma_m^2=npq$ . Корень квадратный из дисперсии называется *стандартным отклонением*.

Если в каждом испытании, проведенном  $n$  раз, вероятность  $p$  появления события постоянна, то появление альтернативного события также имеет постоянную вероятность  $q$ , причем,  $p+q=1$ . При  $n$  независимых испытаниях событие появится  $m$  раз, а альтернативное ему –  $n-m$  раз. Вероятность появления события в  $n$  испытаниях  $m$  раз ( $P_n(m)$ ) выразится произведением:

$$P_n(m) = C_n^m p^m q^{n-m},$$

где:  $q=1-p$ ;  $C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$  – биномиальные коэффициенты.

Эта формула (*формула Бернулли*) позволяет находить вероятность того, что из  $n$  взятых наугад элементов окажется  $m$  ожидаемых (при условии, что вероятность ожидаемого события равна  $p$ ).

Закон биномиального распределения, наряду с *формулой Бернулли*, также выражается формулой *бинома Ньютона*:

$$(p+q)^n = p^0 q^n + \frac{n}{1!} p q^{n-1} + \frac{n(n-1)}{2!} p^2 q^{n-2} + \dots + p^n q^0$$

При равной вероятности двух исходов ( $p=q=0,5$ ) распределение подчиняется коэффициентам бинома:

$$(0,5+0,5)^n = 0,5^n + \frac{n}{1!} 0,5^n + \frac{n(n-1)}{2!} 0,5^n + \dots + 0,5^n$$

Выдвигать гипотезу о биномиальном распределении следует в том случае, если наблюдается альтернативный тип изменчивости, а выборка отвечает следующим условиям:

1. Исходные данные дискретного типа.
2. Объем исходной совокупности должен быть достаточно велик, чтобы не могла изменяться вероятность определения учитываемого признака. Если совокупность недостаточно велика, то отобранные единицы необходимо возвращать в нее.
3. Величина дисперсии выборки должна быть меньше ее средней арифметической.

Выборка при биномиальном распределении формируется следующим образом: берут  $N_n$  проб одинакового объема (одинаковой численности)  $n$  из общего числа наблюдений ( $N$ ) при альтернативном типе изменчивости; в каждой пробе подсчитывают число вариантов, обладающих учитываемым признаком. Для вычисления теоретических чисел при этом требуется произвести разложение бинома:

$$N_n(p+q)^n = N_n(p^0q^n + \frac{n}{1!}pq^{n-1} + \frac{n(n-1)}{2!}p^2q^{n-2} + \dots + p^nq^0),$$

где:  $p$  – доля вариант, обладающих данным признаком;  
 $q$  – доля вариант, им не обладающих.

Показатели биномиального распределения рассчитываются по следующим формулам:

1. Среднее квадратическое отклонение биномиального распределения в именованных числах рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \sqrt{npq},$$

где:  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение;  
 $n$  – объем пробы;  
 $p$  – доля наблюдаемого признака в совокупности;  
 $q$  – доля альтернативного признака (иначе доля единиц наблюдения без изучаемого признака).

2. Средняя арифметическая биномиального распределения равна:

$$M = np$$

где:  $M$  – среднее арифметическое (именованное);  
 $n$  – объем пробы;  
 $p$  – доля наблюдаемого признака в совокупности.

3. Показатели асимметрии ( $A_s$ ) и эксцесса ( $E$ ):

$$A_s = \frac{q-p}{\sqrt{Npq}}; \quad E = \frac{(pq)^{-1} - 6}{N},$$

где:  $N$  – общее число наблюдений равно  $N=N_n \cdot n$  ( $N_n$  – число проб,  $n$  – объем пробы)

4. Коэффициент вариации ( $V$ ):

$$V = \sqrt{\frac{q}{Np}},$$

все обозначения в приведенных формулах одинаковые.

*Пример.* Из гибридной популяции растений риса было отобрано 112 проб ( $N_n=112$ ) по 9 растений ( $n=9$ ). При этом общее число наблюдений составило  $N=N_n \cdot n=112 \cdot 9=1008$ . В каждой пробе подсчитывали растения с признаками заболевания пирикулярриозом, число которых обозначим  $x$ . Число пораженных растений в пробе может изменяться от 0, т. е. все растения были здоровыми, до 9. Количество проб с одинаковым числом пораженных растений, т. е. частоту встречаемости, обозначаем  $f$ . Эмпирические данные впишем в таблицу 2б, которую в дальнейшем будем использовать для вспомогательных расчетов. Соответствие эмпирического распределения биномиальному определяют следующим способом. Вначале необходимо установить вероятность появления пораженных ( $p$ ) и устойчивых ( $q$ ) растений. Для этого, во-первых, надо знать, сколько пораженных растений ( $xf$ ) отмечено во всех наблюдениях ( $N$ ). Находим величину  $xf$  в каждом наблюдении (записи-

ваем в столбец 3) и их сумму. Получаем, что из 1008 ( $N=1008$ ) растений 639 были с признаками поражения пирикулярриозом. Отсюда следует, что доля пораженных растений составляет  $p=639:1008=0,634$ , а доля непораженных растений составляет  $q=1-p=1-0,634=0,336$ .

Таблица 26 – Вычисление теоретических частот биномиального распределения

Число пораженных растений, $x$	Число проб, $f$	$xf$	$k$	$p^x$	$q^x$	$p^x q^x$	$p^x q^x k$	$f$ (теоретическое распределение)	
								$p^x q^x k N_n$	округление
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	4	36	1	$p^9 =$ 0,01655	$q^0 =$ 1,00000	0,01655	0,01655	1,85362	2
8	20	160	9	0,02610	0,36600	0,00955	0,08599	9,63065	10
7	18	126	36	0,04117	0,13396	0,00552	0,19856	22,23860	22
6	14	84	84	0,06494	0,04903	0,00318	0,26746	29,95547	30
5	27	135	126	0,10243	0,01794	0,00184	0,23160	25,93936	26
4	18	72	126	0,16157	0,00657	0,00106	0,13370	14,97446	15
3	4	12	84	0,25484	0,00240	0,00061	0,05146	5,76304	6
2	7	14	36	0,40196	0,00088	0,00035	0,01273	1,42583	1
1	0	0	9	0,63400	0,00032	0,00020	0,00184	0,20578	0
0	0	0	1	$p^0 =$ 1,00000	$q^9 =$ 0,00012	0,00012	0,00012	0,01320	0
$\Sigma$	112	639	512						112

Теперь необходимо вычислить теоретические частоты  $f$ , для чего используем разложение бинома  $N_n(p+q)^n = 112(0,634+0,366)^9$ . В столбец 4 впишем соответствующие биномиальные коэффициенты ( $k$ ), воспользовавшись «арифметическим треугольником Паскаля» (прил. 2). Возводим  $p$  (0,634) и  $q$  (0,366) в степень  $x$ , причем степень берется в противоположном порядке. Последовательно, производя соответствующие вычисления, заполняем столбцы 7–9. Округлив произведение  $p^x q^x k N_n$  (столбец 9), получим теоретические частоты встречаемости пораженных растений.

Построим графики распределения поражаемости растений пирикулярриозом в гибридной популяции (рис. 57). Как видно, графики эмпирического и теоретического распределения полностью не совпадают. Чтобы решить вопрос о соответствии распределения опытных данных биномиальному распределению, необходимо, используя критерии для сравнения, например  $\chi^2$  или  $\lambda$  («критерий лямбда», разработан А.Н. Колмогоровым и Н.В. Смирновым, поэтому имеет и другое название – *критерий Колмогорова*), оценить степень соответствия друг другу.

В программе Microsoft Excel эмпирические частоты биномиального распределения вычисляются следующим образом. В один столбец (например, А) электронной таблицы вводим значения изучаемого признака  $x$ , а в другой столбец (В) наблюдаемые частоты ( $f$ ). В ячейку В11 вводим функ-



Рис. 57. Эмпирические (—○—) и теоретические (—■—) частоты распределения поражаемости растений риса пирикулярриозом

цию СУММ и диапазон суммирования B1:B10 – «=СУММ(B1:B10)». Теперь надо вычислить вероятность появления признака в каждом испытании, для чего вычисляем  $\sum xf$ : в ячейку C1 вводим – «=A1\*B1», а затем копируем ее во все необходимые ячейки. В ячейку C11 вычисляем  $\sum xf$  («=СУММ(C1:C10)»). Один из аргументов функции БИНОМРАСП – вероятность успеха испытаний. Для вычисления этого аргумента рассчитаем объем выборки  $N=N_n \cdot n=112 \cdot 9=1008$  и долю пораженных растений  $p=639:1008=0,634$ . Чтобы

рассчитать  $p^x q^{n-x}$ , в ячейки D1 введем функцию БИНОМРАСП с четырьмя аргументами – число успехов (значение  $x$ ), число испытаний (объем каждой пробы  $n$ ), вероятность успеха и логический аргумент ЛОЖЬ «=БИНОМРАСП(A1;9;0,634;ЛОЖЬ)» и копируем функцию во все необходимые ячейки (D2:D10). Чтобы вычислить теоретические частоты распределения  $p^x q^{n-x} k N_n$ , умножим каждое значение в ячейках D1:D10 на  $N_n=112$ . Для этого в ячейки E1:E10 электронной таблицы введем соответственно «=D1\*112», «=D2\*112», ..., «=D10\*112». Округлив значения в этих ячейках, получим ожидаемую частоту биномиального распределения. На экране монитора получим таблицу с расчетами (рис. 58).

	A	B	C	D	E	F	G
1	9	4	36	0,01655	1,85362	2	
2	8	20	160	0,08599	9,63065	10	
3	7	18	126	0,19856	22,23860	22	
4	6	14	84	0,26746	29,95547	30	
5	5	27	135	0,23160	25,93936	26	
6	4	18	72	0,13370	14,97446	15	
7	3	4	12	0,05146	5,76304	6	
8	2	7	14	0,01273	1,42583	1	
9	1	0	0	0,00184	0,20578	0	
10	0	0	0	0,00012	0,01320	0	
11		112	639			112	
12							

Рис. 58. Вид окна в программе Excel

Характер биномиальной кривой определяется числом испытаний  $n$  и вероятностью ожидаемого результата  $p$ . Если вероятность альтернативных событий равна ( $p=q$ ), биномиальная кривая симметрична и по мере

увеличения числа испытаний  $n$  приближается к своему пределу – *нормальной кривой*. В иных случаях биномиальная кривая асимметрична, и степень этой асимметрии определяется разницей между  $p$  и  $q$ , чем она больше, тем сильнее асимметрия.

**Область применения.** Используют для оценки однородности популяции, почвенных образцов, учетов, числа генов, по которым различаются родительские формы и др.

**Распределение Пуассона.** Если вероятность события исчисляется сотыми и тысячными долями единицы, распределение таких событий (*редких*) в  $n$  независимых испытаниях крайне асимметрично. Распределение Пуассона, или распределение *редких событий*, близко к биномиальному и образуется тогда, когда доля наблюдаемого признака  $p$  очень мала, а  $q$  близка к единице. Следовательно, распределение Пуассона характерно для редких событий, вероятность (доля) появления которых, очень незначительна (обычно  $p < 0,1$ ).

Так же как и при биномиальном распределении, эмпирические частоты распределения Пуассона являются числом одинаковых проб, имеющих ту или иную долю наблюдаемого признака. В отличие от биномиального распределения, распределение редких событий, следующих закону Пуассона, характеризуется одним параметром – *средней величиной* ( $m \approx \bar{m}$ , или  $\approx \bar{x}$ , или  $\approx M$ ), т. к. для этого распределения характерно равенство  $\sigma_m^2 \approx M$ . Кроме того, распределение Пуассона, как и другие асимметричные распределения, характеризуется очень высоким коэффициентом варьирования. Вычислить его можно по формуле  $V = \frac{100}{\sqrt{\sigma_m^2}} \%$  или

$V = \frac{100}{\sqrt{M}} \%$ . При распределении Пуассона среднее квадратическое отклонение и коэффициент варьирования теряют свой смысл, причем последний может принимать значения, превышающие 100 %.

Таким образом, в распределении Пуассона средняя арифметическая  $M$  (также может обозначаться  $\bar{x}$ ) примерно равна дисперсии:  $M \approx \sigma_x^2$ , что является основным его признаком. Следовательно, теоретические распределения можно построить на основании только одной выборочной средней.

Подчиняется ли эмпирический ряд закону Пуассона, можно установить лишь путем расчета теоретических частот и сравнения их с опытными данными. Такой расчет выполняется по формуле:

$$f' = \frac{M^x}{x!} N_n e^{-M},$$

где:  $f'$  – теоретические частоты распределения Пуассона (число проб, обладающих той или иной долей наблюдаемого признака);

$x$  – отдельные значения наблюдаемого признака;

$x!$  – произведение ряда натуральных чисел, например,  $3! = 1 \cdot 2 \cdot 3 = 6$ ;

$4! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 = 24$  и т. д. (в программе Excel для нахождения факториала воспользуйтесь функцией ФАКТР(число);

$M$  – средняя арифметическая ряда;

$N_n$  – общее число проб;

$e = 2,71828182$ , основание натуральных логарифмов.

Распределение Пуассона описывается *формулой Пуассона*, показывающей вероятность возникновения изучаемого события:

$$P_n(m) = \frac{a^m}{m!} e^{-a} = \frac{a^m}{m! e^a},$$

где:  $P_x$  – вероятность появления значения  $x$ ;  
 $x$  – варианты, отдельные значения наблюдаемого признака;  
 $x!$  – (икс-факториал) обозначает произведение ряда натуральных чисел, например,  $3! = 1 \cdot 2 \cdot 3 = 6$ ;  
 $a$  – средняя арифметическая данного ряда;  
 $n$  – объем выборки (если проводится анализ встречаемости признака в сериях, то вместо  $n$  берут, как и в случае биномиального ряда распределения, величину  $N_n$ , т.е. количество серий);  
 $e$  – основание натуральных логарифмов,  $\approx 2,71828182$  (функция  $e^{-a}$ ).

Практически все компьютерные программы вычисляют именно этот параметр. Чтобы перейти к частотам, необходимо умножить его на  $N_n$ .

Графически распределение Пуассона представляет асимметричную кривую, и асимметрия тем больше, чем меньше вероятность события.

Распределение Пуассона – одно из важнейших распределений вероятностей случайных величин, принимающих целочисленные значения. Своё название это распределение получило в 1837 г. по имени С.Д. Пуассона – французского ученого, описавшего характер распределения редких событий.

*Пример.* Необходимо установить, как распределяется засоренность посевов риса краснозерными формами. Для этого с рисовой оросительной системы было отобрано 200 проб ( $N_n=200$ ) по 150 растений ( $n=150$ ). В каждом образце произвели подсчет растений краснозерных форм риса. Их количество в пробе изменялось от 0 до 5 шт. Для установления типа распределения вычислим эмпирические и теоретические частоты. Данные заносим в таблицу 27.

Поскольку в пробах не встречалось более 5 краснозерных форм риса, расчеты проводят при  $n=5$  и  $N_n=200$ .

1. Находим среднюю арифметическую по формуле:

$$M = \frac{\sum xf}{N_n} = \frac{0 \cdot 90 + 1 \cdot 56 + 2 \cdot 37 + 3 \cdot 12 + 4 \cdot 4 + 5 \cdot 1}{200} = \frac{187}{200} = 0,935.$$

Таблица 27 – Вычисление частот распределения Пуассона

Число краснозерных форм в пробе, $x$	Частоты (число проб), $f$	$xf$	$Mx$	$x!$	$M^x/x!$	$(Mx/x!)N_n e^{-M}$	$f'$
1	2	3	4	5	6	7	8
0	90	0	1,0000	1	1,0000	78,5248	79
1	56	56	0,9350	1	0,9350	73,4207	73
2	37	74	0,8742	2	0,4371	34,3232	34
3	12	36	0,8174	6	0,1362	10,6951	11
4	4	16	0,7643	24	0,0318	2,4971	3
5	1	5	0,7146	120	0,0060	0,4711	0
Сумма	$Nn=200$	$\sum xf=187$				199,9320	200

2. Возводим среднюю ( $M$ ) в степень  $x$  (столбец 4):

$$M^x = 0,935^0=1,0000, 0,935^1=0,9350, 0,935^2=0,8742, \dots 0,935^5=0,7146.$$

3. В столбец 3 записываем факториалы  $x$  ( $x!$ , соответственно  $0!$ ,  $1!$ ,  $2!$ ,  $3!$ ,  $4!$ ,  $5!$ ).

4. Вычисляем выражение  $M^x/x!$  (столбец 6); для этого данные столбца 4 ( $M^x$ ) разделим на данные столбца 5 ( $x!$ ).

5. Вычислим выражение:  $N_n e^{-M}=200 \cdot 2,718^{-0,935} = 78,5248$ .

6. Вычислим выражение  $(M^x/x!)/N_n e^{-M}$ , умножив данные столбца 6 на  $78,5248$ . Результат записываем в столбец 7.

7. Округлим до целых данные столбца 7, т. к. в данном случае число проб, т. е. частота является целым числом. Это и будут теоретические частоты  $f'$  распространения краснозерных форм риса (столбец 8).

В программе Microsoft Excel эмпирические частоты распределения Пуассона вычисляются следующим образом. В один столбец (например, А) электронной таблицы вводим значения изучаемого признака  $x$ , а в другой столбец (В) наблюдаемые частоты ( $f$ ). В ячейку В7 вводим функцию СУММ и диапазон суммирования В1:В6 – «=СУММ(В1:В6)». Теперь надо вычислить вероятность появления признака в каждом испытании, для чего вычисляем  $\Sigma xf$ : в ячейку С1 вводим – «=А1\*В1», а затем копируем ее во все необходимые ячейки. В ячейку С7 вычисляем  $\Sigma xf$  («=СУММ(С1:С6)»). Аргументами функции ПУАССОН являются количество событий  $x$ , среднее значение вариационного ряда ( $M$ ) и интегральная (логический аргумент). Среднее значение найдем, разделив значение ячейка С7 на В7, записав в ячейку В8 «=С7/В7», в результате произведенных вычислений в В8 появится значение 0,865, т. е. среднее ( $M$ ). Чтобы рассчитать вероятность обнаружения в пробе  $x$  краснозерных форм, в ячейки D1 введем функцию ПУАССОН с тремя аргументами:  $x$  – количество событий, среднее и логический аргумент ЛОЖЬ «=ПУАССОН(А1;0,865;ЛОЖЬ)» и копируем функцию во все необходимые ячейки (D2:D6). Для перехода от вероятности событий к теоретическим частотам распределения умножим каждое значение в ячейках D1:D6 на  $N_n=200$ . Для этого в ячейки E1:E6 электронной таблицы введем соответственно «=D1\*200», «=D2\*200», ..., «=D6\*200». Округлив значения в этих ячейках, получим ожидаемую частоту распределения Пуассона (рис. 59).

	A	B	C	D	E	F	G
1	0	90	0	0,3926	78,5200	79	
2	1	56	56	0,3671	73,4200	73	
3	2	37	74	0,1716	34,3200	34	
4	3	12	36	0,0535	10,7000	11	
5	4	4	16	0,0125	2,5000	3	
6	5	1	5	0,0023	0,4600	0	
7		200	187				
8			0,935				
9							
10							
11							

Рис. 59. Вид окна в программе Excel



Рис. 60. Эмпирические (—○—) и теоретические (—■—) частоты распределения краснозерных форм риса.

Для решения вопроса о соответствии эмпирического распределения распространения краснозерных форм риса теоретическому (в данном случае распределению Пуассона) построим график (рис. 60) и воспользуемся критериями, например  $\chi^2$  или  $\lambda$  («критерий лямбда» – критерий Колмогорова).

**Нормальное распределение Гаусса-Лапласа.** Согласно теории вероятностей, в пределе все известные типы распределений стремятся к нормальному распределению. Так, при биномиальном распределении значение показателя бинома  $(p+q)^n$  является конечным,

но при приближении  $n$  к бесконечности распределение из дискретного становится непрерывным и переходит в нормальное распределение. Это распределение широко распространено в природе, является теоретической моделью в биометрии, на которой основано большинство статистических методов. В связи с этим полученное эмпирическое распределение в первую очередь сравнивают с нормальным.

**Нормальное распределение** – это совокупность измерений, в которых варианты группируются вокруг центра распределения и их частоты равномерно убывают вправо и влево от центра распределения. Графически нормальное распределение выражается куполообразной двускатной симметричной плавной кривой частот распределения с асимптотически приближающимися к оси абсцисс ветвями. В нормальном распределении мода и медиана равны математическому ожиданию (среднему значению выборки), эксцесс и асимметрия равны нулю. По этим параметрам идентифицируют нормальное распределение. При этом модия, мода и медиана совпадают ( $Mo=Me=M$ ), средняя арифметическая равняется трем стандартным отклонениям ( $M=3\sigma$ ,  $v=33\%$ ). На основе закона нормального распределения разработаны методы анализа данных, которые называют параметрическими.

Форма кривой нормального распределения и ее положение определяются двумя параметрами: средней величиной признака  $\bar{x}$  или математическим ожиданием ( $\mu$ ) и стандартным отклонением ( $\sigma$ ), характеризующим варьирование отдельных значений случайной величины вокруг центра распределения. Формально математическое ожидание соответствует средней величине эмпирического распределения, однако, по существу, эти показатели отождествлять нельзя. Среднюю величину определяют как сумму всех членов ряда, отнесенную к их общему числу, а математическое ожидание представляет собой сумму произведений значений членов ряда ( $x_i$ ) на их

вероятности ( $p_i$ ):  $\mu = x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n = \sum_{i=1}^n x_i p_i$ . Эмпирическая средняя

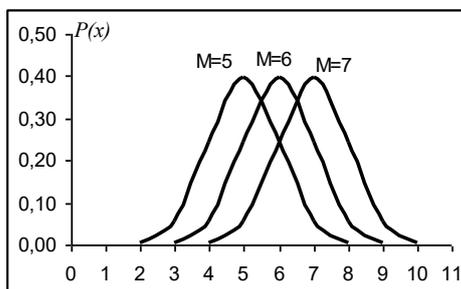
стремится к математическому ожиданию случайной величины по мере увеличения числа испытаний, при небольшом числе испытаний средняя может значительно отклоняться от своего математического ожидания. При изменении величины  $\mu$  форма нормальной кривой не изменяется, но график смещается вправо или влево (рис. 61а). Величина  $\sigma$  отражается на ширине кривой, чем она меньше, тем уже, в результате меньшего рассеяния вариант вокруг средней (рис. 61б). Во всех случаях нормальная кривая строго симметрична относительно центра распределения и сохраняет правильную колоколообразную форму. Графическое выражение нормального распределения называется *Гауссовой кривой*, или *кривой нормального распределения*. Моделью нормального распределения может быть функция  $Y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n$ , где  $x_i$  – независимые переменные, принимающие значения от 0 до  $n$  при примерно равных значениях коэффициентов  $a_i$ . Вероятность  $P$  любого значения  $x_i$  непрерывно распределяющейся случайной величины  $x$  находится в интервале от  $x$  до  $dx$  и выражается формулой:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-0,5\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx,$$

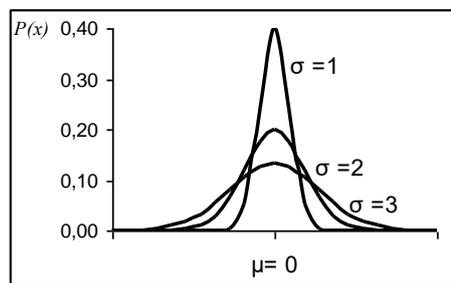
где:  $dx$  – малая величина, определяющая величину интервала;  
 $\mu$  – математическое ожидание (генеральная средняя, среднее значение выборки);  
 $\sigma$  – стандартное отклонение средней совокупности ( $n \rightarrow \infty$ );  
 $\pi$  – константа, равная 3,1416;  
 $e$  – основание натурального логарифма, равное 2,7183.

В приведенную выше формулу входит нормированное отклонение  $t = \frac{x - \mu}{\sigma}$ , что позволяет представить ее в виде:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-0,5t^2}$$



а



б

Рис. 61. Нормальные кривые при (а) различных средних значениях признака (математических ожиданиях для генеральной совокупности) и (б) стандартном отклонении ( $\sigma$ )

Теперь видно, что при нормальном распределении вероятность отклонения любой варианты  $x_i$  от центра распределения  $\mu$  (в центре распределения  $x_i - \mu = 0$ ) определяется функцией нормированного отклонения  $t$ . Иными словами закон нормального распределения выражает функциональную зависимость между вероятностью  $P(x)$  и нормированным отклонением  $t$ .

Нормальная кривая с параметрами  $\mu=0$  и  $\sigma=1$  называется *нормированной* или *стандартизированной кривой* и описывается уравнением:

$$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-0,5t^2}$$

Это распределение не зависит ни от среднего, ни от среднего квадратического и отражает свойства, присущие всем нормальным распределениям. Любое нормальное распределение можно привести к стандартному (вычитанием  $\mu$  из  $x_i$  и делением на  $\sigma$ ). Процедура стандартизации широко используется для достижения соизмеримости переменных с различными единицами измерений и варьированием.

Вершина стандартизированной кривой соответствует центру распределения (максимальная ордината  $y_{\max}$ ), где  $x_i - \mu = 0$ . Вправо и влево от этого центра случайная величина  $x$  может принимать любые значения, и величина каждого отклонения ( $x_i - \mu$ ) определяется функцией его нормированного отклонения  $f(t)$ . Вероятности  $P$  таких отклонений, соответствующие разным значениям  $t$ , рассчитаны и обычно приводятся в приложениях. При расчете в программе Microsoft Office Excel используют функцию «НОРМРАСП» с аргументами «=НОРМРАСП(z;0;1;ЛОЖЬ)»<sup>12</sup> или «=НОРМ.СТ.РАСП(z;ЛОЖЬ)», где  $z$  – нормализованное значение частот распределения.

Рассмотрим график вероятности плотности нормального нормированного (т. е.  $x_i - \mu = 0$ ,  $\sigma = 1$ ) распределения (рис. 62). Обращаем внимание читателя на то, что при нормировании распределения, среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ ) из уравнения, описывающего нормальную кривую, в результате введения нормированного отклонения ( $t$ ) исключается. В связи с этим отклонение от генеральной средней измеряется не единицами  $\sigma$ , а стандартным отклонением  $t$  (вместо  $\pm \sigma$ , подразумевают  $\pm t$ ). О данных, варьирование которых соответствует нормальному распределению, можно сказать следующее. Прежде всего, случайная величина, равная среднему значению, имеет вероятность  $0,3989 \approx 0,4$ , т. е. ожидается в 4 случаях из десяти.

Вероятность встретить варианту со значением на одну среднюю квадратическую больше ( $+\sigma$ ) или меньше ( $-\sigma$ ) среднего составляет  $0,2420$ ,  $\pm 2\sigma - 0,0540$ ,  $\pm 3\sigma - 0,0044$ . В этом случае рассматривается накопленная вероятность случайных величин от 0 до 1, изменяющихся в интервале от  $-\infty$  до  $+\infty$ . На практике случайные величины со значениями, отличающимися от среднего на несколько средних квадратических, являются практически невозможными событиями.

<sup>12</sup> Используйте функцию «НОРМСТРАСП» с осторожностью, т. к. в некоторых версиях программы могут быть неверные результаты.

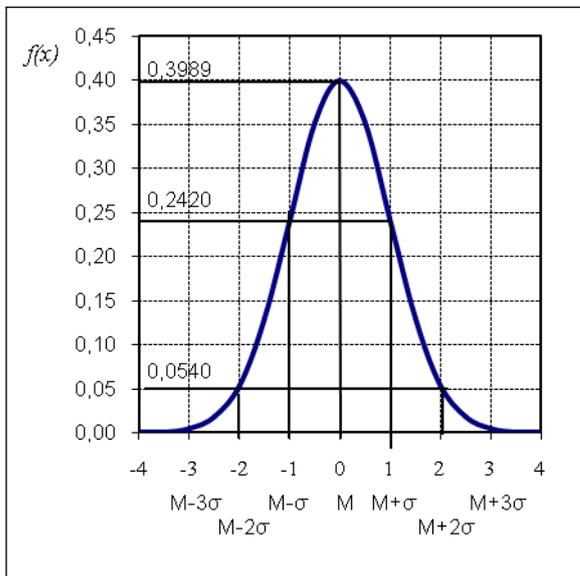


Рис. 62. График плотности нормального распределения

Чтобы наглядно представить, какое количество случайных величин от общего числа совокупности попадает в интервал  $\pm t$  (иначе  $\pm \sigma$ ),  $\pm 2t$  ( $\pm 2 \sigma$ ),  $\pm 3t$  ( $\pm 3 \sigma$ ), построим кумулятивную кривую плотности распределения (рис. 63).

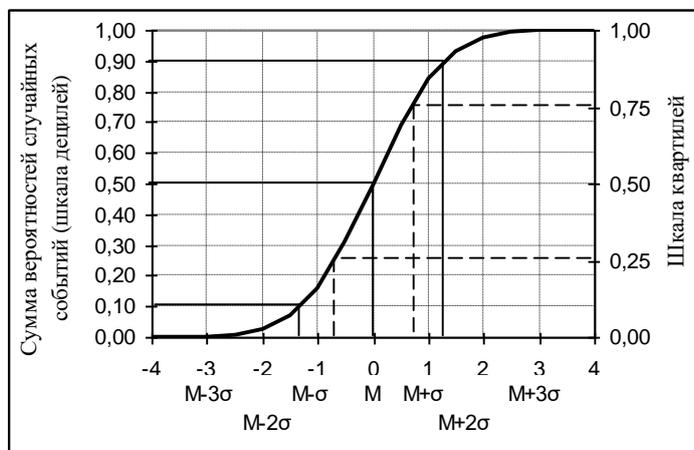


Рис. 63. Кумулятивная кривая плотности нормального распределения.

Вероятность отклонения любой варианты в ту или другую сторону от средней  $\mu$ , на  $t$ ,  $2t$  и  $3t$  следующая:

$$P\{-t < /x - \mu < +t\} = 0,6827$$

$$P\{-2t < /x - \mu < +2t\} = 0,9545$$

$$P\{-3t < /x - \mu < +3t\} = 0,9973$$

Эти величины рассчитаны и приводятся в приложении «Значение интеграла вероятностей для разных значений  $t$ » (прил 3). Геометрически

они являются долями площади нормальной кривой в границах от  $-t$  до  $+t$ . Эти доли выражают в то же время и вероятность нахождения вариант в данных границах величины  $\pm t$ , т. е. отклонения от средней арифметической, выраженные в сигмах. Так, вероятность того, что взятая наугад варианта из части вариационного ряда, ограниченной слева и справа от средней сигмами, т. е.  $\pm 1t$  ( $t=\pm 1\sigma$ ),  $\pm 2t$  и  $\pm 3t$  равна:

$$\begin{aligned} P\{-t < x - \mu < +t\} &= 0,6827 \\ P\{-2t < x - \mu < +2t\} &= 0,9545 \\ P\{-3t < x - \mu < +3t\} &= 0,9973 \end{aligned}$$

Следовательно, с вероятностью  $P=0,6827$  можно утверждать, что наугад отобранная из нормально распределяющейся совокупности варианта не выйдет за пределы от  $\mu-t$  до  $\mu+t$ , или в компактной форме  $\mu \pm t$ . Вероятность того, что случайно отобранная варианта не отклонится от средней  $\mu$ , более чем на  $\mu \pm 3t$ , равна  $P = 0,9973$ . Это означает, что 68,3 %, 95,4 % и 99,7% от всех вариант нормально распределяющейся совокупности находится соответственно в пределах  $\mu \pm 1\sigma$ ,  $\mu \pm 2\sigma$  и  $\mu \pm 3\sigma$ . Этот важный вывод известен в биометрии как правило *плюс-минус трех сигм*.

Статистическая надежность, или уровень вероятности  $p$ , – это площадь под кривой от среднего на  $t$  стандартных отклонений, выраженная в процентах всей площади. Иными словами, это вероятность появления значения признака, лежащего в области  $\mu \pm t\sigma$ . Уровень значимости  $p_1$  – это вероятность того, что значение изменяющегося признака находится вне предела  $\mu \pm t\sigma$ , т.е. уровень значимости указывает вероятность отклонения случайной величины от установленных пределов варьирования  $p_1=1-p$ . Чем больше уровень вероятности, тем меньше уровень значимости, и наоборот.

В практике агрономических исследований считается возможным пользоваться вероятностями 0,95 – 95 % и 0,99 – 99 %, которым соответствуют 0,05 – 5 %-ный и 0,01 – 1 %-ный уровень значимости. Эти вероятности называются *доверительными*, т. е. такими, которыми можно уверенно пользоваться. Так, при вероятности 0,95 = 95 %, риск сделать ошибку составляет 0,05 = 5 %, или 1 из 20. При вероятности 0,99 = 99 % риск ошибиться, равен 0,01 – 1 %, или 1 из 100.

*Пример.* Обратимся к примеру с длиной 15-ти дневных проростков риса. В таблице 23 приведены результаты измерений 100 проростков ( $N=100$ ). Исходные данные группируются (техника описана выше) и вычисляются необходимые параметры. Анализируемый вариационный ряд характеризуется следующими показателями: классовый интервал  $i=1,0$ , среднее  $\bar{x}=7,338$  см, среднее квадратическое (стандартное) отклонение  $\sigma_x=1,232$  см. Сгруппированные данные записываются в таблицу (табл. 28).

Вычисление теоретических частот нормального распределения ведут в следующей последовательности:

1. Нормируем варианты, т. е. находим нормированное отклонение

$$t = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

Таблица 28 – Вычисление теоретических частот нормального распределения

Центр интервала, $x_i$	$t = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$	Ординаты нормальной кривой $f(t)$ (находят по таблице)	Теоретические частоты, $f'$		Эмпирические частоты, $f_i$
			вычисленные	округленные	
1	2	3	4	5	6
4,5	-2,30	0,02833	2,29951	2	3
5,5	-1,49	0,13147	10,67127	11	12
6,5	-0,68	0,31659	25,69724	26	27
7,5	0,13	0,39559	32,10958	32	32
8,5	0,94	0,25647	20,81737	21	15
9,5	1,75	0,08628	7,00325	7	9
10,5	2,57	0,01468	1,19156	1	2
$i=1$	$\bar{x}=7,338$	$\sigma_x=1,232$		99*	100

\* Можно увеличить частоту наименьшего класса на 1, чтобы в сумме было 100, т. е. соответствовало величине выборки

2. Находим значение функции  $f(t)$  для каждого нормированного (вычисленного) отклонения  $t$  эмпирического ряда:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-0,5t^2}.$$

Это и есть вероятность появления значений  $x_i$ , соответствующего нормированному отклонению. Значения для разных  $t$  приведены в таблице приложения 4.

3. Чтобы ордината выражала не вероятность, а абсолютные числовые значения случайной величины, т. е. выравнивающие частоты эмпирического распределения, необходимо в формулу ввести дополнительные множители: общее число наблюдений ( $N$ ), величину классового интервала ( $i$ ) и среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ :

$$f' = \frac{N \cdot i}{\sigma} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-0,5t^2}, \text{ иначе } f' = \frac{N \cdot i}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-0,5t^2}$$

Это и есть вычисленные теоретические частоты (столбец 4).

4. Округляем вычисленные теоретические частоты  $f'$ .

5. Построим график распределения 15-ти дневных проростков риса по длине ростка (рис. 64).

Для решения вопроса о соответствии эмпирического распределения вариант нормальному распределению используют критерии сравнения.

В программе Microsoft Excel нормальное распределение рассчитывается следующим образом.

Все значения вариант вариационного ряда вводятся в столбец электронной таблицы. Выделяем заполненные ячейки и, используя функцию «сортировка», располагаем варианты по возрастанию (данные/сортировка).

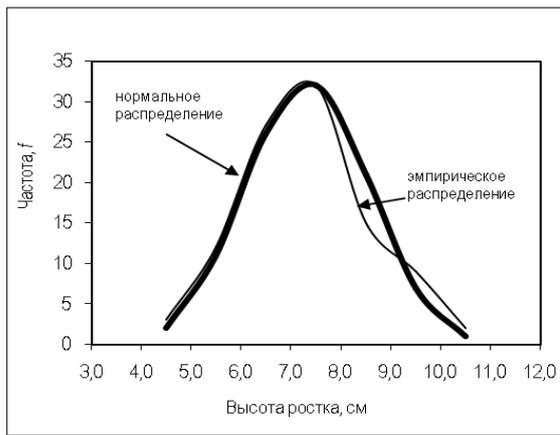


Рис. 64. График распределения 15-ти дневных проростков риса по длине роста

Для нахождения параметров эмпирического вариационного ряда запустим пакет анализа данных (данные/анализ данных). Если этот пакет еще не установлен на вашем компьютере, выполните его установку. Из списка «Инструменты анализа» выберите «Описательная статистика». Укажите требуемые параметры. В результате выполнения этой программы на экран

выводятся нужные нам для дальнейших расчетов значения: среднее и стандартное отклонение (рис. 65).

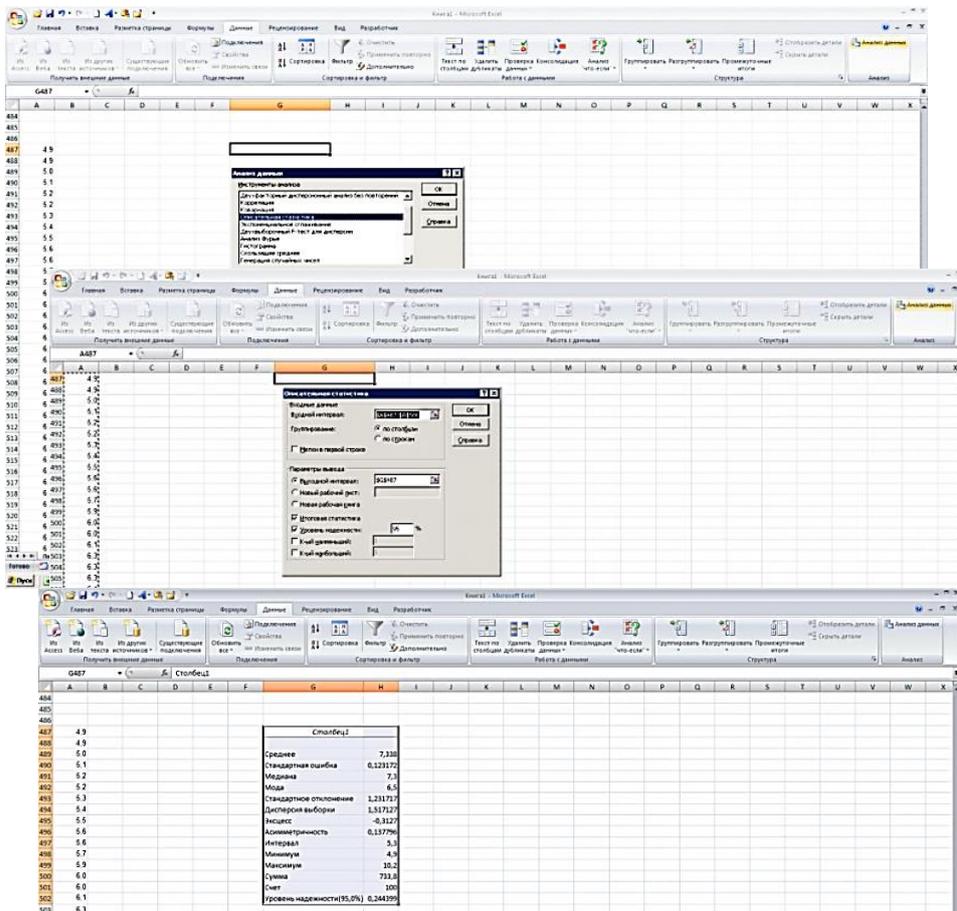


Рис. 65. Вид экрана монитора



Графики удобно строить в программе Microsoft Excel с помощью мастера диаграмм. Как это сделать, можно прочитать с соответствующих руководств (рис. 68).

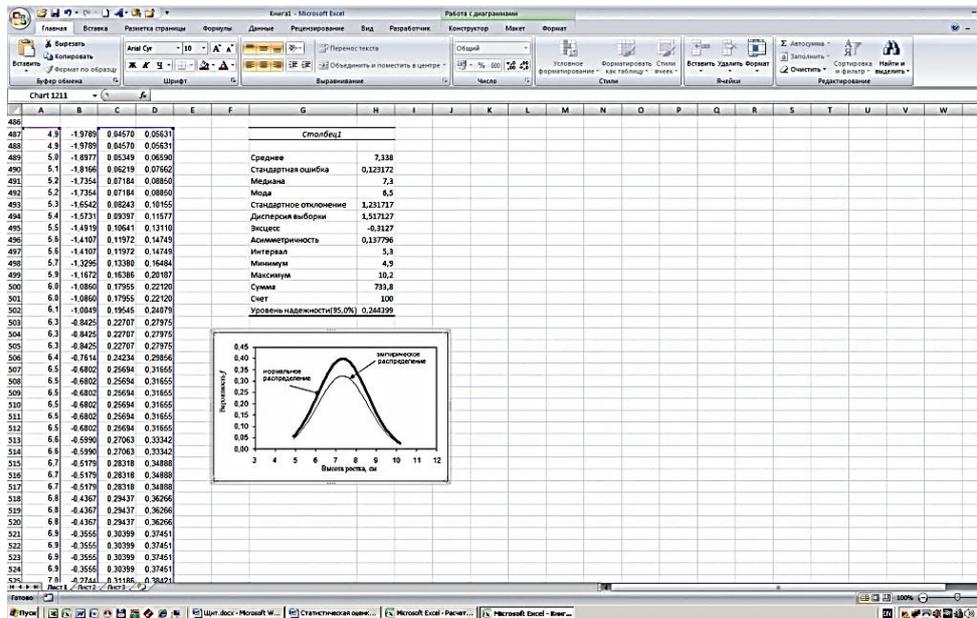


Рис. 68. Вид экрана монитора

**Асимметрия.** Нередко некоторые признаки дают распределения, значительно отличающиеся от нормального. Асимметрией, или скошенностью, называется мера отклонения распределения частот от симметричного их распределения относительно максимальной ординаты. Она может быть положительной, или правосторонней, когда увеличиваются частоты правой части, и отрицательной, или левосторонней, когда увеличиваются частоты левой части вариационной кривой. Степень асимметричности распределения можно измерить через разность между средней арифметической и модой:

$$K_{As} = \frac{(M - M_o)}{\sigma},$$

где:  $K_{As}$  – коэффициент асимметрии;  
 $M$  – средняя арифметическая;  
 $M_o$  – мода;  
 $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение.

Отрицательное значение коэффициента соответствует отрицательной асимметрии, а положительное – положительной (рис. 69).

Причинами асимметричных распределений могут быть следующие:

1. Неправильно взятая выборка, когда в нее вошло непропорционально много (или мало) представителей варианта с большим или меньшим их значением.
2. Действие определенных факторов, сдвигающих частоту варьирующего в ту или иную сторону от среднего значения.

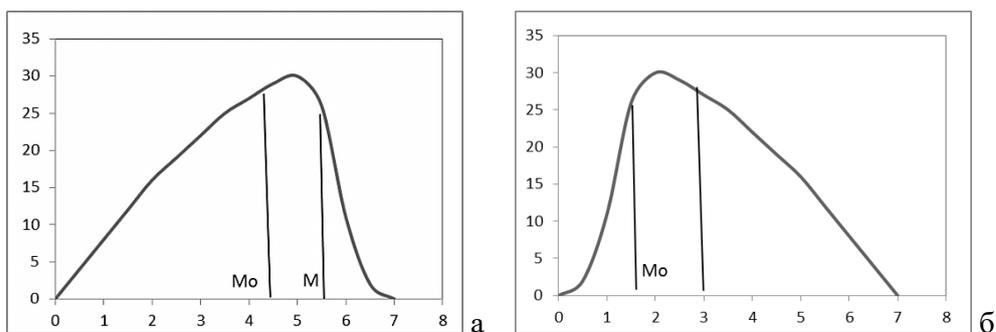


Рис. 69. Асимметрия: а – положительная, б – отрицательная

**Экссесс.** Когда какие либо причины благоприятствуют более частому появлению и средних и крайних значений признака, образуются так называемые *положительные эксцессивные распределения*, имеющие вид острой пирамиды с расширенным основанием или *отрицательные эксцессивные распределения*, когда в центре их имеется не вершина, а впадина, и вариационная кривая становится двухвершинной. Многовершинные и двухвершинные кривые в большинстве случаев указывают, что в выборку попали представители нескольких совокупностей с различными средними (рис. 70).

**Распределение  $\chi^2$  (хи-квадрат).** Случайная величина, имеющая распределение хи-квадрат, определяется как сумма квадратов  $k$  независимых стандартных нормальных величин, т. е. величин, имеющих нормальное распределение. Число  $k$  в определении хи-квадрата называется числом степеней свободы. В частном случае, когда  $k = 1$ , случайная величина хи-квадрат равна квадрату стандартной нормальной величины. Итак, это распределение имеет только один параметр – число степеней свободы, являющийся целым положительным числом. Графическое представление распределения  $\chi^2$  изображено на рисунке 71. Это распределение несимметрично и сосредоточено только на положительной полуоси. При увеличении числа степеней свободы пик плотности распределения уменьшается и смещается вправо, распределение как будто расплывается по положительной полуоси.

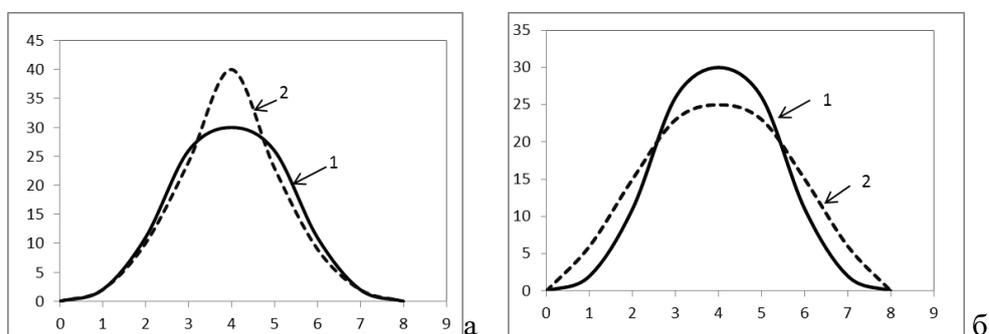


Рис. 70. Экссесс: а – положительный, б – отрицательный  
1 – теоретическая и 2 – эмпирическая кривые распределения

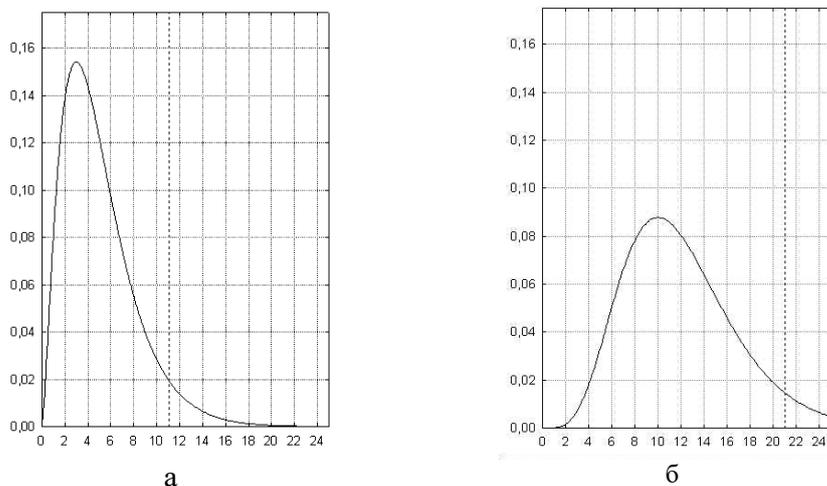


Рис. 71. Плотность распределения случайной величины хи-квадрат с 5 (а) и 12 (б) степенями свободы

Распределение хи-квадрат играет важную роль при исследовании оценки дисперсии нормальной выборки, а также при проверке зависимостей в таблицах сопряженности и в критериях согласия.

***t*-распределение Стьюдента.** *t*-распределение важно в тех наблюдениях, когда рассматриваются оценки среднего и неизвестна дисперсия выборки. В этом случае используют выборочную дисперсию и *t*-распределение. Это одно из важнейших распределений, наряду с нормальным и распределением хи-квадрат.

*t*-распределение с степенями свободы  $k$  сосредоточено на всей действительной оси, симметрично относительно 0. Среднее *t*-распределения равно 0, дисперсия равна  $k/(k-2)$ . По мере увеличения числа степеней свободы *t*-распределение приближается к нормальному распределению и уже при 30 и более степенях свободы практически совпадает с ним (рис. 72).

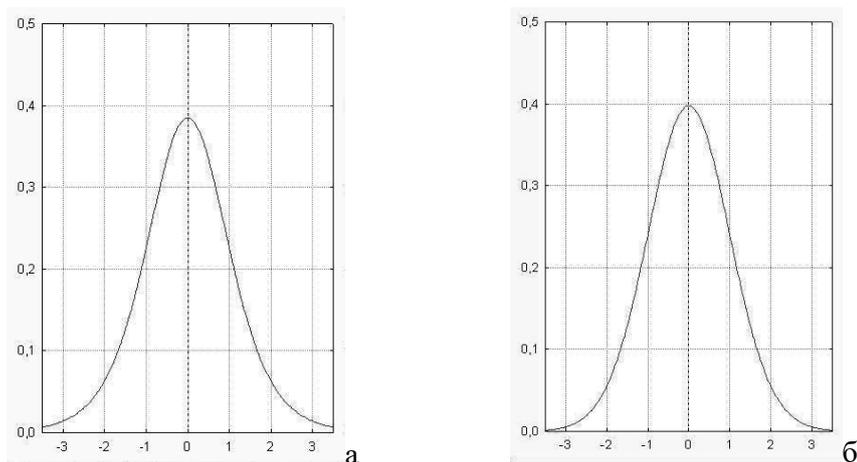


Рис. 72. Плотность *t*-распределения Стьюдента с 7 (а) и 70 (б) степенями свободы

Как видим при возрастании числа степеней свободы пик плотности распределения увеличивается, хвосты более круто идут к 0.

***F-распределение.*** Случайная величина, имеющая  $F$ -распределение с парой степеней свободы  $n$ ,  $t$ , определяется как отношение двух независимых случайных величин, имеющих распределение хи-квадрат со степенями свободы  $t$  илис умножением на нормировочный сомножитель  $n/t$ .

$F$ -распределение сосредоточено на положительной полуоси. Это распределение в отличие от нормального несимметрично (рис. 73).

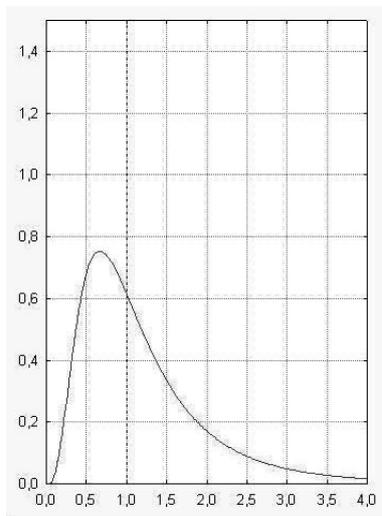


Рис. 73. Плотность  $F$ -распределения с  $n=10$  и  $t=10$  степенями свободы

$F$ -распределение возникает в регрессионном, дисперсионном и дискриминантном анализе, а также в других видах многомерного анализа данных.

***Логарифмически-нормальное распределение.*** Случайная величина  $X$  имеет логарифмически-нормальное распределение, если величина  $\ln(X)$  является нормальной. Иначе, логарифм логарифмически-нормальной величины является нормальной величиной. Как и нормальное распределение, логнормальное описывается двумя параметрами – средним значением и средним квадратическим отклонением. Плотность распределения имеет одно максимальное значение и несимметрично. График плотности логарифмически-нормального распределения показан на рисунке 74.

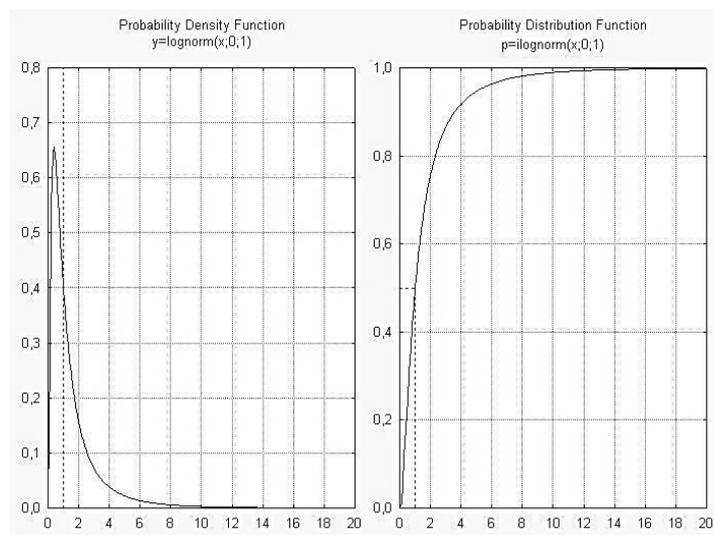


Рис. 74. Плотность логарифмически-нормального распределения

## 5.5. Критерии достоверности оценок

*Математика – единственный совершенный метод, позволяющий провести самого себя за нос.*

**А. Эйнштейн**

*Критерии существенности и доверительные пределы ... являются основой наших суждений относительно совокупности экспериментов, из которой ваши данные являются просто одной из выборок.*

**Дж. У. Снедекор**

Ни одно исследование не обходится без сравнения его результатов. Сравнить приходится данные опыта с контролем, различных вариантов между собой. Сравнение проводится различными способами, выбор которых определяется решаемыми задачами. Практически ни одно исследование не обходится без сравнения эмпирического вариационного ряда с известными типами теоретического распределения (моделью). Наиболее часто сравнивают эмпирические распределения между собой, выборочные параметры с параметрами генеральной совокупности и друг с другом.

Сравнивая средние арифметические, дисперсии, средние квадратические отклонения, решается вопрос о принадлежности выборок к одной или разным генеральным совокупностям по центральной тенденции или по характеру изменчивости признака в отдельности, сравнение вариационных рядов позволяет получить представления о сходстве или различии рядов по центральной тенденции и изменчивости признака. О преимуществе той или иной из сравниваемых групп (например, вариантов опыта) судят обычно по разности между средними значениями, долями и другими выборочными показателями (среднее квадратическое отклонение, коэффициентами вариации и др.) – величинами случайными, сопровождаемыми ошибками репрезентативности. Поэтому необходимо решать вопрос о достоверности выборочной разности с ее ошибкой репрезентативности. Прямое сравнение, т. е. по разности показателей недопустимо.

Выбор метода сравнения определяется поставленной задачей. Все они основаны на подтверждении или опровержении принятой гипотезы – предположение относительно параметров сравниваемых групп, которое выражено в терминах вероятности и может быть проверено по выборочным характеристикам (Лакин Г.Ф., 1990). Наиболее часто используется *нулевая гипотеза* ( $H_0$ ). Сущность этой гипотезы сводится к предположению, что разница между генеральными параметрами сравниваемых групп (например, вариантов или повторений опыта) равна нулю и что различия, наблюдаемые между выборочными характеристиками, носят исключительно случайный характер. В любом случае *нулевая гипотеза* гласит, что различий между сравниваемыми параметрами, а следовательно и выборками, нет. Эта гипотеза применима к нормально распределяющейся совокупности. При сравнении совокупности с параметрами  $\mu_x$  и  $\sigma_x$ , с совокупностью, характеризуемой параметрами  $\mu_y$  и  $\sigma_y$ , нулевая гипотеза исходит из того, что  $\mu_x = \mu_y$  и  $\sigma_x = \sigma_y$ , следовательно,  $\mu_x - \mu_y = 0$  и

$\sigma_x - \sigma_y = 0$ . Нулевой гипотезе противостоит *нон-нуль-гипотеза*, которая исходит из предположения, что  $\mu_x - \mu_y \neq 0$  и  $\sigma_x - \sigma_y \neq 0$ .

Для проверки принятой гипотезы и достоверности оценки генеральной параметров по выборочным данным используют *критерии достоверности (различия)*, которые позволяют выявить, удовлетворяют ли выборочные показатели принятой гипотезе. В качестве критериев достоверности используют величины, функции распределения которых известны и табулированы, т. е. сведены в таблицы, содержащие значения функции для разных чисел степеней свободы ( $k$ ) или объема выборки ( $n$ ) и уровней значимости ( $\alpha$ ).

Статистические критерии построенные на основании параметров оцениваемой совокупности ( $\bar{x}$  и  $s_x^2$ ) и представляющие функции этих параметров, называют *параметрическими критериями*. С их помощью можно установить различия между параметрами (среднее, дисперсия, вариация) вариационных рядов одноименного признака в двух выборках или в выборке и генеральной совокупности *распределяемых по нормальному закону*. Применение параметрических критериев предусматривает вычисление выборочных характеристик – средней величины и дисперсии. *Непараметрические критерии* представляют собой функции, зависящие непосредственно от вариант совокупности с их частотами. Эти критерии не зависят от типа распределения, не требуют для своего расчета знания параметра ряда. С их помощью устанавливается степень сходства и различия эмпирического и теоретического или двух эмпирических рядов распределения признака в целом. Таким образом, если сравниваемые выборки взяты из нормально распределяющихся совокупностей, следует отдавать предпочтение параметрическим критериям. При значительных отклонениях распределений признака от нормального типа более надежными являются непараметрические критерии. Они же единственно возможны, когда признаки выражаются не числами, а знаками.

### 5.5.1. Параметрические критерии

*Не сведуций в математике да не входит в этот дом.*

#### **Надпись на воротах платоновской Академии**

*Параметрическая статистика – это та часть математической статистики, в которой для получения статистических выводов используется гипотеза о параметрическом представлении для функции распределения (или функций распределения). Та же часть математической статистики, которая не использует то или иное параметрическое представление для функций распределения, называется непараметрической статистикой.*

**Е.А. Дмитриев**

Еще раз напомним, что правильное применение параметрических критериев для проверки статистических гипотез основано на предположении о нормальном распределении совокупностей, из которых взяты сравниваемые выборки. Кроме того, необходимо обязательно вычисление стати-

стических параметров оцениваемой совокупности – среднее значение ( $\bar{x}$ ) и выборочную дисперсию ( $s_x^2$ ). Из параметрических критериев в исследованиях биологических объектов применяют *t-критерий Стьюдента* и *F-критерий Фишера*, из непараметрических – *критерий  $\chi^2$*  (хи-квадрат).

***t-критерий Стьюдента (t-распределение)***. Этот критерий используют для сравнительной оценки средних величин, когда неизвестна дисперсия выборки. При нормальном распределении случайных величин для их сравнения используют генеральные параметры – математическое ожидание ( $\mu$ ) и дисперсию ( $\sigma$ ), которые зачастую исследователю неизвестны. В связи с этим приходится использовать выборочные параметры ( $\bar{x}$  и  $s_x$ ), которые распределяются нормально при больших объемах выборки, как минимум при  $n > 20-30$ . При  $n \leq 30-20$  выборочные параметры не имеют нормального распределения. Работая с малыми выборками, английский математик В. Госсет (псевдоним Стьюдент) в 1908 г. установил закон распределения значений величины  $t^* = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}} = \frac{\bar{x} - \mu}{s_{\bar{x}}}$  (закон *t-распределения*) в зависимости от объема выборки.

Из которого следует, что в нормально распределяющейся совокупности отношение разности выборочной и генеральной средней ( $\bar{x} - \mu$ ) к ошибке выборочной средней  $\left( \frac{s}{\sqrt{n}} = s_{\bar{x}} \right)$  распределяется

непрерывно в зависимости только от числа степеней свободы  $k = n - 1$ .

Значения функции *t-распределения* для разных значений *t* табулированы и приведены в математических таблицах. Оценка достоверности разницы производится путем сравнения вычисленного для конкретной выборки значения *t* (обозначают  $t_{\text{ф}}$ ) со стандартным  $t_{\text{ст}}$ , значение которого берут из таблиц.

Распределение Стьюдента имеет важное значение при работе с малыми выборками: позволяет определить доверительный интервал, накрывающий среднюю совокупность  $\mu$  и проверить ту или иную гипотезу относительно генеральной совокупности. При этом нет необходимости знать параметры совокупности  $\mu$  и  $\sigma$ , – достаточно иметь их оценки  $\bar{x}$  и  $s$  для объема выборки  $n$ .

Рассмотрим на примерах использование *t-критерия* для разных случаев сравнения. Напомним, что *t-критерий* используется для принятия или опровержения  $H_0$ -гипотезы.

***Оценка разности средних.*** При сравнении одноименных параметров двух выборок (вариационных рядов), если нулевая гипотеза отвергается, то это значит, что разность достоверна, а выборки (в опытах это варианты) принадлежат к разным генеральным совокупностям. Так, допустим, две выборки взяты из нормально распределяющихся совокупностей  $\mu_1$  и  $\mu_2$ . Нулевая гипотеза предполагает  $\mu_1 = \mu_2$ , а  $\mu_1 - \mu_2 = 0$ . В этом случае величина *t*, распределяющаяся по типу *t-распределения* с числом степеней свободы  $k = (n_1 - 1) + (n_2 - 1)$ , вычисляется по формуле:

---

\* Величиной *t* измеряется отклонение выборочной средней  $\bar{x}$  от средней генеральной совокупности  $\mu$ , выраженное в долях ошибки выборки  $s_{\bar{x}}$ , принятой за единицу.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}} = \frac{d}{s_d},$$

где:  $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = d$  – разность средних;

$s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = s_d$  – ошибка разности выборочных средних.

Ошибки разности средних ( $s_d$ ) рассчитывают по формуле:

$$s_d = \sqrt{s_{\bar{x}_1}^2 + s_{\bar{x}_2}^2} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x}_1)^2}{n(n-1)} + \frac{\sum(x_i - \bar{x}_2)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x}_1)^2 + \sum(x_i - \bar{x}_2)^2}{n(n-1)}}$$

если сравниваемые выборки равновелики ( $n_1=n_2$ ) и

$$s_d = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left( \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} \right)} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x}_1)^2 + \sum(x_i - \bar{x}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2} \left( \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} \right)} =$$

$$\sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x}_1)^2 + \sum(x_i - \bar{x}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2} \left( \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} \right)}$$

если ( $n_1 \neq n_2$ ).

$H_0$ -гипотеза отвергается, если фактически установленная величина  $t$ -критерия ( $t_{\phi}$ ) будет больше, либо равна стандартному значению  $t_{st}$ , для принятого уровня значимости  $\alpha$  (обычно 0,05; 0,01 или 0,001, т. е. 5, 1 и 0,1 %) числа степеней свободы  $k=n_1+n_2-2$ .

*Пример.* Изучали влияние микроудобрений на продуктивность растений риса. Контрольные растения выращивали при внесении  $N_{120}P_{80}K_{60}$ , а опытные  $N_{120}P_{80}K_{60}Cu_2$ . У 10 растений с каждого варианта определяли массу зерна. Результаты взвешиваний представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Исходные данные и вычисления для расчета разности средних значений

Масса зерна с растения, г		Отклонение от средней арифметической ( $x_i - \bar{x}$ )		Квадраты отклонений, ( $x_i - \bar{x}$ ) <sup>2</sup>	
$N_{120}P_{80}K_{60}Cu_2$	$N_{120}P_{80}K_{60}$	$N_{120}P_{80}K_{60}Cu_2$	$N_{120}P_{80}K_{60}$	$N_{120}P_{80}K_{60}Cu_2$	$N_{120}P_{80}K_{60}$
3,80	2,50	-0,37	-0,34	0,1369	0,1156
4,10	3,10	-0,07	0,26	0,0049	0,0676
3,50	4,00	-0,67	1,16	0,4489	1,3456
4,30	2,30	0,13	-0,54	0,0169	0,2916
4,50	2,70	0,33	-0,14	0,1089	0,0196
4,80	2,20	0,63	-0,64	0,3969	0,4096
4,00	3,50	-0,17	0,66	0,0289	0,4356
3,80	3,20	-0,37	0,36	0,1369	0,1296
5,00	2,80	0,83	-0,04	0,6889	0,0016
3,90	2,10	-0,27	-0,74	0,0729	0,5476
$\Sigma=41,70$	$\Sigma=28,40$			$\Sigma=2,0410$	$\Sigma=3,3640$
$\bar{x}_1=4,17$	$\bar{x}_2=2,84$			$\Sigma(x_i - \bar{x})^2$	

Вычислим средние по каждому варианту (выборке, вариационному ряду)  $\bar{x}_1=4,17$  г и  $\bar{x}_2=2,84$  г, разницу средних  $d=|\bar{x}_1-\bar{x}_2|=4,17-2,84=1,33$  г; ошибку разности по формуле :

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x}_1)^2 + \sum (x_i - \bar{x}_2)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{2,0410 + 3,3640}{10(10-1)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{5,4050}{90}} = \sqrt{0,0600556} = 0,24506235$$

и величину  $t$ :  $t = \frac{d}{s_d} = \frac{1,33}{0,24506235} = 5,42729$ . Это фактическое значение  $t$ ,

обозначают  $t_{\phi}$ . Критическое (теоретическое, стандартное) значение этой величины для выбранного уровня значимости и числа степеней свободы  $k=n_1+n_2-2=10+10-2=18$  находим в математических таблицах. Для 18 степеней свободы  $t_{кр}$  равно соответственно для  $\alpha=0,05$  –  $t_{кр}=2,10$ ;  $\alpha=0,01$  –  $t_{кр}=2,88$ ;  $\alpha=0,001$  –  $t_{кр}=3,92$ .  $t_{\phi} > t_{кр}$  на самом высоком уровне значимости. Следовательно,  $H_0$ -гипотеза отвергается. Это значит, что разница между продуктивностью растений, выращенных при внесении  $N_{120}P_{80}K_{60}Cu_2$  и  $N_{120}P_{80}K_{60}$ , в высшей степени достоверна.

Представленные выше расчеты  $t$ -критерия выполнены из предположения, что дисперсии сравниваемых выборок одинаковые. Если  $s_1^2 \neq s_2^2$ ,

то величину  $t$ -критерия находят по формуле:  $t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$ , а число

степеней свободы  $k$  при  $n_1=n_2$   $k = n - 1 + \frac{2n - 2}{\frac{s_1^2}{s_2^2} + \frac{s_2^2}{s_1^2}}$ , при  $n_1 \neq n_2$

$$k = \left( \frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2 \left/ \left[ \frac{(s_1^2/n_1)^2}{n_1 + 1} + \frac{(s_2^2/n_2)^2}{n_2 + 1} \right] \right. - 2.$$

С учетом формул ошибок репрезентативности формулы критерия  $t$  приобретают вид:

– для сравнения средних квадратичных отклонений:

$$t = \frac{s_1 - s_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{2n_1} + \frac{s_2^2}{2n_2}}}$$

– для сравнения коэффициентов вариации;

$$t = \frac{V_1 - V_2}{\sqrt{s_{V_1}^2 + s_{V_2}^2}}$$

В программе Microsoft Excel имеется стандартная процедура расчета  $t$ -тест для выборочных средних. Чтобы произвести расчеты, необходимо выполнить следующие действия.

Введите в столбец (например) А значения признака в одной выборке (в программе она именуется «Переменная 1») и в столбец В значения признака в сравниваемой выборке (Переменная 2). В меню «Данные» выберите вкладку «Анализ данных» (рис. 75). В списке «Инструменты анализа» предлагаются: «Парный двухвыборочный t-тест для средних», «Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями» и «Двухвыборочный t-тест с разными дисперсиями». Выберите необходимый.

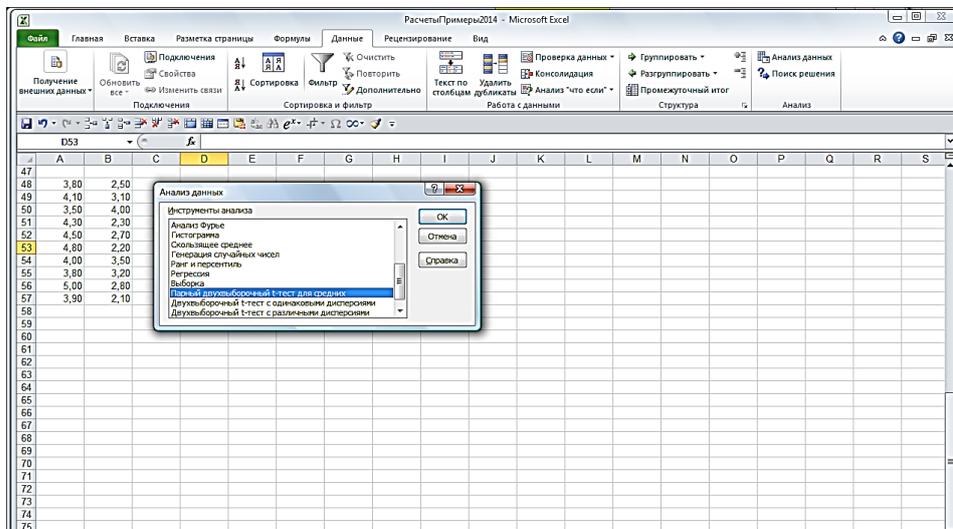


Рис. 75. Вид экрана монитора.

Программа потребует указать интервал переменной 1 и переменной 2, гипотетическую среднюю разность – «0» для  $H_0$ -гипотезы, значение альфа, т. е. выбранный уровень значимости – 0,05, 0,01 и 0,001 соответственно для  $P=5\%$ ,  $P=1\%$  и  $P=0,1\%$  и выходной интервал (рис. 76).

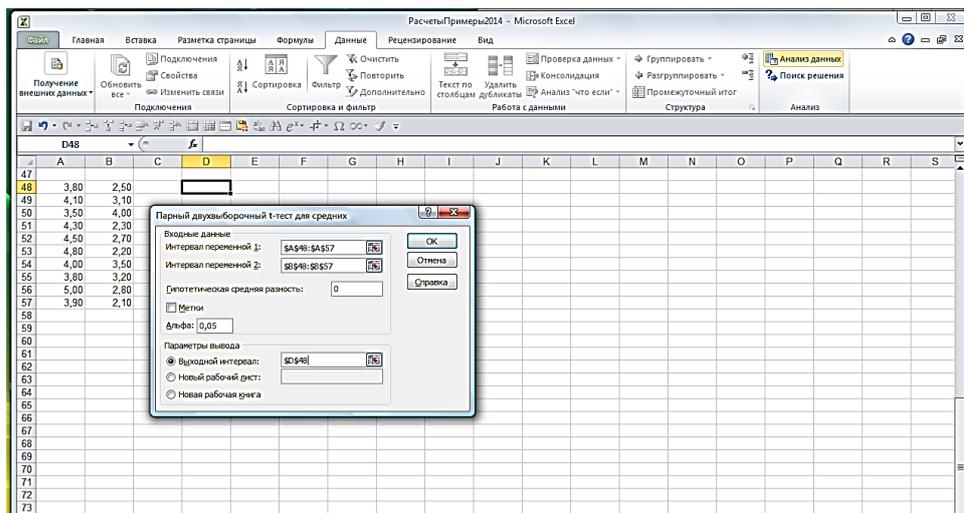


Рис. 76. Вид экрана монитора

Результаты расчета t-теста выводятся на монитор в виде таблицы (рис. 77).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
47															
48	3,80	2,50		Парный двухвыборочный t-тест для средних											
49	4,10	3,10													
50	3,50	4,00			Переменная 1	Переменная 2									
51	4,30	2,30		Среднее	4,17	2,84									
52	4,50	2,70		Дисперсия	0,226111178	0,373111178									
53	4,80	2,20		Наблюдения	10	10									
54	4,00	3,50		Корреляция Пирсона	-0,48391575										
55	3,80	3,20		Гипотетическая разность средних	0										
56	5,00	2,80		df	9										
57	3,90	2,10		t-статистика	4,47749694										
58				P(T<=t) одностороннее	0,000768979										
59				t критическое одностороннее	1,833112933										
60				P(T<=t) двухстороннее	0,001537958										
61				t критическое двухстороннее	2,262157163										

Рис. 77. Вид экрана монитора

t-статистика – это фактическое значение величины  $t$  ( $t_{\phi}$ ),  $t$ -критическое одностороннее и  $t$ -критическое двухстороннее – значение  $t_{кр}$  ( $t_T$ ). Если  $t$ -статистика больше, либо равно  $t$ -критическому, то  $H_0$ -гипотеза отвергается, т. е. выборки не принадлежат одной генеральной совокупности объектов, проще говоря, различия между вариантами опыта достоверны и обусловлены изучаемым фактором, т. е. в конкретном примере влиянием медных удобрений на продуктивность растений риса. Значения «P(T<=t) одностороннее» и «P(T<=t) двухстороннее» показывают вероятность того, что  $H_0$ -гипотеза подтвердится, т. е. вероятность ошибочного вывода о принадлежности выборок к разным совокупностям.

**F-критерий (распределение Фишера).** Если из одной и той же совокупности, распределяемой по нормальному закону, отобрать случайным повторным способом какое-то количество независимых выборок объемом  $n_1, n_2, \dots, n_n$ , то можно подсчитать дисперсии  $s_1^2, s_2^2, \dots, s_n^2$  со степенями свободы  $\nu_1=n-1; \nu_2=n_2-1 \dots$  и  $\nu_n=n_n-1$  и затем определить отношение дисперсий:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

Отношение дисперсий берут таким, чтобы в числителе была большая дисперсия, поэтому  $F$  всегда больше или равна единице (если дисперсии равны).

Распределение  $F$  зависит исключительно от числа степеней свободы  $\nu_1$  и  $\nu_2$  (закон  $F$ -распределения открыл Р.А. Фишер). Когда две сравниваемые выборки являются случайными независимыми из общей совокупности,

ности с генеральной средней  $\mu$ , то фактическое значение  $F$  не выйдет за пределы и не превысит критическое для данных  $\nu_1$  и  $\nu_2$  теоретическое значение критерия  $F$  ( $F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$ ). Если генеральные параметры сравниваемых групп различны, то ( $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$ ).

На практике для определения  $F_{\text{теор.}}$  ( $F_{\text{критическое}}$  в пакете «Анализ данных» Microsoft Excel) пользуются специальными таблицами (прил. 5) или же с помощью функции «=FРАСПОБР(вероятность;степени\_свободы1;степени\_свободы2)» или «=F.ОБР.ПХ((вероятность;степени\_свободы1;степени\_свободы2)». Например «=FРАСПОБР(0,05;11;33). Критерий Фишера ( $F$ ) является наиболее точным способом сравнения средних квадратических отклонений, широко используемым также в дисперсионном анализе. Его применяют в исследованиях, когда выборка, на которой проводится исследование, нуждается в проверке на однородность.

В пакете Microsoft Excel для сравнения двух выборок используйте «Двухвыборочный  $F$ -тест для дисперсии». Для запуска теста в выберите «Данные\Анализ данных. В окне «Инструменты анализа» выберите «Двухвыборочный  $F$ -тест для дисперсии». В окне «Двухвыборочный  $F$ -тест для дисперсии» введите интервал первой и второй переменных, а также укажите выходной интервал (рис. 78).

Нажмите ОК. На монитор выводятся параметры расчета  $F$ -теста: среднее, дисперсия, число степеней свободы,  $F_{\text{факт}}$ <sup>13</sup> и  $F_{\text{крит}}$ , вероятность сходства ( $P$ ) (рис. 79):

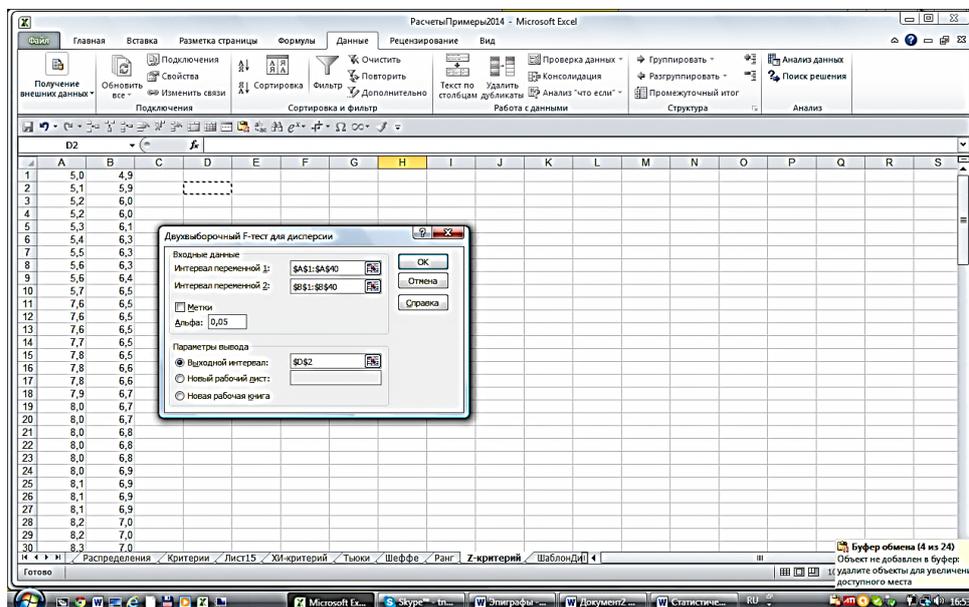


Рис. 78. Вид экрана монитора

<sup>13</sup> Если получилось, что  $F < 1$ , поменяйте местами переменные, т. е. переменную 1 определите как переменную 2.

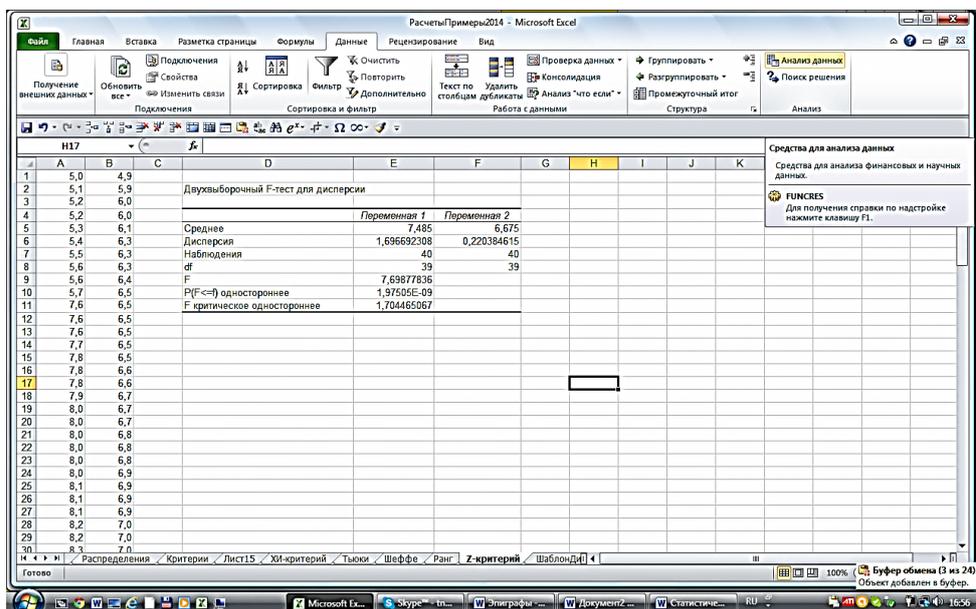


Рис. 79. Вид экрана монитора

### 5.5.2. Непараметрические критерии

*Статистические критерии, с помощью которых устанавливается степень сходства и различия эмпирического и теоретического или двух эмпирических рядов распределения признака в целом и которые не требуют для своего расчета знания параметров ряда, называются непараметрическими критериями различия.*

**В.М. Шмидт**

*Если самые замечательные открытия древних математиков охватывают теперь элементарной математикой ... то это потому, что эти открытия сведены к фактам.*

**Гельвеций**

Не все признаки распределяются нормально, и не всегда имеется возможность установить тип их распределения и вычислить статистические параметры, а, кроме того, представляют интерес не только количественные, но и качественные, или атрибутивные признаки, многие из которых выражаются не только абсолютными или относительными числами, но порядковыми номерами, индексами, баллами и другими условными знаками. В таких случаях необходимо использовать *непараметрические критерии*. При использовании непараметрических критериев сравниваются не члены вариационных рядов, а их частоты, ранги или их порядковые номера. Критерии, основанные на ранжировании вариационных рядов, называют еще *ранговыми критериями*.

Как и при использовании параметрических критериев, непараметрические критерии применяют для проверки нулевой гипотезы ( $H_0$ -гипотеза), которая формулируется следующим образом: между сравниваемыми выборками нет различий, т. е. они извлечены из одной генеральной совокупности. Гипотеза принимается в том случае, если рассчитанный (фактический) критерий равен или больше его критического значения на принятом уровне значимости и для конкретного числа степеней свободы.

**X-критерий Ван-дер-Вардена.** Этот критерий относится к группе ранговых критериев, его применяют для проверки нулевой гипотезы при сравнении друг с другом независимых выборок (т. е. попарно не связанными вариантами). Нулевая гипотеза сводится к предположению, что сравниваемые выборки извлечены из генеральных совокупностей с одинаковыми функциями распределения. Она принимается при  $X_{\text{фак}} < X_{\text{ст}}$  и отвергается при  $X_{\text{фак}} \geq X_{\text{ст}}$  на принятом уровне значимости.

Вычисление критерия начинают с ранжирования сравниваемых выборок в один общий ряд по возрастающим значениям признака. Затем каждому члену ряда присваивают порядковый номер ( $R$ ), отмечающий его место в общем ранжированном строю. Далее значения элементов каждого ряда (выборки) располагаем в соответствии с их рангом (во избежание путаницы, элементы каждого ряда записываем в отдельную колонку с учетом их ранга). По порядковым номерам одной из выборок, обычно меньшей по объему, находят отношение  $R/(N+1)$ , где  $N+1=n_1+n_2+1$ , т. е. сумма всех членов сравниваемых групп, увеличенная на единицу, а  $R$  – порядковый номер (ранг) членов ряда.

С помощью специальной таблицы (прил. 6) находят значения функции  $\psi[R/(N+1)]$  для каждого значения  $R/(N+1)$ .  $X_{\text{фак}} = \sum \psi[R/(N+1)]$  находят путем суммирования значений функции  $\psi[R/(N+1)]$  (обязательно с учетом знаков!). Критическую величину этого критерия  $X_{\text{ст}}$  для принятого уровня значимости ( $\alpha$ ) и общего числа членов сравниваемых выборок, т. е.  $N=n_1+n_2$  определяют по таблицам (прил. 7). При этом обязательно учитывают разность  $n_1-n_2$ .

*Пример.* Необходимо установить влияние гербицида на засоренность посева. В результате подсчета числа сорняков на  $1 \text{ м}^2$  на контроле и опытном варианте получены следующие данные:

Контроль	71	79	61	81	63	69	74	61	72	67	70	$\bar{x}_1=69,8$ шт.
Опыт	72	67	66	55	50	59	63	70	74			$\bar{x}_2=64,0$ шт.

Формулируем  $H_0$ -гипотезу – изучаемый гербицид не оказывает существенного влияния на засоренность посевов. Расположим значения каждого ряда в порядке их возрастания, объединим и ранжируем.  $N=n_1+n_2=9+11=20$ . Расчет X-критерия по ранжированным значениям признака сравниваемых групп приведен в таблице 30.

Таблица 30 – Техника расчетов X-критерия

Порядковый номер $R$	Число сорняков, шт./м <sup>2</sup>		$\frac{R}{N+1}$	$\psi\left(\frac{R}{N+1}\right)$
	опыт	контроль		
1	50		0,048	-1,66
2	55		0,095	-1,31
3	59		0,143	-1,07
4		61		
5		61		
6		63		
7	63		0,333	-0,43
8	66		0,381	-0,3
9		67		
10	67		0,476	-0,06
11		69		
12		70		
13	70		0,619	0,3
14		71		
15		72		
16	72		0,762	0,71
17		74		
18	74		0,857	1,07
19		79		
20		81		
	$n_1=9$	$n_2=11$		$\Sigma = -2,75$

Для  $N=20$  и 5%-ного уровня значимости с учетом разности  $n_1-n_2=11-9=2$  в приложении 7 находим  $X_{st} = 3,84$ .  $-2,75 < 3,84$ , т. е.  $X_{фак} < X_{st}$  – нулевая гипотеза не отвергается, а разница между контролем и опытом оказывается статистически недостоверной. Применительно к нашему примеру – гербицид не оказывает влияния на засоренность, т. е. он не эффективен.

**Критерий знаков Z.** Этот критерий используется для сравнения выборок с попарно связанными вариантами. При этом наблюдаемые между ними различия обозначаются плюс (положительный эффект) и минус (отрицательный эффект) воздействующего на признак фактора. В соответствии с биномиальным распределением, если попарно сравниваемые значения двух зависимых выборок существенно не отличаются друг от друга, то число плюсовых и минусовых разностей окажется совершенно одинаковым; преобладание одного из знаков указывает на различие выборок. Величина Z-критерия определяется большим числом однозначных разностей. При этом нулевые разности, т. е. случаи, давшие одинаковый результат, обозначаются цифрой 0 и в расчет не принимаются, и число парных наблюдений соответственно уменьшается.  $H_0$ -гипотеза, т. е. предположение о том, что сравниваемые выборки взяты из одной совокупности и различия между ними статистически недостоверны, принимается при  $Z_{фак} < Z_{st}$  и отвергается в случае  $Z_{фак} \geq Z_{st}$ . Критические значения этого критерия ( $Z_{st}$ ) для 5 % и 1 %-ного уровней значимости и числа парных

наблюдений  $n$  (без нулевых разностей) приведены в приложении 8. Критерий знаков использует информацию только о различии чисел.

*Пример.* Возьмем предыдущий пример с гербицидами с той лишь разницей, что выборка по контролю и опыту должна быть одинаковой, и установим, оказывает ли они влияние на засоренность посевов (табл. 31). Формулируем  $H_0$ -гипотезу – изучаемый гербицид не оказывает существенного влияния на засоренность посевов. Сравниваем варианты попарно и оцениваем разницу знаками плюс (+) и минус (-). Обычно плюсом обозначают положительный эффект, поэтому в анализируемом примере уменьшение числа сорняков обозначено знаком плюс (+).

Таблица 31 – Техника расчетов Z-критерия

Число сорняков, шт./м <sup>2</sup>		Разница выражена	
опыт	контроль	знаками (+/-)	числами
71	71	0	0
67	79	+	12
66	61	-	-5
55	81	+	26
64	63	-	-1
59	69	+	10
63	74	+	11
60	72	+	12
52	67	+	15
68	70	+	2

Как видим, из 10 парных сравнений ( $n=10$ ) в одном значения были одинаковыми (оценка 0), поэтому эта пара исключается ( $n=10-1=9$ ); 7 сравнений со знаком (+) и 2 – со знаком минус (-).  $Z_{\text{фак}}=7$ . По таблице (прил. 8) для  $n=9$  и 5 % уровня значимости находим  $Z_{\text{ст}}=8$ . Равенство  $Z_{\text{фак}} < Z_{\text{ст}}$  ( $7 < 8$ ) не позволяет отвергнуть  $H_0$ -гипотезу на 5%-ном уровне значимости. Следовательно, с вероятностью 95 % ( $p=0,95$ ) можно утверждать, что изучаемый гербицид не влияет на засоренность посевов.

В пакете Microsoft Excel расчет Z-критерия не реализован. В других программах *критерий знаков* (Signal Test) определяется как вероятность принадлежности выборок к одной или подобным совокупностям. При вероятности события менее  $p < 0,01$ , вероятность принадлежности выборок к одной или подобным совокупностям мала и  $H_0$ -гипотеза в соответствии с критерием может быть отброшена. Ю.Г. Пузаченко (2004) приводит следующие логико-математические основания критерия знаков. Пусть существует последовательность из  $N$  независимых испытаний, в которых может быть два исхода (+) или (-). Общее количество положительных исходов, есть случайная величина, подчиняющаяся биномиальному распределению. Пусть имеются два сравниваемых ряда наблюдений. Упорядочим эти ряды от максимального значения к минимальному. Будем считать положительным исходом все пары, для которых значение первого ряда больше второго. Равные значения исключим из выборки. Если сравниваемые выборки принадлежат одной генеральной совокупности,

то математическое ожидание вероятности сигнала – знака (+) будет очевидно  $0,5N$  (при условии принадлежности к одной генеральной совокупности вероятность положительных исходов равна  $0,5$ ). Теперь легко понять суть критерия. Если наблюдаемая вероятность  $p(+)=n(+)/N < 0,01$ , то вероятность принадлежности двух выборок одной генеральной совокупности мала и может быть отброшена в соответствии с этим критерием. Множество исходов  $p(+)$  определяет критическую область.

*Пример.* Критерий знаков весьма удобен в расчетах и при визуальной оценке различия небольших выборок. Например, если учитываются почвенные беспозвоночные методом раскопок, то объемы выборок неизбежно очень малы (4–8 проб). Допустим, необходимо оперативно определить, достоверно ли отличаются численности двух видов дождевых червей в двух сравниваемых выборках. Если во всех четырех пробах одной выборки численность одного вида выше, чем второго, то они могут быть отнесены к одной генеральной совокупности с вероятностью меньше  $0,1$  ( $p(+)=4/4=1,0$ , а  $p(-)=0$ , т. е. совокупности разные); если численности различаются в трех пробах, то вероятность принадлежности подобным генеральным совокупностям двух разных видов –  $0,25$  ( $p(+)=3/4=0,75$ ,  $p(-)=1,0-0,75=0,25$ ).

***U-критерий Уилкоксона***<sup>14</sup> (*Манна–Уитни*) относится к группе ранговых критериев. Применяют для оценки гипотезы о принадлежности сравниваемых независимых выборок к одной совокупности или к совокупностям с одинаковыми параметрами.

*U-критерий* вычисляют следующим образом: значения вариант сравниваемых выборок объединяют в один вариационный ряд и ранжируют по возрастанию от 1 до  $N=n_1+n_2$ . Для каждой выборки вычисляют суммы рангов  $R$ . *U-критерий* рассчитывают для каждого ряда по формулам:

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2}$$

и

$$U_1 = R_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2}.$$

*U-критерием* служит меньшая величина  $U_{\text{фак}}$ , именно ее сравнивают с табличным значением  $U_{\text{ст}}$ . Критические значения  $U_{\text{ст}}$  для  $n_1$ ,  $n_2$  и принимаемого уровня значимости  $\alpha$  находим в приложении 9.  $H_0$ -гипотеза подтверждается неравенством  $U_{\text{фак}} > U_{\text{ст}}$ .

*Пример.* Возвратимся к примеру расчета *X-критерия* и сравним эти выборки посредством *U-критерия*. Сравниваются две выборки, характеризующие число сорняков на  $1 \text{ м}^2$  в контроле и после обработки гербицидом. Выборка с обработанного гербицидом варианта составляет 9 вариант ( $n_1=9$ ), контроля – 11 ( $n_2=11$ ). Объединяем их в одну выборку и ранжируем. Записываем элементы каждого ряда (во избежание путаницы) в отдельную колонку с учетом их ранга (табл. 32).

<sup>14</sup> в другой транскрипции критерия Уилкоксона (Wilcoxon Test).

Таблица 32 – Техника расчетов  $U$ -критерия

Число сорняков, шт./м <sup>2</sup>		Порядковый номер («ранг»), $R$
опыт	контроль	
50		1
55		2
59		3
	61	4
	61	5
	63	6
63		7
66		8
	67	9
67		10
	69	11
	70	12
70		13
	71	14
	72	15
72		16
	74	17
74		18
	79	19
	81	20
$n_1=9$	$n_2=11$	

Суммируя «ранги» отдельно для каждой группы, находим  $R_1 = 1+2+3+7+8+10+13+16+18=78$ ;  $R_2=4+5+6+9+11+12+14+15+17+19+20=132$ . Для проверки правильности подсчетов находим общую сумму «рангов» по формуле  $n(n+1)/2$ , где  $n=n_1+n_2$ . В данном случае  $20(20+1)/2=210$ . Проверяем:  $R_1+R_2=132+78=210$ . Расчет произведен правильно. Теперь вычислим  $U_{\text{фак}}$  для каждого ряда.  $U_1=78-(9(9+1)/2)=33$ ;  $U_2=132-(11(11+1)/2)=66$ . Меньшую величину  $U_{\text{фак}}=33$  сравниваем с табличным значением  $U_{\text{ст}}$  для  $n_1=9$ ,  $n_2=11$  и уровня значимости  $\alpha=1\%$ , которое равно  $U_{\text{ст}}=19$  (прил. 9). Поскольку  $U_{\text{фак}} > U_{\text{ст}}$ , отвергнуть проверяемую  $H_0$ -гипотезу нельзя. Следовательно, подтверждается ранее сделанный вывод о статистической

недостовренности различий, наблюдаемых между этими выборками.

***T-критерий Уилкоксона.*** В отличие от  $U$ -критерия Уилкоксона, применяется в ситуациях, когда члены сравниваемых выборок связаны попарно некоторыми общими условиями, т. е. зависимые выборки. Парный  $T$ -критерий Уилкоксона аналог  $Z$ -критерия (критерий знаков), но более мощный. Для расчета  $T$ -критерия определяют попарные разности. Ранжируют попарные разности, как положительные, так и отрицательные, в один общий ряд. При этом нулевые разности в расчет не принимают (соответственно сокращается объем выборки), а все остальные независимо от знака ранжируют так, чтобы наименьшая абсолютная разность получила первый ранг, причем одинаковым по величине разностям присваивают один и тот же ранг, равный их среднему значению. Находят отдельно суммы положительных и отрицательных разностей. Меньшую из двух сумм разностей, без учета ее знака, используют в качестве фактически установленной величины  $T$ -критерия ( $T_{\text{фак}}$ ), которую сравнивают с критическим значением  $T_{\text{ст}}$  для принятого уровня значимости  $\alpha$  и числа парных наблюдений  $n$  (без учета нулевых разностей).  $H_0$ -гипотеза принимается, если  $T_{\text{фак}} > T_{\text{ст}}$ . Критические значения парного критерия Уилкоксона  $T_{\text{ст}}$  содержатся в приложении 10. Формально критерий Уилкоксона более мощный и поэтому более точен, чем критерий знаков.

*Пример.* Возьмем пример с гербицидами из  $Z$ -критерия и сравним зависимые выборки с помощью  $T$ -критерия.  $H_0$ -гипотеза – изучаемый гербицид не оказывает существенного влияния на засоренность посевов.

Сравниваем варианты попарно и вычисляем разницу. Ранжируем попарные разности без учета знака (табл. 33). Одинаковым значениям присваивается один ранг. Заносим в таблицу ранги рядом с соответствующей разностью.

Таблица 33 – Техника расчетов  $T$ -критерия

Число сорняков, шт./м <sup>2</sup>		Разница	Ранг
опыт	контроль		
71	71	0	
67	79	-12	6,5
66	61	5	3
55	81	-26	8
64	63	1	1
59	69	-10	4
63	74	-11	5
60	72	-12	6,5
52	67	-15	7
68	70	-2	2

Определяем суммы плюсовых и минусовых разностей:  $T_{(+)}=3+1=4$  и  $T_{(-)}= 6,5+9+4+5+6,5+8+2 = 41$ . Меньшая сумма дает  $T_{\text{фак}} = 4$ . Критическое значение  $T_{\text{ст}}$  для  $n=9$  (число парных наблюдений) и  $\alpha=5\%$   $T_{\text{ст}}=8$ . Имеем  $-T_{\text{фак}} < T_{\text{ст}}$ , то нулевая гипотеза отвергается, следовательно, гербицид эффективно уничтожает сорняки. Заметим, что  $Z$ -критерий не подтверждал достоверность влияния гербицида.

### 5.5.3. Проверка гипотез о законах распределения

*Одна из основных задач статистического анализа – определение степени репрезентативности выборки, то есть вероятности, с которой выявленные по выборке закономерности можно распространить на всю генеральную совокупность. В связи с этим особо важное значение имеет правильное образование (отбор) выборочной совокупности.*

**В.Г. Вольф**

*Точность конечного результата математической работы зависит, прежде всего, от точности исходных данных.*

**М.Е. Подтягин**

**$\chi^2$ -критерий** (критерий хи-квадрат, распределение Пирсона). Независимо от точности и метода исчисления теоретические частоты, как правило, не совпадают с эмпирическими частотами вариационного ряда. Отсюда возникает необходимость сопоставления эмпирических частот с вычисленными или ожидаемыми частотами, с целью установления достоверности или случайности наблюдаемого между ними расхождения. Для оценки меры совпадения теоретической кривой распределения с фактическими данными можно использовать критерий согласия  $\chi^2$  (хи-квадрат).

Нулевая гипотеза исходит из предположения, что несоответствие эмпирических и вычисленных частот – совершенно случайное, т. е. между ними нет никакой разницы. Одним из критериев проверки нулевой гипотезы служит  $\chi^2$ , предложенный в 1894 г. К. Пирсоном. Этот критерий представляет сумму квадратов отклонений эмпирических частот ( $f$ ) от теоретических ( $F$ ), отнесенную к теоретическим частотам:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f - F)^2}{F},$$

где:  $f$  и  $F$  – соответственно фактические и теоретические частоты численности объектов выборки.

Из формулы видно, что при уменьшении расхождения между эмпирическими и теоретическими данными значение  $\chi^2$  уменьшается и обращается в нуль при полном их совпадении. Величина критерия  $\chi^2$  всегда положительна, т. к. отклонения эмпирических частот от ожидаемых (или вычисленных) частот возведены в квадрат.

Следует обратить внимание, что  $\chi^2$  – это не квадрат какого-то числа, а выражает лишь исходную величину, определяемую вышеприведенной формулой Пирсона. Вид кривой в значительной степени зависит от числа степеней свободы. Для малого числа степеней свободы кривая асимметрична. С увеличением числа степеней свободы асимметрия уменьшается и при приближении  $\nu \rightarrow \infty$  кривая становится нормальной.

При малых выборках оценка дискретно распределяемых признаков с помощью критерия  $\chi^2$  сопряжена со значительными погрешностями. Чтобы оценки были более точными, выборка, распределяемая в вариационный ряд, должна содержать не менее 50 вариантов. Поэтому часто считают, что применение критерия  $\chi^2$  требует, чтобы в крайних классах вариационного ряда содержалось не менее пяти вариантов. Если в крайних классах содержится меньше, чем пять вариантов, то вычисленные и эмпирические частоты объединяются до указанного минимума, и соответственно уменьшается число классов вариационного ряда (Лакин Г.Ф., 1990). Существует иная точка зрения на минимальные значения теоретических частот  $f$ , которые могут находиться в разных классах вариационного ряда. Согласно ей, при  $n > 50$  и  $k \geq 6$  одно из значений  $f$  может быть снижено даже до 0,5. При  $k = 2$  минимальное значение  $f$  составляет 2. И только при  $k = 1$  минимальное значение  $f$  должно быть не менее 4 (там же). Число степеней свободы устанавливают по вторичному числу классов (т. е. после объединения классов с малой частотой) с учетом ограничений свободы вариации, которая в разных случаях бывает различной. При оценке эмпирических распределений, следующих нормальному закону, число степеней свободы  $\nu = k - 3$  (с учетом трех ограничений свободы вариации:  $n$ ,  $\bar{x}$  и  $s_x$ ). Если же оценке подлежит биномиальное и пуассоновское –  $\nu = k - 2$  (с учетом двух ограничений свободы вариации  $n$  и  $s_x^2$  или  $\bar{x}$ ). В других случаях число степеней свободы устанавливают особо (см. ниже). В наиболее

типичных случаях применения критерия соответствия число степеней свободы определяют по формуле  $v=(c-1)(k-1)$ , где  $c$  – число строк в анализируемой таблице,  $k$  – число столбцов.

Критерий  $\chi^2$  чаще всего используется для:

- проверки нормальности эмпирического вариационного ряда или принадлежности его к другому типу распределения;
- сопоставления двух эмпирических рядов при сравнении одноименных признаков в двух выборках.
- установления наследования признаков оценки путем оценки соответствия расщепления в гибридных комбинациях ожидаемым в соответствии с наследованием;
- оценки степени различия во влиянии агроприемов, выполненных на различных фонах;
- оценки сходства между вариационными рядами.

Оценка достоверности различия расхождения эмпирических и теоретических данных производится по общему правилу оценки нуль-гипотез ( $H_0$ ). Нулевая гипотеза сводится к предположению, что различия, наблюдаемые между эмпирическими и вычисленными или ожидаемыми частотами, носят исключительно случайный характер. Для проверки нулевой гипотезы нужно фактически полученную величину  $\chi_{\text{факт.}}^2$  сравнить с ее критическим значением  $\chi_{\text{ст.}}^2$ . Если  $\chi_{\text{факт.}}^2 \geq \chi_{\text{теор.}}^2$ , различие считается существенным и нуль-гипотеза отвергается на принятом уровне значимости с числом степеней свободы  $k$ . Если  $\chi_{\text{факт.}}^2 < \chi_{\text{теор.}}^2$ , нулевая гипотеза не отвергается. При полном совпадении фактических и теоретических ожидаемых частот  $\chi^2 = 0$ . Критические значения  $\chi_{\text{ст.}}^2$  определяют с помощью специальной таблицы (прил. 11) или используя функцию «ХИ2ОБР(вероятность;степени\_свободы)» например «=ХИ2ОБР(0,01;5)» в ячейке выводится результат 18,30704.

*Пример.* Вновь обратимся к примеру с длиной 15-ти дневных проростков риса. В таблице 23 приведены результаты измерений 100 проростков ( $N=100$ ). Исходные данные группируются (техника описана выше) и вычисляются необходимые параметры. Анализируемый вариационный ряд характеризуется следующими показателями: классовый интервал  $i=1,0$  см, среднее  $\bar{x}=7,338$  см, среднее квадратическое (стандартное) отклонение  $\sigma_x=1,232$  см. В таблице 34 приведены эмпирические и вычисленные по нормальному закону частоты распределения длины ростка у 100 15-ти дневных проростков риса. Техника расчета теоретических частот распределения приведена в таблице 28.

Из приведенных данных видно, что между эмпирическими и вычисленными частотами нет полного совпадения. Нужно установить, случайны или закономерны эти различия, т. е. выяснить, является это распределение нормальным; точнее, – следует ли оно закону нормального распределения. Прежде всего, объединим частоту последнего малочисленного класса с предшествующим. Выполним несложные рас-

четы, находим –  $\chi_{\text{фак}}^2 = 2,968$ . Для нахождения  $\chi_{\text{ст}}^2$  необходимо определить число степеней свободы, которое для нормального распределения составляет число вторичных ( $k$ ) классов минус 3:  $\nu = k - 3 = 5 - 3 = 2$ . Находим  $\chi_{\text{ст}}^2$  для выбранного уровня значимости и числа степеней свободы –  $P = 0,01$  и  $\nu = 2$   $\chi_{\text{ст}}^2 = 9,210$  (прил. 11 или функция «ХИ2ОБР»). Эта величина превышает  $\chi_{\text{фак}}^2 = 2,968$  ( $\chi_{\text{ст}}^2 > \chi_{\text{фак}}^2$ ). Следовательно,  $H_0$ -гипотеза подтверждается, т. е. существуют достаточные основания для утверждения, что данное распределение следует закону нормального распределения.

Таблица 34 – Техника расчета критерия  $\chi^2$

Частоты		Частоты после объединения малочисленных классов		$d = f - f'$	$d^2$	$\chi^2 = \sum \frac{(f - f')^2}{f'} = \sum \frac{d^2}{f'}$
эмпирические $f$	вычисленные $f'$	эмпирические $f$	вычисленные $f'$			
3	2,300					
12	10,671	15	12,971	2,029	4,117	0,317
27	25,697	27	25,697	1,303	1,698	0,066
32	32,110	32	32,110	-0,11	0,012	0,000
15	20,817	15	20,817	-5,817	33,837	1,625
9	7,003	11	8,195	2,805	7,868	0,960
2	1,192					
$\Sigma =$	$\Sigma =$	100	99,790	–	–	$\chi_{\text{фак}}^2 = \Sigma = 2,968$
100	99,790					

Для сравнения двух распределений в программе Microsoft Excel следует воспользоваться функцией «ХИ2ТЕСТ(фактический\_интервал;ожидаемый\_интервал)». В столбце А располагаем эмпирические частоты классов, в столбце В – вычисленные частоты классов. В пустую ячейку вводим функцию «= ХИ2ТЕСТ(А3:А7;В3:В7)»<sup>15</sup>. Функция возвращает тест на независимость: значение распределения  $\chi^2$  для статистического распределения и соответствующего числа степеней свободы – 0,563 (рис. 80).

От вероятности можно перейти к  $\chi^2$ . Для этого используем функцию «ХИ2ОБР(вероятность;степени\_свободы). В другую ячейку вводим «= ХИ2ОБР(вероятность;степени\_свободы)», где вероятность – это вычисленная вероятность теста на независимость (0,563), а число степеней свободы – число классов? уменьшенное на 1 ( $\nu = k - 1 = 5 - 1 = 4$ ). Эта функция возвращает значение  $\chi^2$  ( $\chi^2$ -статистика) –  $\chi_{\text{фак}}^2 = 2,969$ .  $\chi_{\text{фак}}^2 < \chi_{\text{ст}}^2$ , следовательно,  $H_0$ -гипотеза не отвергается.

<sup>15</sup> Напоминаем: в Excel 2007 и Excel 2010 выбираем последовательно «Формулы\Вставить функцию»

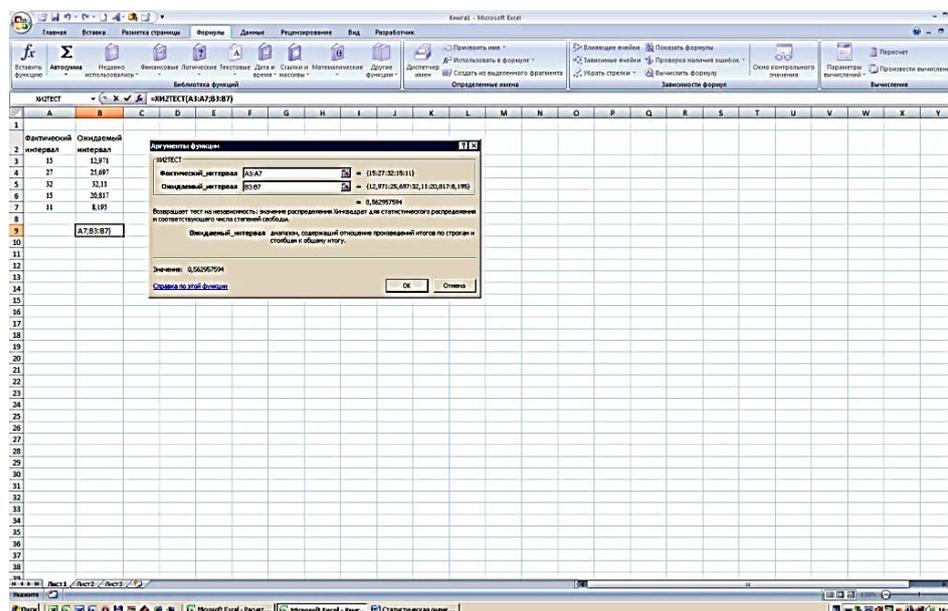


Рис. 80. Вид экрана монитора

*Пример.* Проанализируем классический опыт Г. Менделя. При скрещивании гороха с желтыми и зелеными семенами получено 700 растений, из которых 544 имели желтые семена и 156 зеленые. Предположим, что признак контролируется 1 геном, тогда в соответствии с первым законом Менделя соотношение растений с желтыми и зелеными семенами должно составить 3:1.  $H_0$ -гипотеза формулируется следующим образом: если признак контролируется 1 геном, то достоверных различий между эмпирическим и теоретическим распределением нет.  $H_0$ -гипотеза отвергается при  $\chi^2_{\text{фак}} > \chi^2_{\text{ст}}$ . Пересчитав соотношение на численность, получим, что теоретическое соотношение должно составить 525 растений с желтыми семенами и 175 с зелеными. Заполним вспомогательную таблицу 35. При числе степеней свободы  $\nu = k - 1 = 2 - 1 = 1$   $\chi^2_{\text{ст}} = 3,841$ .  $\chi^2_{\text{фак}} < \chi^2_{\text{ст}} = 2,75 < 3,84$ , следовательно,  $H_0$ -гипотеза не отвергается, а эмпирическое распределение соответствует теоретическому. Иначе, признак контролируется 1 геном.

Таблица 35 – Техника расчета критерия  $\chi^2$  при сравнении эмпирического распределения с теоретическим

Частоты		$d = f - f'$	$d^2$	$\chi^2 = \sum \frac{(f - f')^2}{f'} = \sum \frac{d^2}{f'}$
эмпирические $f$	теоретические $f'$			
544	525	19	361	0,687619
156	175	-19	361	2,062857
$\Sigma = 700$	$\Sigma = 700$	—	—	$\chi^2_{\text{фак}} = \Sigma = 2,75$

В агрономических исследованиях критерий  $\chi^2$  находит применение при оценке степени различия во влиянии агроприемов, выполненных на различных фонах, а также при оценке влияния фактора на распространение болезней, вредителей, проявлений негативных явлений. При этом учитываемый признак или свойство имеет альтернативную оценку: больной – здоровый, слабое – сильное, полеглый – не полеглый и т. п.

*Пример.* Обследовано 150 полей на устойчивость растений риса к пирикулярриозу, которые различались по нормам внесенных азотных удобрений. Необходимо выяснить, зависит ли распространение заболевания от обеспеченности растений азотом. Полученные данные формируются в двухпольную таблицу 36.

Таблица 36 – Зависимость распространения пирикулярриоза от уровня минерального питания

Уровень минерального питания	Число пораженных полей		Суммы ( $\Sigma$ )
	сильно	слабо	
$N_{180}P_{60}K_{30}$	$a=58$	$b=29$	$a+b=87$
$N_{90}P_{60}K_{30}$	$c=28$	$d=35$	$c+d=63$
	$a+c=86$	$b+d=64$	$N=150$

$\chi^2$  вычисляют с поправкой Йеста по формуле:

$$\chi^2 = \frac{(|ad - bc| - 0,5N)^2 N}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)} = \frac{(|58 \cdot 35 - 29 \cdot 28| - 0,5 \cdot 150)^2}{(58+29)(28+35)(58+28)(29+35)} = 6,5,$$

где:  $a, b, c, d$  – частоты,  $|ad - bc|$  – модуль разности произведений (это означает, что выражение независимо от знака получаемого при вычислении берется со знаком плюс).

Корректное использование этой формулы возможно лишь при  $N > 30$  и частоте встречаемости любого из классов не менее 5. При числе степеней свободы  $\nu = (c-1)(k-1)$ , где  $c$  – число строк в анализируемой таблице,  $k$  – число столбцов  $\nu = (2-1)(2-1) = 1$   $\chi_{st}^2 = 3,841$ .  $\chi_{фак}^2 > \chi_{st}^2 = 6,5 > 3,84$ , следовательно,  $H_0$ -гипотеза отвергается, а эмпирическое распределение не соответствует теоретическому. Иначе, распространение болезни зависит от уровня минерального питания.

Критерий  $\chi^2$  можно использовать для оценки сходства между вариационными рядами, частоты которых распределяются в границах одних и тех же классов. Если сравниваются вариационные ряды одинакового объема ( $n_1 = n_2$ ) критерий  $\chi^2$  рассчитывают по формуле:

$$\chi^2 = 4 \left( \sum \frac{f_1^2}{f_1 + f_2} \right) - N;$$

в случае, когда объемы выборок не равны ( $n_1 \neq n_2$ ),  $\chi^2$  рассчитывают по формуле:

$$\chi^2 = \frac{N^2}{n_1 n_2} \left( \sum \frac{f_1^2}{f_1 + f_2} - \frac{n_1^2}{N} \right)$$

где:  $f_1$  и  $f_2$  - частоты сравниваемых распределений;  
 $n_1 = \sum f_1$  - объем одного (любого) ряда распределения;  
 $n_2 = \sum f_2$  - объем другого ряда распределения;  
 $N = n_1 + n_2$  - число классов.

Число степеней свободы  $k$  определяют по числу классов  $N$  без единицы, т. е.  $k=N-1$ . При этом частоты, меньшие 5, не объединяют, как это принято в отношении теоретически вычисленных частот.

*Пример.* Необходимо выяснить, влияет ли крупность семян на продуктивность растений риса. Из посева семенами крупной и средней фракциями отобрано по 200 растений. Вариационные ряды сгруппированы в классы (табл. 37).

Таблица 37 – Техника расчета критерия  $\chi^2$  при сравнении распределения двух эмпирических рядов одинакового объема

Масса зерна с растения, г	Частоты		$f_1^2$	$f_1 + f_2$	$\frac{f_1^2}{f_1 + f_2}$
	$f_1$	$f_2$			
3,04	10	20	100	30	3,33
3,44	15	10	225	25	9,00
3,84	17	20	289	37	7,81
4,24	20	18	400	38	10,53
4,64	16	23	256	39	6,56
5,04	25	22	625	47	13,30
5,44	26	32	676	58	11,66
5,84	22	17	484	39	12,41
6,24	22	25	484	47	10,30
6,64	18	11	324	29	11,17
7,04	9	2	81	11	7,36
Сумма	200	200	–	–	103,43

Критерий  $\chi^2$  рассчитываем по формуле:

$$\chi^2 = 4 \left( \sum \frac{f_1^2}{f_1 + f_2} \right) - N = 4 \cdot 103,43 - 400 = 13,72$$

$\chi_{st}^2 = 18,31$  при  $v=k-1=11-1=10$  и  $P=0,05$ .  $\chi_{фак}^2 < \chi_{st}^2 = 13,73 < 18,31$ .

Следовательно,  $H_0$ -гипотеза не отвергается, а значит, продуктивность растений риса не зависит от крупности семян используемых для посева.

Если же выборки были разновеликими, то техника расчета несколько изменяется (табл. 38).

Таблица 38 – Техника расчета критерия  $\chi^2$  при сравнении распределения двух эмпирических рядов разного объема

Масса зерна с растения, г	Частоты		$f_1^2$	$f_1+f_2$	$\frac{f_1^2}{f_1+f_2}$
	$f_1$	$f_2$			
3,04	10	0	100	10	10,00
3,44	15	6	225	21	10,71
3,84	17	10	289	27	10,70
4,24	20	9	400	29	13,79
4,64	16	16	256	32	8,00
5,04	25	15	625	40	15,63
5,44	26	17	676	43	15,72
5,84	22	10	484	32	15,13
6,24	22	9	484	31	15,61
6,64	18	8	324	26	12,46
7,04	9	0	81	9	9,00
Сумма	$n_1=200$	$n_2=100$	–	$N=300$	136,75

Критерий  $\chi^2$  рассчитываем по формуле:

$$\chi^2 = \frac{N^2}{n_1 n_2} \left( \sum \frac{f_1^2}{f_1 + f_2} - \frac{n_1^2}{N} \right) = \frac{300^2}{200 \cdot 100} \left( 136,75 - \frac{200^2}{300} \right) = 15,38.$$

$$\chi_{st}^2 = 15,38 \text{ при } v = k - 1 = 11 - 1 = 10 \text{ и } P = 0,05. \chi_{фак}^2 < \chi_{st}^2 = 15,38 < 18,31.$$

Следовательно,  $H_0$ -гипотеза не отвергается, а значит, продуктивность растений риса не зависит от крупности семян используемых для посева.

Распределение  $\chi^2$ , как и t-распределение, является частным случаем  $F$ -распределения при  $v_1$  и  $v_2$ :

$$F(v_1, v_2 = \infty) = \frac{\chi^2}{V}.$$

**Критерий  $\lambda$**  (критерий Колмогорова и Смирнова, критерий лямбда). Разработан А.Н Колмогоровым и Н.В. Смирновым. Так же, как и критерий- $\chi^2$ , служит для сравнения эмпирических и ожидаемых частот распределений. Однако в отличие от него использует накопленные (кумулятивные) частоты.  $\lambda$ -критерий применим к выборкам любого объема и частоты классов (не требует объединения классов с частотой  $f < 5$ ). Этот критерий имеет всего три, независимых от числа степеней свободы, критических значения:  $\lambda_{05} = 1,36$ ,  $\lambda_{01} = 1,63$  и  $\lambda_{001} = 1,95$ . Если полученное эмпирическое значение  $\lambda$  меньше критического, то различия между сравниваемыми рядами признается достоверным с вероятностью  $P > 0,95$ ,  $P > 0,99$  и  $P > 0,999$  соответственно. Критерий  $\lambda$  рассчитывают по формуле:

$$\lambda = D_{\max} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}},$$

где:  $D_{\max}$  – максимальная разность между накопленными частотами;  
 $n_1$  и  $n_2$  – объемы выборок.

*Пример.* Возьмем предыдущий пример с крупностью семян. Вычислим ряды накопленных частот. Находим максимальную (по абсолютной величине) разность накопленных частот (табл. 39).

Таблица 39 – Техника расчета критерия  $\lambda$  при сравнении распределения двух эмпирических рядов разного объема

Частоты		Кумулятивные частоты		$\sum f_{i(1)}$	$\sum f_{i(2)}$	$\left  \frac{\sum f_{i(1)}}{n_1} - \frac{\sum f_{i(2)}}{n_2} \right $
$f_1$	$f_2$	$\Sigma f_{i(1)}$	$\Sigma f_{i(2)}$	$n_1$	$n_2$	
10	0	10	0	0,050	0,000	0,050
15	6	25	6	0,125	0,060	0,065
17	10	42	16	0,210	0,160	0,050
20	9	62	25	0,310	0,250	0,060
16	16	78	41	0,390	0,410	-0,020
25	15	103	56	0,515	0,560	-0,045
26	17	129	73	0,645	0,730	-0,085 $D_{\max}=0,085$
22	10	151	83	0,755	0,830	-0,075
22	9	173	92	0,865	0,920	-0,055
18	8	191	100	0,955	1,000	-0,045
9	0	200	100	1,000	1,000	0,000
$n_1=200$	$n_2=100$					

$$\lambda = D_{\max} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} = 0,085 \sqrt{\frac{200 \cdot 100}{200 + 100}} = 0,69$$

$\lambda_{\text{фак}} < \{\lambda_{0,5}, \lambda_{0,1}, \lambda_{0,01}\} = 0,69 < \{1,36, 1, 63, 1,95\}$ . Следовательно,  $H_0$ -гипотеза не отвергается, т. е. различий между рядами распределений нет, что свидетельствует о зависимости продуктивности растений от крупности посевного материала.

## 5.6. Корреляция и регрессия

*Чистая математика – это такой предмет, где мы не знаем, о чем мы говорим, и не знаем, истинно ли то, что мы говорим.*

### Б. Рассел

*Изучение вариации не сводится только к простому измерению ее размера, но включает в себя и проблемы качественного характера, относящиеся к типам и формам изменчивости. Большое значение имеет учение о совместной вариации двух или большего числа переменных. Это учение, возникшее из работ Гальтона и Пирсона, известно под названием теории корреляции, но его следовало бы более точно назвать учением со сопряженной вариации.*

### Р.А. Фишер

*Корреляция.* Все в природе взаимосвязано, изменение одной переменной (фактора, свойства, события и т. п.) неизбежно вызывает изменение других. Статистики обозначают их как независимая (аргумент) и зависимая (функция) переменные. Между переменными может существовать более

точная, или *функциональная*, связь, когда одному значению аргумента (X) соответствует одно определенное значение функции (Y), и менее точная – *корреляционная* связь, когда одному конкретному значению аргумента соответствует приближенное значение, или некоторое множество значений функции, в той или иной степени близких друг к другу.

*Корреляция*<sup>16</sup> – это тенденция двух переменных к определенно выраженной зависимости между ними. Фактически связь может распространяться и на большее число переменных. *Корреляционная связь* – это согласованное изменение двух переменных, отражающее тот факт, что изменчивость одной из них находится в соответствии с изменчивостью другой.

В руководствах по статистическому анализу присутствуют два термина: корреляционная связь и корреляционная зависимость. *Корреляционная связь* – это вероятностные изменения, которые можно изучать только на представительных выборках методами математической статистики. *Корреляционная зависимость* – это изменения, которые вносят значения одного признака в вероятность появления разных значений другого признака. Оба эти термина часто используются как синонимы. Зависимость подразумевает влияние, связь – любые согласованные изменения, которые могут объясняться сотнями причин.

Корреляционная связь проявляется лишь в среднем, в массе случаев, т. е. ее можно установить при массовых наблюдениях. При корреляционной связи каждому значению аргумента соответствуют случайно распределенные в некотором интервале значения функции (зависимой переменной). Это обусловлено сложностью взаимосвязей между анализируемыми переменными, на взаимодействие которых влияют, наряду с факторным признаком (независимая переменная), неучтенные факторы. Эти неучтенные факторы влияют на зависимую переменную с различной силой и в разных направлениях. Например, при изучении влияния удобрений на урожайность, низкие температуры замедляют рост растений и потребление, в частности, азота, а оптимальное обеспечение влагой, наоборот, увеличивает. В силу этого прибавки урожая при одинаковых дозах удобрений на разных полях будут различные, т. к. одновременно с дозой удобрения на формиро-

---

<sup>16</sup> Корреляция [лат. *correlatio*] – 1) соотношение, соответствие, взаимосвязь, взаимозависимость предметов, явлений или понятий; 2) в математической статистике – понятие, которым отмечают связь между явлениями, если одно из них входит в число причин, определяющих другие, или если имеются общие причины, воздействующие на эти явления (функция является частным случаем корреляции); 3) биол. взаимная приспособленность, согласованность строения и функций различных частей (клеток, тканей, органов) животного или растения, обеспечивающая поддержание постоянства его внутренней среды и приспособление организмов к условиям обитания (Современный словарь иностранных слов. – СПб.; «Дуэт», 1994. – 752 с., С. 313).

Термин «корреляция» впервые применил французский палеонтолог Ж. Кювье, который вывел «закон корреляции частей и органов животных» (этот закон позволяет восстанавливать по найденным частям тела облик всего животного). В статистику этот термин ввел в 1886 г. английский биолог и статистик Френсис Гальтон (не просто связь – *relation*, а «как бы связь» – *co-relation*). Формулу для подсчета коэффициента корреляции разработал его ученик -- математик и биолог – Карл Пирсон (1857–1936). (Источник: [http://forexaw.com/TERMs/Economic\\_terms\\_and\\_concepts/...](http://forexaw.com/TERMs/Economic_terms_and_concepts/...)).

вание урожая влияют погода, плодородие почвы, ее физико-химические свойства и т. д. Проявление корреляционных (стохастических) связей подвержено действию закона больших чисел, т. к. только в достаточно большой выборке индивидуальные особенности нивелируются, и зависимость, если она имеет существенную силу, проявится достаточно отчетливо.

В агрономических и, в частности, агрохимических исследованиях встречаются главным образом корреляционные (стохастические, т. е. вероятностные) зависимости, обнаруживаемые лишь при массовом изучении признаков. Например, отсутствие осадков – ведет к снижению урожайности, а внесение оптимальных доз удобрений – к ее повышению; при увеличении возраста растений – повышается их масса, но снижается содержание азота в листьях.

Корреляционные связи различаются по форме, направлению и степени (силе). По форме корреляционная связь может быть *линейной* или *криволинейной* (не линейной). При *линейной* зависимости изменение независимой переменной на одинаковую величину сопровождается изменением зависимой переменной на определенную одинаковую величину. При *криволинейной* зависимости при приращении значения независимой переменной на одинаковую величину – зависимая переменная изменяется на различную величину. Криволинейная зависимость у биологических объектов встречается чаще линейной. Например, увеличение доз азота в интервале от «0» до «оптимума» сопровождается ростом урожайности, причем, чем ближе к нему, тем в меньшей степени; увеличение доз выше оптимальных вызывает снижение урожайности, тем значительнее, чем выше доза. Из этого примера видно, что линейная зависимость может быть лишь в определенном диапазоне значений.

По направлению корреляция бывает прямой («положительной») и обратной («отрицательной»). *Прямой* называют корреляционную зависимость, при которой увеличение значения независимой переменной сопровождается увеличением значения зависимой, *обратной* – когда увеличение (уменьшение) значения зависимой переменной сопровождается уменьшением (увеличением) зависимой переменной.

Форму и направление корреляционной связи можно определить, не прибегая к математическим вычислениям. Для этого достаточно просто тщательно рассмотреть изменчивость переменных, а еще лучше построить график. Значения независимой переменной располагают по оси абсцисс, а зависимой – ординат (рис. 81).

Для ответа на вопрос о степени (тесноты) связи между двумя переменными требуется определенное ее измерение. Для этого используют коэффициент корреляции, обозначаемый символом  $r$ . Степень (сила, теснота) корреляционной связи определяется абсолютной величиной коэффициента корреляции, т. е. она не зависит от знака («+» или «-»), который указывает на ее направленность. Значение коэффициента корреляции ( $r$ ) изменяется в интервале от  $-1$  до  $+1$ , при этом максимальное абсолютное его значение  $r=1,00$ ; минимальное  $r=0,00$ . Принято считать, что при  $r>0,70$  корреляционная зависимость *сильная (тесная)*, при  $0,50\leq r<0,70$  – средняя;  $0,30\leq r<0,5$  – умеренная; при  $r<0,3$  – слабая. Если  $r=-1$  или  $r=+1$  – связь между переменными функциональная. Следовательно, для установления степени корреляционной связи ее необходимо измерить, т. е. вычислить коэффициент корреляции.

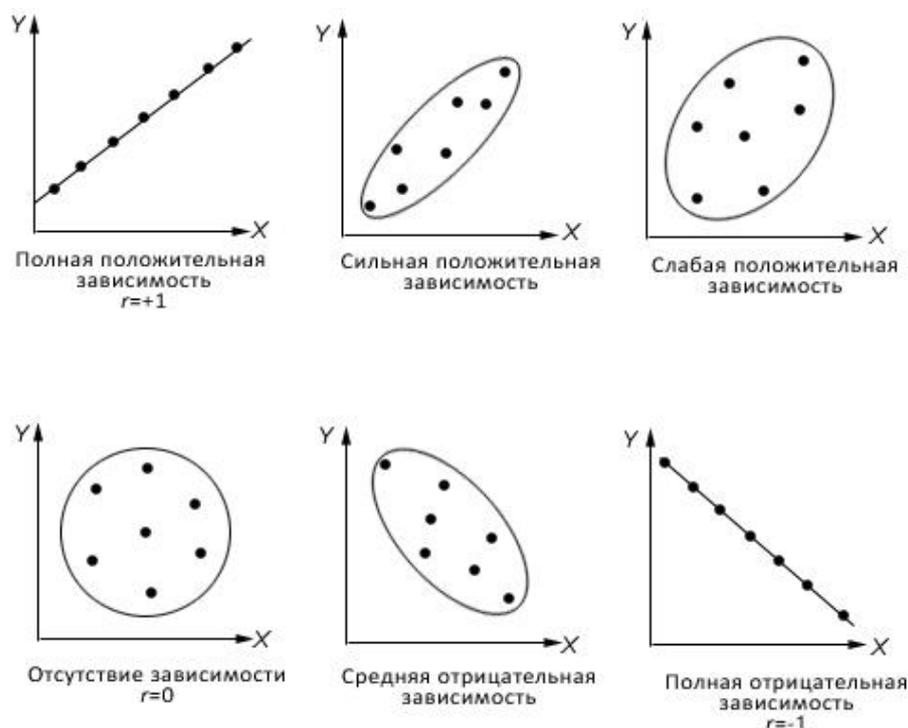


Рис. 81. Точечные диаграммы различной корреляционной зависимости

В зависимости от числа взаимодействующих факторов различают *парную* зависимость (характеризует связь двух переменных) и *множественную* (характеризует связь трех и более переменных). Корреляция между двумя переменными независимо от любых других переменных, варьирующих одновременно с рассматриваемыми, называется *парной (простой или общей)* корреляцией. Корреляция между двумя переменными, когда одна или большее число других переменных удерживаются на постоянном уровне, называется *частной* корреляцией. Объединенная связь одной переменной с двумя или большим числом других переменных, варьирующих одновременно, называется *множественной* корреляцией.

Рассмотренными выше классификационными признаками оперирует статистика. Кроме обозначенных классификаций, связи переменных разделяют на *непосредственные, косвенные и ложные*. Если связь непосредственная, переменные взаимодействуют непосредственно, косвенные – связь определяет третья переменная, которая опосредованно влияет на зависимую переменную; ложная – формальная связь, подтверждена только количественными оценками и не имеет качественной основы, т. е. бессмысленна с точки зрения основных законов развития, в частности, биологических систем (растение, агроценоз).

Общепринято рассматривать одну из переменных зависимой от другой. Какую переменную назвать зависимой и какую независимой, обычно

не вызывает сомнений. Например, при изучении связи урожайности с удобрениями будет логичным рассмотреть зависимость урожайности от удобрений. В отношении связи нормы высева семян и густоты стояния растений в агроценозе зависимой переменной будет последняя. При анализе динамики, например, содержания азота в растениях в онтогенезе независимой переменной является дата измерения. Если измерение одной переменной и соответствующее измерение другой переменной разделяет промежуток времени, то переменная, измеренная первой, называется независимой переменной. Такая ситуация возникает при оценке зависимости урожайности от количества осадков, озерненности колоса от его длины (в процессе органогенеза длина колоса формируется раньше, чем зерновки). Из этого следует, что для правильного определения зависимой переменной необходимо знать биологические, физиологические, биохимические и другие закономерности роста и развития растений (свойств, процессов). Хотя иногда существенно-го значения определение независимой и зависимой переменной не имеет.

*Регрессия.* Термин «регрессия» и образованные от него «коэффициент регрессии», «регрессионный анализ» и другие всегда встречаются рядом с «корреляцией». «Регрессия» – это одно из тех неудачных выражений (как, например, термин «ошибка»), которые претерпели эволюцию, и их настоящее значение имеет малое сходство с первоначальным<sup>17</sup> (Литтл Т. Хиллз Ф., 1981). В математической статистике регрессия – это количественное изменение одной переменной, приходящееся на единицу изменения другой. Иначе, под регрессией понимается изменение зависимой переменной  $Y$  (функции) при определенном изменении одной или нескольких независимых переменных  $X$  (аргументов), т. е. изменение результирующего признака  $Y$  (функции) при определенном изменении одного или нескольких факториальных (аргументов). Связь между функцией и аргументом выражается *уравнением регрессии* или *корреляционным уравнением*. При простой регрессии уравнение кратко обозначается  $Y=f(x)$  и при множественной  $Y=f(X, Z, V \dots)$ .

Итак, сформулируем главное различие между корреляцией и регрессией. Корреляция указывает на факт наличия связи и степень ее близости между двумя или несколькими переменными. Корреляционные связи не могут рассматриваться как свидетельство причинно-следственной зависимости, они свидетельствуют лишь о том, что изменениям одного признака, как правило, сопутствуют определенные изменения другого. Регрессия определяет природу этой связи. Если степень связи между признаками велика, то по уравнению регрессии можно предсказать значение результирующего признака для определенных значений факториальных признаков.

---

<sup>17</sup> *Регрессия* [лат. regressio] – движение назад. Введен в науку выдающимся английским естествоиспытателем Френсисом Гальтоном. Изучая зависимость роста сыновей от роста отцов, он установил, что высокие отцы имеют высоких сыновей. Однако средний рост сыновей у группы высоких отцов меньше, чем рост этих отцов, т. е. имеет место *регрессия*, или тенденция возврата роста сыновей к среднему росту всех мужчин. На основании этих исследований Ф. Гальтон сформулировал «Закон универсальной регрессии», который гласит «Каждая особенность человека находит свое частичное выражение и у его кровных родственников, но в *среднем* в меньшей степени».

## 5.7. Корреляционный и регрессионный анализ

*Для того чтобы научиться грамотно применять методы статистики, более или менее свободно ориентироваться в их многообразии и уметь при решении каждой конкретной биологической задачи подобрать наиболее подходящий показатель, способ расчета, критерий и т. д., необходимо систематическое ознакомление с предметом.*

**В.Ю. Урбах**

*Знание – главная мысль, руководящая действием, действие – это то над чем работает знание; знание – начало действия, действие – завершение знания.*

**Ван Шоужэнь**

Это группа статистических методов, направленная на выявление и математическое представление структурных зависимостей между выборками. Они приобретают все большее значение в современных исследованиях по биологии и агрономии. Выбор метода определяется имеющимися данными и поставленной целью. В связи с корреляционным или регрессионным анализом различают две модели данных. Модель I – X имеет фиксированные значения, модель II – значения X распределяются случайно или подвержены ошибке.

Данные, полученные в эксперименте, в котором исследуется несколько уровней некоторого фактора, повторяя каждый уровень несколько раз, относятся к модели I. Например, опыт по изучению эффективности возрастающих доз азотных удобрений, проведенный методом рендомизированных повторений. Наибольший интерес в этом опыте представляет не установление тесноты связи доз удобрений и урожайности, а количественное изменение результативного признака (Y) в связи с изменением уровня фактора (X), т. е. – регрессия. Коэффициент корреляции ( $r$ ) в данном случае малоинтересен. Однако квадрат этого коэффициента ( $r^2$ ), известный под названием «коэффициент детерминации», дает информацию о доли общей суммы квадратов фактора, приходящейся на регрессию.

При анализе данных, относящихся к модели II (нормальное двумерное распределение, когда ни одна из переменных не может быть обозначена зависимой от другой), прежде всего, вычисляют коэффициент корреляции для установления степени связи двух переменных. Определение величины одной переменной на основе другой (уравнение регрессии) не представляет большого интереса. В качестве примера можно привести связь высоты растений и длины метелки, длины метелки и числа колосков в ней, количества листьев на растении и площади ассимиляционной поверхности агроценоза и т. п. Вычисленный коэффициент корреляции будет представлять геометрическую среднюю двух коэффициентов регрессии, получаемых из уравнений.

В практике биологических и сельскохозяйственных исследований чаще всего корреляционный и регрессионный анализ используются одновременно, хотя при описании связи между переменными наибольший инте-

рес представляют хорошо обоснованные уравнения регрессии, т. е. насколько близко предсказанные значения соответствуют наблюдаемым; с этой целью вычисляют коэффициент детерминации (квадрат коэффициента корреляции). Объединение этих методов в корреляционно-регрессионный анализ целесообразно, т. к. их объединяет ряд общих вычислительных процедур и при интерпретации результатов они дополняют друг друга.

Совместное применение методов корреляции, регрессии и дисперсионного анализа для уточнения эксперимента получило название *ковариационного анализа*. Слово ковариация составлено из начальных букв слов корреляция и вариация. Суть ковариационного анализа сводится к следующему. Если между результативным признаком  $Y$  и сопутствующим эксперименту не изучаемым признаком  $X$  имеет место значимая линейная связь, то методом ковариации можно статистически выровнять условия проведения опыта в отношении признака  $X$  и тем заметно снизить ошибку эксперимента и получить больше информации об изучаемом явлении (Доспехов Б.А., 1985).

### 5.7.1. Линейная корреляция и регрессия

*Сам по себе факт – ничто; он приобретает ценность лишь благодаря идее, с которой связан, или в силу доказательства, ему обязанного.*

**К. Бернар**

*Корреляционный анализ дает возможность получить общее представление о наличии взаимно связанной вариации у признаков и степени тесноты этой связи. Для решения некоторых задач этого бывает вполне достаточно, однако в значительном числе случаев корреляционный анализ может рассматриваться как первый этап в изучении взаимной изменчивости признаков. Следующим этапом является определение количественной зависимости между значениями переменных, осуществляемое с помощью регрессионного анализа.*

**Е.А. Дмитриев**

Под линейной (прямолинейной) корреляционной связью между двумя переменными  $X$  и  $Y$  понимают такую зависимость, которая носит линейный характер и выражается уравнением прямой линии  $Y=a+bX$ .

Корреляция изучается на основании экспериментальных данных, представляющих собой измеренные значения ( $X_i, Y_i$ ) двух признаков. Если выборка небольшая, то данные записывают в виде двойного ряда значений  $X_i$  и  $Y_i$ . Корреляционная зависимость может быть выражена графиком (корреляционное поле), таблицей (корреляционная решетка), уравнением регрессии.

Напомним, что о форме, направлении и тесноте корреляционной зависимости делают заключение по коэффициенту корреляции. Наибольшее распространение в практике биологических и агрономических исследований получили два метода его расчета: сокращенный и стандартный.

*Сокращенный метод.* Коэффициент линейной корреляции, рассчитанный таким способом, известен под названием *коэффициента ранговой*

корреляции Спирмана и применяется для расчета ранговых различий. Рассчитывается по формуле:

$$r = 1 - \left[ \frac{6 \sum d^2}{n(n-1)(n+1)} \right],$$

где:  $n$  – число пар наблюдений;  
 $d$  – разность между рангами.

Этот метод отличается простотой, но имеет серьезные недостатки. В связи с этим целесообразно его использование только для получения приближенной оценки коэффициента корреляции.

*Пример.* На протяжении 10 лет определялась урожайность и содержание в зерне белка (табл. 40). Необходимо установить связь между этими признаками.

Таблица 40 – Взаимосвязь урожайности и содержания белка в зерне

Год	Урожайность (X)	Содержание белка (Y)	Ранг урожайности	Ранг содержания белка	Разность между рангами (d)	$d^2$
1980	73	18,0	8	5	3	9
1981	79	20,0	3	3	0	0
1982	80	17,8	2	6,5	-4,5	20,25
1983	69	21,4	9	2	7	49
1984	66	21,6	10	1	9	81
1985	75	15,0	5	8	-3	9
1986	78	14,4	4	9	-5	25
1987	74	17,8	6,5	6,5	0	0
1988	74	19,6	6,5	4	2,5	6,25
1989	84	14,1	1	10	-9	81
Суммы					$\Sigma d=0$	$\Sigma d^2=280,5$

Вычисление производится в следующей последовательности:

1. Ранжируем наблюдения  $X$  и  $Y$  от наибольшего к наименьшему значению. При наличии группы одинаковых значений каждый член группы получает усредненный ранг (см. ранги 6 и 7). Ранжирование в программе Microsoft Excel можно выполнить с помощью функции «РАНГ.СП(число;ссылка;[порядок]) [например: РАНГ.СП(B7;B7:B16;0)], где B7 – ячейка электронной таблицы с числом, B7:B17 – диапазон ячеек со значениями ранжируемого ряда.

2. Вычисляем  $d$  (вычитаем значение второго из первого ранга в каждом ряду),  $d^2$  и их суммы ( $\Sigma d$  и  $\Sigma d^2$ ).  $\Sigma d$  должна быть всегда равна нулю. Этот показатель используют при проверке правильности расчетов.

3. Вычисляем коэффициент корреляции  $r$  по формуле:

$$r = 1 - \left[ \frac{6 \sum d^2}{n(n-1)(n+1)} \right] = 1 - \left[ \frac{6 \times 280,5}{10 \times 9 \times 11} \right] = 1 - 1,70 = -0,70.$$

Величина, полученная в ответе, всегда должна находиться между +1 и -1. Плюс или минус единица свидетельствует о полной корреляции,

нуль указывает на отсутствие корреляции. На основании коэффициента можно сделать следующее заключение: между урожайностью и содержанием белка в зерне существует сильная отрицательная связь, указывающая, что чем выше урожайность, тем меньше белка содержится в зерне.

*Стандартный метод.* Он известен как метод вычисления коэффициента линейной корреляции по способу произведений. Этот коэффициент корреляции получил название «коэффициент линейной корреляции Пирсона». Вычисляют по формуле:

$$r = \frac{\sum(X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{x})^2 \sum(Y - \bar{y})^2}}$$

или, минуя вычисление средних значений и отклонений:

$$r = \frac{\sum XY - [(\sum X \sum Y) : n]}{\sqrt{[\sum X^2 - (\sum X)^2 : n] [\sum Y^2 - (\sum Y)^2 : n]}}$$

где:  $X$  и  $Y$  – значение переменных;  
 $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  – среднее значение переменных;  
 $n$  – количество пар сравнений.

*Пример.* Вычислим коэффициент корреляции в описанном ранее примере (табл. 41).

Таблица 41 – Взаимосвязь урожайности и содержания белка в зерне

Год	Урожайность, ц/га (X)	Содержание белка, % (Y)	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1980	73	18	5329,00	324,00	1314,00
1981	79	20	6241,00	400,00	1580,00
1982	80	17,8	6400,00	316,84	1424,00
1983	69	21,4	4761,00	457,96	1476,60
1984	66	21,6	4356,00	466,56	1425,60
1985	75	15	5625,00	225,00	1125,00
1986	78	14,4	6084,00	207,36	1123,20
1987	74	17,8	5476,00	316,84	1317,20
1988	74	19,6	5476,00	384,16	1450,40
1989	84	14,1	7056,00	198,81	1184,40
Суммы	752,0	179,7	56804,00	3297,53	13420,4
Среднее	75,2	17,97			

$$r = \frac{\sum XY - [(\sum X \sum Y) : n]}{\sqrt{[\sum X^2 - (\sum X)^2 : n] [\sum Y^2 - (\sum Y)^2 : n]}} =$$

$$= \frac{13420,4 - [(752,0 \times 179,7) : 10]}{\sqrt{(56804 - 752^2 : 10) \times (3297,53 - 179^2 : 10)}} = -0,707.$$

Сокращенный метод дал результат  $(-0,70)$ , очень близкий к результату стандартного метода  $(-0,707)$ . Обычно результаты двух методов не бывают столь близкими. Сокращенный метод можно использовать лишь в ситуациях, когда достаточна приблизительная оценка. Для получения более точной оценки коэффициента корреляции и проверки его существенности необходимо использовать стандартный метод.

Квадрат коэффициента корреляции называется коэффициентом детерминации. Наиболее часто встречающиеся обозначения –  $R^2$ ,  $r^2$  и  $d_{YX}$ . Согласно теории корреляций именно он измеряет степень сопряженности в вариации двух величин. Например, при  $r = 0,7$  не 70%, а только 49% изменчивости зависимой переменной  $Y$  (результативного признака) связано с изменчивостью независимой переменной  $X$  (факториального признака).

Для расчета коэффициента корреляции в Microsoft Excel используйте функции: КОРРЕЛ(массив1;массив2), PEARSON(массив1;массив2), или в пакете «Анализ данных» – Данные\Анализ данных\корреляция; коэффициента детерминации – КВПИРСОН(массив1;массив2).

*Статистическая существенность.* Определяя существенность коэффициента корреляции, мы должны найти вероятность появления такой корреляции в случайной выборке из некоррелированной совокупности. Если эта вероятность достаточно мала, то мы можем считать корреляцию существенной. Оценка существенности, т. е. насколько можно доверять оценке, проводится следующим образом. Выдвигаем гипотезу ( $H_0$  – нулевая гипотеза) об отсутствии корреляции между двумя переменными и что любое проявление связи обуславливается простой случайностью. Затем необходимо определить вероятность получения коэффициента корреляции ( $r$ ), равного или превышающего его фактическую величину, если бы нулевая гипотеза оказалась верной. Если эта вероятность равна 5%, то называем корреляцию существенной. При утверждении о реальности данной связи мы рискуем оказаться в 5 случаях из 100 неправыми. Если вероятность равна 1% или меньше, то мы называем корреляцию очень существенной и отвергаем нулевую гипотезу с риском оказаться неправыми в 1 случае из 100. Значения коэффициента корреляции для разных уровней значимости уже давно рассчитаны и сведены в таблицы, чем мы воспользуемся (табл. 42). Рассмотрев эту таблицу, легко заметить, что для доказательства значимости слабых связей необходимо 40–100, средних – 12–40 и сильных – 6–12 пар наблюдений.

Чтобы воспользоваться таблицей, необходимо определить число степеней свободы. Для корреляции оно бывает на две единицы меньше пар наблюдений. Вычитание двух единиц принято объяснять тем, что одна степень свободы теряется при вычислении средней, а другая – при расчете регрессии. Для 8 степеней свободы вероятность случайного получения коэффициента корреляции, равного  $-0,707$ , находится в промежутке между 1 и 5%. Следовательно, корреляция существенная.

Для оценки существенности можно воспользоваться таблицей значений  $t$  (табл. 43; Р.А. Фишер, 1958). Значение  $t$  вычисляем по формуле<sup>18</sup>:

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \times \sqrt{n-2},$$

где:  $n$  – число парных наблюдений на основе которых вычислен коэффициент корреляции.

$$t = \frac{-0,707}{\sqrt{1-0,4998}} \times \sqrt{10-2} = -2,828.$$

Таблица 42 – Значения коэффициента корреляции ( $r$ ) для соответствующих уровней значимости

Степени свободы ( $n-2$ )	Вероятность получения такого или большего значения (уровни значимости)			
	0,1	0,05	0,01	0,001
1	0,9879	0,9969	0,9999	1,0000
2	0,9000	0,9500	0,9900	0,9990
3	0,8054	0,8783	0,9587	0,9912
4	0,7293	0,8114	0,9172	0,9741
5	0,6694	0,7545	0,8745	0,9507
6	0,6215	0,7067	0,8343	0,9249
7	0,5822	0,6664	0,7977	0,8982
8	0,5494	0,6319	0,7646	0,8721
9	0,5214	0,6021	0,7348	0,8471
10	0,4973	0,5760	0,7079	0,8233
11	0,4762	0,5529	0,6835	0,8010
12	0,4575	0,5324	0,6614	0,7800
13	0,4409	0,5139	0,6411	0,7603
14	0,4259	0,4973	0,6226	0,7420
15	0,4124	0,4821	0,6055	0,7246
16	0,4000	0,4683	0,5897	0,7084
17	0,3887	0,4555	0,5751	0,6932
18	0,3783	0,4438	0,5614	0,6787
19	0,3687	0,4329	0,5487	0,6652
20	0,3598	0,4227	0,5368	0,6524
25	0,3233	0,3809	0,4869	0,5974
30	0,2960	0,3494	0,4487	0,5541
35	0,2746	0,3246	0,4182	0,5189
40	0,2573	0,3044	0,3932	0,4896
45	0,2428	0,2875	0,3721	0,4648
50	0,2306	0,2732	0,3541	0,4433
60	0,2108	0,2500	0,3248	0,4078
70	0,1954	0,2319	0,3017	0,3799
80	0,1829	0,2172	0,2830	0,3568
90	0,1726	0,2050	0,2673	0,3375
100	0,1638	0,1946	0,2540	0,3211

<sup>18</sup> Более удобная формула –  $t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$ .

Таблица 43 – Значение критерия  $t$ 

n	P=0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,158	0,325	0,510	0,727	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	–
2	0,142	0,289	0,445	0,617	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,599
3	0,137	0,277	0,424	0,584	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,134	0,271	0,414	0,569	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,132	0,267	0,408	0,559	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,131	0,265	0,404	0,553	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,130	0,263	0,402	0,549	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,130	0,262	0,399	0,546	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,129	0,261	0,398	0,543	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,129	0,260	0,397	0,542	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,129	0,260	0,396	0,540	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,128	0,259	0,395	0,539	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,128	0,259	0,394	0,538	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,128	0,258	0,393	0,537	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,128	0,258	0,393	0,536	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,128	0,258	0,392	0,535	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,128	0,257	0,392	0,534	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,127	0,257	0,392	0,534	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,127	0,257	0,391	0,533	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,127	0,257	0,391	0,533	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,127	0,257	0,391	0,532	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,127	0,256	0,390	0,532	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,127	0,256	0,390	0,532	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,127	0,256	0,390	0,531	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,127	0,256	0,389	0,531	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
30	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
∞	0,12566	0,25335	0,38532	0,52440	0,67449	0,84162	1,03643	1,28155	1,64485	1,95996	2,32634	2,57582	3,29053

В строке для 8 степеней свободы  $t = -2,828$  может встретиться случайно с вероятностью между 0,05 и 0,02 [ $H_0$ –гипотеза подтверждается только в 2–5 сравнениях из 100], что свидетельствует о существенности коэффициента корреляции. Установить вероятность случайного получения коэффициента корреляции  $r = -0,707$  можно в программе Microsoft Excel с помощью функции «=СТЮДЕНТ.РАСП.2X(х;степени\_свободы)», где  $x$  – критерий  $t$ , число степеней свободы –  $n-2$ . Для нашего примера «=СТЮДЕНТ.РАСП.2X(2,828;8)» функция возвращает значение  $P=0,0222$ .

Критерий существенности коэффициента корреляции ( $t$ –критерий) можно вычислить и через стандартную ошибку коэффициента корреляции по формуле  $t_r = r/s_r$ . Стандартную ошибку коэффициента корреляции определяют по формуле:

$$s_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}},$$

где:  $s_r$  – ошибка коэффициента корреляции;  
 $r$  – коэффициент корреляции;  
 $n$  – численность выборки, т. е. число пар значений, по которым вычислен выборочный коэффициент корреляции.

Для нашего примера:

$$s_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{1-(-0,707)^2}{10-2}} = 0,250.$$

$$t_r = \frac{r}{s_r} = \frac{-0,707}{0,250} = -2,828.$$

Если  $t_{\text{факт}} \geq t_{\text{теор}}$ , то корреляционная связь существенна, а когда  $t_{\text{факт}} < t_{\text{теор}}$  – несущественна. Теоретическое значение критерия  $t$  находят по таблице Стьюдента или в Microsoft Excel («=СТЮДЕНТ.ОБР.2Х(вероятность;степени\_свободы)»), принимая 5%-ный, а при более строгом подходе 1 %-ный уровень значимости, и число степеней свободы равным  $n-2$ .  $t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}} = 2,828 > 2,306$  – корреляция существенна.

Вычисляют доверительный интервал коэффициента корреляции  $r \pm t_{0,5} s_r = -0,707 \pm 2,306 \times 0,250 = -0,707 \pm 0,577$  ( $-0,130 \div 1,000$ ).

Существенность коэффициента корреляции указывает на наличие факторов, определяющих сопряженность переменных (признаков).

*Преобразование корреляции.* При малых выборках (менее 100) и значениях  $r$ , близких к  $\pm 1$ , распределение выборочных коэффициентов корреляции заведомо отличается от нормального. Поэтому для решения вопросов, связанных с использованием среднего квадратического отклонения Р. Фишер (1958) предложил преобразовать  $r$  в величину  $z$ , которая распределена нормально. Проводить преобразования необходимо при определении:

- 1) существенно ли отличается от некоторого теоретического значения наблюдаемая корреляция;
- 2) существенности отличий друг от друга двух наблюдаемых корреляций;
- 3) некоторой обобщенной оценки корреляции, когда имеется некоторое число независимых оценок ее.

Способ решения всех этих задач аналогичен тому, при помощи которого была решена задача оценки существенности отдельного коэффициента корреляции. В этом последнем случае по данному значению  $r$  определялась величина  $t$ , распределение которой известно и отражено в соответствующей таблице. Такое преобразование  $r$  привело нас к хорошо изученному распределению, позволяющему найти точное значение вероятности  $P$ . Подобно этому и  $z$ -преобразование также приводит, хотя только с известным приближением, к хорошо изученному нормальному распределению, основываясь на котором, не представляет никаких трудностей провести исследование указанных выше вопросов. Для изучения теоретических аспектов преобразования можно обратиться к книге Р. Фишера (1958).

Средняя квадратическая (стандартная) ошибка величины  $z$  вычисляется по формуле:

$$s_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}},$$

а ошибка разности  $z_1 - z_2$ :

$$s_{z_1-z_2} = \sqrt{\frac{1}{(n_1-3)} + \frac{1}{(n_2-3)}}$$

где:  $n$  – объем выборки.

Критерий значимости для  $z$  и разности  $z_1-z_2$  определяют по обычным формулам:

$$t_z = \frac{z}{s_z} \quad \text{и} \quad t_{z_1-z_2} = \frac{z_1 - z_2}{s_{z_1-z_2}}.$$

Если необходимо определить доверительный интервал, то он вычисляется на основании  $z$  величин, а затем обратным преобразованием находят соответствующие  $z_{\max}$  и  $z_{\min}$  величины  $r_{\max}$  и  $r_{\min}$ .

Переход от  $r$  к  $z$  производится по формуле  $z = 0,5 \ln \frac{1+r}{1-r}$ . В статистике такое преобразование еще называют преобразованием Фишера. Обратное преобразование делается с помощью гиперболического тангенса –  $r = th z$ . Достоверность коэффициента корреляции ( $r$ ) по  $t$ -критерию можно оценить, не проводя промежуточных вычислений по формуле:

$$t_r = \left(0,5 \ln \frac{1+r}{1-r}\right) \sqrt{n-3},$$

где:  $n$  – количество пар сравнений,  
 $r$  – коэффициент корреляции.

Для перехода от  $r$  к  $z$  и обратно используется таблица 44. Однако, в настоящее время при широком использовании вычислительной техники и наличии большого количества программ, целесообразно производить прямые вычисления. В программе Microsoft Excel вычисления производятся путем ввода в ячейку электронной таблицы функций и формул. Так, для вычисления  $z = 0,5 \ln \frac{1+r}{1-r}$  в ячейку таблицы вводим<sup>19</sup> «=0,5\*LN((1+значение\_коэффициента\_корреляции)/(1-значение\_коэффициента\_корреляции))). Для  $r=0,65$  это выглядит так: «=0,5\*LN((1+0,65)/(1-0,65)))» или при ссылке на ячейку (например, A179), в которой записано значение коэффициента корреляции, «=0,5\*LN((1+A179)/(1-A179))). Еще практичнее использовать функцию «=ФИШЕР(x)», где  $x$  – это  $r$ . Если все сделано правильно в ячейке появится результат «0,7753». Соответственно,  $r = th z$  – «=ТАНН(число)», где число это значение  $z$  [«=ТАНН(0,7753)» → «0,65»] или функция «=ФИШЕРОБР(y)», где  $y=z$ ;  $t_r = \left(0,5 \ln \frac{1+r}{1-r}\right) \sqrt{n-3}$  – «=(0,5\*LN((1+значение\_коэффициента\_корреляции)/(1-значение\_коэффициента\_корреляции)))\*корень(количество\_пар\_сравнения-3)» [«=(0,5\*LN((1+0,65)/(1-0,65)))\*корень(20-3)» → «3,1966»] или «=ФИШЕР(x)\*корень(количество\_пар\_сравнения-3)» [«=ФИШЕР(0,65)\*корень(20-3)» → «3,1966»]. Получаем  $t_r = 3,1966$ .

<sup>19</sup> кавычки в ячейку электронной таблицы не вводить, в тексте они использованы для выделения формулы.

Теоретическое значение критерия  $t$  ( $t$  критическое) находят по таблице Стьюдента или в Microsoft Excel (=СТЮДЕНТ.ОБР.2Х (вероятность; степени\_свободы), принимая 5%-ный, а при более строгом подходе 1 %-ный уровень значимости, и числе степеней свободы стремящимся к бесконечности (т. к. величина  $z$  имеет нормальное распределение).  $t_{05}=1,9600$ .  $t_{\text{факт}} \geq t_{\text{теор}}=3,1966 > 1,9600$  – корреляция существенна.

Таблица 44 – Значения  $z$ , соответствующие значениям выборочного коэффициента корреляции  $r_{xy}$  [таблица функции  $z = 0,5 \ln \frac{1+r}{1-r}$ , в Microsoft Excel функция ФИШЕР(x)]

$r_{xy}$	Сотые доли									
десятыи доли	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,0000	0,0100	0,0200	0,0300	0,0400	0,0501	0,0601	0,0701	0,0802	0,0902
0,1	0,1003	0,1105	0,1206	0,1308	0,1409	0,1511	0,1614	0,1717	0,1820	0,1923
0,2	0,2027	0,2132	0,2237	0,2342	0,2448	0,2554	0,2661	0,2769	0,2877	0,2986
0,3	0,3095	0,3206	0,3317	0,3428	0,3541	0,3654	0,3769	0,3884	0,4001	0,4118
0,4	0,4236	0,4356	0,4477	0,4599	0,4722	0,4847	0,4973	0,5101	0,5230	0,5361
0,5	0,5493	0,5627	0,5763	0,5901	0,6042	0,6184	0,6328	0,6475	0,6625	0,6777
0,6	0,6931	0,7089	0,7250	0,7414	0,7582	0,7753	0,7928	0,8107	0,8291	0,8480
0,7	0,8673	0,8872	0,9076	0,9287	0,9505	0,9730	0,9962	1,0203	1,0454	1,0714
0,8	1,0986	1,1270	1,1568	1,1881	1,2212	1,2562	1,2933	1,3331	1,3758	1,4219
0,9	1,4722	1,5275	1,5890	1,6584	1,7380	1,8318	1,9459	2,0923	2,2976	2,6467

Рассмотрим варианты использования преобразования  $r$  через  $z$ .

1. *Определение доверительных пределов для значения коэффициента корреляции в совокупности ( $\rho$ ), из которой получен выборочный коэффициент корреляции ( $r$ ).* Определим доверительный интервал для  $r=0,65$ , основанный на 20 парных наблюдениях.  $r=0,65$  соответствует  $z=0,775$  («=ФИШЕР(0,65)»).  $s_z = 1/\sqrt{(n-3)} = 1/\sqrt{(20-3)} = 0,243$ .  $t_{05}=1,96$ .  $z \pm t_{05}s_z = 0,775 \pm 1,96 \times 0,243 = 0,775 \pm 0,476$  (0,299 ÷ 1,251).<sup>20</sup> Переходим от  $z$  к  $r$ :  $0,290 \leq r \leq 0,849$ .

2. *Оценка существенности отклонения фактической (наблюденой) корреляции от некоторого теоретически ожидаемого его значения.* В выборке, состоящей из 30 параллельных учетов числа зерен в главном колосе и продуктивности растений, установлен коэффициент корреляции 0,76. Можно ли считать, что это значение совместимо с допущением, что точная корреляция изучаемых признаков равна 0,58? Формулируем  $H_0$  – разность между коэффициентами корреляции, рассчитанными по выборке и генеральной совокупности, равна нулю, т. е. различия несущественны.

Проведем преобразование  $r$  в  $z$  и найдем разность между соответствующими значениями:

<sup>20</sup> Так как  $z$  распределено почти нормально при любом размере выборки, для расчета доверительного интервала используем  $t$ -критерий для выбранного уровня значимости и числе степеней ( $n-2$ ), а именно  $t_{001}$ ,  $t_{01}$ ,  $t_{05}$  и т. д..

	<i>r</i>	<i>z</i>
Выборочное значение .....	0,76	0,996
Значение в генеральной совокупности .....	0,58	0,662
Разность .....		0,334

Определяем нормированное отклонение – делим эту разность на ошибку [ $s_z = 1/\sqrt{(n-3)}$ ], что равносильно ее умножению на  $\sqrt{n-3}=\sqrt{27}$ , в результате получим 1,736. Критическое значение  $t_{05}=1,96$  при бесконечном числе степеней свободы. Отклонение не попадает в критическую область, а следовательно, наше предположение подтверждается. Вероятность этого события 0,959 («=НОРМ.СТ.РАСП(1,736;ИСТИНА)»).

3. *Оценка существенности различия между двумя коэффициентами корреляции.* Иначе это можно сформулировать так: *Проверка гипотезы, что два выборочных значения *r* получены случайно из одной и той же совокупности или из совокупностей, имеющих одинаковую корреляцию.* В двух выборках получены коэффициенты корреляции соответственно 0,87 и 0,56, в первой из них было 9, а во второй 15 парных измерений. Можно ли считать существенным различие этих значений? Выдвигаем  $H_0$ -гипотезу: различия между коэффициентами не существенны.

Преобразуем *r* в *z* и вычисляем разность значений *z* и среднюю квадратическую ошибку этой разности, используя формулу:

$$s_{z_1-z_2} = \sqrt{\frac{1}{(n_1-3)} + \frac{1}{(n_2-3)}} = \sqrt{\frac{1}{(9-3)} + \frac{1}{(15-3)}} = \sqrt{0,250} = 0,500,$$

где в знаменателе дисперсия разности *z*, равная сумме чисел, обратных 9 и 15.

	<i>n</i>	<i>r</i>	<i>z</i>
1-я выборка .....	9	0,87	1,333
2-я выборка .....	15	0,56	0,633
Разность .....		–	0,700±0,500

Критерий значимости:

$$t_{z_1-z_2} = \frac{z_1 - z_2}{s_{z_1-z_2}} = \frac{0,700}{0,500} = 1,4,$$

его критическое значение  $t_{05}=1,96$  (число степеней свободы  $\rightarrow\infty$ ). Следовательно,  $H_0$ -гипотеза не отвергается и у нас нет никаких оснований отрицать возможность появления этих двух выборок из совокупностей, имеющих одинаковую корреляцию или они из одной совокупности.

4. *Объединение корреляций, вычисленных на основе малых выборок.* Если установлено, что несколько выборочных коэффициентов корреляции из одной совокупности или совокупностей, характеризующихся одинаковым коэффициентом корреляции ( $\rho$ ) [если такая нулевая гипотеза не будет отвергнута], то целесообразно объединить все выборочные *r* в одну общую оценку  $\rho$ , которая будет более надежной, чем любая оценка при отдельных значениях *r*. Рассмотрим пример вычисления средней корреляции между высотой растений и массой зерна у 6 сортов. Соответствующие расчеты приведены в таблице 45.

Таблица 45 – Порядок расчетов при объединении выборочных коэффициентов корреляции

Выборка	Количество парных измерений, $n$	Число степеней свободы, $n-3$	$r$	$z$	Взвешенное $z = z \times (n-3)$	Взвешенный квадрат $z^2 \times (n-3)$	Поправка	Исправленное $z$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4	1	0,929	1,651	1,651	2,726	0,063	1,588
2	13	10	0,57	0,648	6,480	4,199	0,016	0,632
3	9	6	0,455	0,491	2,946	1,446	0,024	0,467
4	6	3	-0,092	-0,092	-0,276	0,025	0,038	-0,130
5	11	8	0,123	0,124	0,992	0,123	0,019	0,105
6	14	11	0,323	0,335	3,685	1,234	0,015	0,320
Сумма	57	39			15,478	9,753	6,145	
Среднее			0,377	0,397	6,145		Исправленный средний $z=0,376$	

Преобразуем  $r$  в  $z$ . Выборки разновеликие, поэтому чтобы меньшим выборкам придать и меньший удельный вес, каждое  $z$  необходимо взвесить по количествам, обратным средним квадратам (дисперсиям):  $z^2 \times (n-3)$  [графа 7]. Среднее  $z$  находим делением суммы взвешенных значений  $z$  (равная 15,478, графа 6) на сумму весов 39:  $z=15,478:39=0,397^{21}$ .

Проверяем гипотезу, что все 6 выборочных корреляций получены из одной общей совокупности. Из суммы величин  $z^2 \times (n-3)$  вычитается поправка  $[\sum z \times (n-3)] \times (z \text{ среднее})$ :  $9,735 - [15,478 \times 0,397] = 3,608$ . Этот результат является значением  $\chi^2$ -критерия (хи-квадрат) и имеет 5 степеней свободы (на 1 меньше числа групп). Используя таблицу или функцию «=ХИ2.РАСП.ПХ(х;степени\_свободы)», находят вероятность распределения хи-квадрат  $P = 0,61$ , т. е.  $H_0$  остается не отвергнутой. Поскольку установлено, что все выборочные корреляции получены из одной совокупности, вполне уместно рассматривать их среднее значение в качестве оценки общего  $\rho$ .

Пользуясь таблицей 44 или в Microsoft Excel функция ФИШЕРОБР(х), для средней взвешенной величины  $z [0,397]$  находим соответствующую величину усредненной корреляции  $r=0,377$ . Проверку существенности корреляции и расчет доверительного интервала выполняют, используя тот же критерий существенности, который применялся ранее к оценке отдельных значений  $r$ .

<sup>21</sup> Вычисление среднего  $z$  можно проводить минуя промежуточные по формуле  $z_{\text{средн}} = \frac{[z_1 \times (n_1 - 3)] + [z_2 \times (n_2 - 3)] + \dots + [z_n \times (n_n - 3)]}{(n_1 - 3) + (n_2 - 3) + \dots + (n_n - 3)}$  в нашем примере:  $z_{\text{средн}} = \frac{[1,651 \times (4 - 3)] + [0,648 \times (13 - 3)] + \dots + [0,335 \times (14 - 3)]}{(4 - 3) + (13 - 3) + \dots + (14 - 3)} = 0,397$

При объединении корреляций, определенных по малым выборкам, наблюдаются систематические ошибки, которые имеют весьма малое значение в каждом отдельном случае, но приобретают вес, когда производится их усреднение для некоторого числа выборок. Ошибки приводят к тому, что корреляция как положительная, так и отрицательная всегда будет слегка преувеличенной. Это смещение может быть скорректировано путем вычитания из  $z$  поправки:  $\frac{\rho}{2(n-1)}$ .

Когда берется одна выборка, эта поправка не имеет никакого значения, так как она обычно мала по сравнению со средней квадратической ошибкой величины  $z$ . Например, при  $n=10$  средняя квадратическая ошибка  $z$  равна  $0,378 [1/\sqrt{(n-3)}]$ , а поправка равна  $\rho/18$ , т. е. не больше  $0,056 [1/18]$ . Однако, если  $z$  является средней из 1000 таких отдельных значений  $r$ , каждое из которых получено по выборке из 10 наблюдений, то средняя квадратическая ошибка в этом случае будет только  $0,012 [1/\sqrt{(10-3) \times 1000}]$  и поправка, которая не меняется при усреднении  $z$ , приобретает уже большой вес.

Чтобы повысить точность расчетов в нашем примере (табл. 45), следует вычислить поправку, подставив  $r=0,377$  вместо  $\rho$  (результат записан в графе 8 таблицы 45); из каждого  $z$  необходимо вычесть приблизительное значение смещения и повторить расчет среднего  $z$ . Исправленное среднее значение  $z = 0,376$ . Соответствующий коэффициент корреляции —  $r=0,359 (0,026 \div 0,621)$  на 1 % уровне значимости.

**Линия регрессии.** Вычисляя коэффициенты корреляции, можно установить, насколько связаны переменные и вероятность того, что эта связь обусловлена случайностью. Мы ничего не узнали о том, как связаны эти две переменные.

Если связь двух переменных линейная, она лучше всего описывается прямой линией, а установление количественной связи между ними сводится к построению прямой линии, лучше всего описывающей зависимость наблюдаемых данных в эксперименте. Если имеется два ряда наблюдений (измерений) двух переменных, то на графике, отражающем их зависимость, практически невозможно провести прямую линию, соединяющую все точки наблюдений (если их больше 2), всегда несколько из них будут находиться вне ее. Критерием близости точек к прямой является сумма квадратов их отклонений от средней величины переменной, которая должна быть настолько малой, насколько это возможно. Это — метод наименьших квадратов.

Задача решается составлением уравнения на основании отклонений значений анализируемых переменных ( $X$  и  $Y$ ) от их средних, наилучшим образом соответствующие линии, т. е. сумма квадратов отклонений наименьшая. Это уравнение называется уравнением линейной регрессии и имеет вид:

$$Y' = \left( \frac{\sum xy}{\sum x^2} \right) x$$

где:  $Y'$  — предсказываемое значение,  
 $x$  и  $y$  — отклонение от средних значений переменных  $X$  и  $Y$ .

Выражение  $\frac{\sum xy}{\sum x^2}$  называют коэффициентом регрессии и обозначают  $b_{yx}$ , а  $\frac{\sum xy}{\sum y^2} - b_{xy}$ <sup>22</sup>, где  $x = (X - \bar{X})$ ,  $y = (Y - \bar{Y})$ ,  $X$  и  $Y$  значение переменных,  $\bar{X}$  и  $\bar{Y}$  – среднее значение переменных. Более точно мы должны называть эти выражения как «коэффициент регрессии  $Y$  на  $X$ » и «коэффициент регрессии  $X$  на  $Y$ ». Если  $b$  не имеет подстрочного указателя, то обычно подразумевается коэффициент  $b_{yx}$ . Коэффициент регрессии  $b_{yx}$  показывает, как изменяется  $Y$  при изменении  $X$  на единицу измерения, и выражается в единицах  $Y$ , а  $b_{xy}$  – как изменяется  $X$  при изменении  $Y$  и выражается в единицах  $X$ . Коэффициент регрессии может быть как положительным, так и отрицательным числом. Произведение коэффициентов регрессии равно квадрату коэффициента корреляции:  $b_{yx}b_{xy} = r^2$ . Это равенство открывает связь между коэффициентами регрессии и коэффициентом корреляции.

Какую регрессию вычислять, – решает экспериментатор, руководствуясь знаниями биологии изучаемых объектов. Например, не имеет смысла вычислять зависимость количества осадков от урожайности, урожайности кукурузы от количества осадков в ноябре, или количества колосков в колосе от количества зерен, т. к. они лишены смысла.

Если уравнение  $Y' = \left(\frac{\sum xy}{\sum x^2}\right)x$  записать с помощью символов фактических наблюдений вместо символов отклонений от средних, получаем  $Y' - \bar{Y} = b(X - \bar{X})$ , после преобразования оно приобретает вид  $Y' = (\bar{Y} - b\bar{X}) + bX$ . Если  $\bar{Y} - b\bar{X}$  обозначить через  $a$ , то уравнение примет вид  $Y' = a + bX$ , что и есть уравнение прямой линии. Параметр  $a$  – ордината линии, когда  $X=0$ , т. е. это общее начало отсчета. Часто величина  $a$  лишена логического смысла. Когда линия регрессии пересекает ось  $Y$  ниже нуля, то величина  $a$  отрицательная. Наклон уравнения прямой линии к оси абсцисс определяется величиной коэффициента регрессии.

Таким образом, *коэффициентом линейной регрессии называется число, показывающее в каком направлении и на какую величину изменяется в среднем признак  $Y$  (функция) при изменении признака  $X$  (аргумента) на единицу измерения*. Коэффициенты регрессии имеют знак коэффициента корреляции.

Рассмотрим порядок расчета уравнения регрессии, описывающего взаимосвязь двух переменных – продолжительности вегетационного периода и массы 1000 зерен ячменя (табл. 46). Независимая переменная – продолжительность вегетационного периода, обозначим ее  $X$ , зависимая – масса 1000 зерен ( $Y$ ).

Для составления уравнения регрессии заполним в таблице графы 1–7, выполнив простые вычисления. Теперь мы имеем все суммы, необходимые для расчета коэффициентов регрессии, детерминации и корреляции:

$$b_{yx} = \frac{\sum xy}{\sum x^2} = \frac{233,99}{794,00} = 0,2947 \text{ г};$$

<sup>22</sup> Формулы для вычисления коэффициентов регрессии можно записать и так:  $b_{yx} = \frac{\sum(X-\bar{x})(Y-\bar{y})}{\sum(X-\bar{x})^2}$  и  $b_{xy} = \frac{\sum(X-\bar{x})(Y-\bar{y})}{\sum(Y-\bar{y})^2}$ , где  $X$  и  $Y$  значение переменных,  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  – среднее значение переменных.

$$r^2 = \frac{(\sum xy)^2}{\sum x^2 \sum y^2} = \frac{233,99^2}{794,00 \times 79,7854} = 0,8643;$$

$$r = \sqrt{r^2} = \sqrt{0,8643} = 0,9297.$$

Таблица 46 – Зависимость массы 1000 зерен ячменя от продолжительности вегетационного периода

Продолжительность вегетационного периода X, дни	Масса 1000 зерен Y, г	$x = (X - \bar{X})$	$y = (Y - \bar{Y})$	$xy$	$x^2$	$y^2$	$Y' = 21,6189 + 0,2947X$	$d = Y - Y'$	$d^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
92	47,50	17	3,7786	64,2362	289	14,2778	48,7313	-	1,5161
84	46,75	9	3,0286	27,2574	81	9,1724	46,3737	1,2313	0,1416
78	45,75	3	2,0286	6,0858	9	4,1152	44,6055	0,3763	1,3099
76	42,85	1	-0,8714	-0,8714	10	0,7593	44,0161	1,1445	1,3598
73	44,76	-2	1,0386	-2,0772	4	1,0787	43,1320	-	1,1661
64	41,44	-11	-2,2814	25,0954	121	5,2048	40,4797	1,6280	2,6504
58	37,00	-17	-6,7214	114,2638	289	45,1772	38,7115	0,9603	0,9222
Сумма	$\sum Y = 306,05$			$\sum xy = 233,99$	$\sum x^2 = 794$	$\sum y^2 = 79,7854$		$\sum d = 0$	$\sum d^2 = 10,8292$
Среднее	$\bar{Y} = 43,7214$								
	$\bar{X} = 75$								

Заменив в уравнении  $Y' = a + bX$  буквенные выражения на цифры, мы получим:  $Y' = a + bX = (\bar{Y} - b\bar{X}) + bX = [43,7214 - (0,2947 \times 75,0)] + 0,2947X = 21,6189 + 0,2947X$ . Таким образом, уравнение линейной регрессии, наилучшим образом описывающее зависимость массы 1000 зерен ячменя от продолжительности вегетационного периода, имеет вид  $Y' = 21,6189 + 0,2947X$ . Это означает, что начиная с массы 1000 зерен в 21,62 г, увеличение продолжительности вегетационного периода на 1 день сопровождается повышением массы 1000 зерен на 0,295 г.

Используя уравнение  $Y' = 21,6189 + 0,2947X$ , вычислим оценочные величины  $Y'$  (графа 8) и сравним их с фактическими. Сумма отклонений ( $\sum d$ ), равная нулю, служит проверкой правильности расчетов (без учета погрешностей округления). Сумма квадратов этих отклонений называется суммой квадратов отклонения от регрессии. Вычислить ее можно и по формуле  $\sum d^2 = (1 - r^2) \sum y^2$ . Вычисленная таким способом сумма квадратов  $\sum d^2 = (1 - 0,8643) \times 79,7854 = 10,8269$  незначительно отличается от приведенной в таблице – 10,8292. Разница обусловлена погрешностью округлений. Корень квадратный из выражения  $\sum d^2 / (n -$

2) называется стандартной ошибкой оценки и является мерой отклонения от линии регрессии:  $\sum d^2 / (n - 2) = \sqrt{10,8292 / (7 - 2)} = 1,4717$ .

Построить теоретическую линию регрессии можно на основе точечной диаграммы. Обычно это позволяет избежать грубых ошибок. Наносим на график точки, соответствующие каждой паре измерений, и через поле этих точек проводим прямую линию так, чтобы сумма квадратов отклонений их была минимальной (рис. 82). Пользоваться этим способом можно в том случае, когда необходимо определить лишь тенденцию зависимости переменных. Во всех других случаях необходимо на основании эмпирических значений переменных вычислить их средние значения ( $\bar{Y}$  и  $\bar{X}$ ), коэффициент регрессии  $b_{yx}$  и определять уравнение прямой линии, как это было описано выше. По уравнению находят теоретически усредненные значения  $Y_x$  для двух крайних значений ряда  $X$  ( $X_{\min}$  и  $X_{\max}$ ). Линия, проходящая через эти две точки, и будет искомым теоретической линией регрессии  $Y$  по  $X$ .

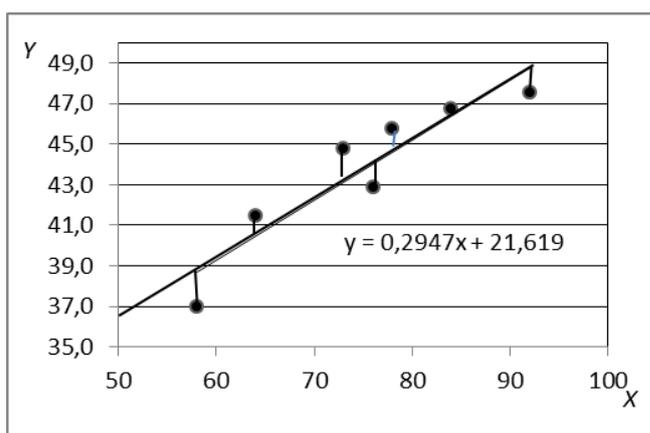


Рис. 82. Линия регрессии и отклонения от регрессии на основе данных о массе 1000 зерен и продолжительности вегетационного периода ячменя

Необходимо проверить, действительно ли связь анализируемых переменных линейная. Общая сумма квадратов отклонений  $\sum y^2$  (иначе  $\sum (Y - \bar{Y})^2$ ) включает сумму квадратов регрессии  $C_b$  и сумму квадратов отклонений от регрессии  $\sum d^2$ . Общая сумма квадратов и сумма квадратов отклонений от регрессии уже подсчитаны (табл. 46, графы 7 и 10), а для регрессии – вычисляют по их разности. Последние две суммы квадратов можно вычислить и по формулам: для регрессии –  $C_b = r^2 \sum y^2$ , отклонений от регрессии –  $\sum d^2 = (1 - r^2) \sum y^2$ . Формулируем  $H_0$ -гипотезу: между переменными  $X$  и  $Y$  отсутствует линейная зависимость, и проверяем эту гипотезу, используя  $F$ -критерий. Для вычисления  $F$ -критерия определяем число степеней свободы: для общего варьирования –  $n-1=7-1=6$ , где  $n$  – количество парных наблюдений; для регрессии – 1, отклонения от регрессии (или остаток) – разность между числом степеней свободы для общего варьирования и регрессии –  $6-1=5$ . Разделив суммы квадратов на число степеней свободы, получаем средний квадрат, а средний квадрат регрессии на средний квадрат отклонения от регрессии –  $F$ -критерий (табл. 47).

Таблица 47 – Результаты регрессионного анализа, представленные в виде таблицы дисперсионного анализа

Источник вариации	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$	$F_{01}$
Общий	$\sum y^2 = 79,7854$	6				
Регрессия	$r^2 \sum y^2 = 68,9562$	1	68,9562	31,84	16,26	19,48
Отклонение от регрессии	$(1 - r^2) \sum y^2 = 10,8292$	5	2,16584			

Фактическое значение  $F$ -критерия больше теоретического на 5 и 1 % уровне значимости, что позволяет отвергнуть  $H_0$ -гипотезу об отсутствии линейной связи между  $X$  и  $Y$  и утверждать, что отклонение от линейности обусловлено случайным выборочным варьированием.

Формулы, используемые для расчета сумм квадратов для регрессии и отклонения от регрессии, показывают, что  $r^2$  составляет часть общей суммы квадратов, приходящейся на регрессию, а  $(1-r^2)$  – составляет неучтенную регрессией долю. В связи с этим выражение  $(1-r^2)$  иногда называют коэффициентом отклонения.

**Доверительный интервал.** На основании среднего квадрата отклонения от линии регрессии вычисляем дисперсию ( $s_b^2$ ) и стандартное отклонение [ошибку] ( $s_b$ ) коэффициента регрессии:

$$s_b^2 = \frac{\text{средний квадрат отклонения}}{\sum x^2} = \frac{2,1658}{794,00} = 0,0027,$$

$$s_b = \sqrt{s_b^2} = \sqrt{0,0027} = 0,0520.$$

Критерий существенности коэффициента регрессии ( $t$ -критерий) вычисляем через стандартную ошибку коэффициента корреляции по формуле:

$$t_b = \frac{b_{yx}}{s_b} = \frac{0,2947}{0,0520} = 5,6673.$$

$t_{01}$  при 5-ти степенях свободы равен 4,0321;  $t_b > t_{01} = 5,6673 > 4,0321$ , что указывает на значимость коэффициента регрессии.

Доверительные пределы на 1 % уровне составляют:  $b_{yx} \pm t_{01} s_b = 0,2947 \pm (4,0321 \times 0,0520) = 0,2947 \pm 0,2097$  (0,085 ÷ 0,504).

**Доверительный интервал для  $Y'$ .** При прогнозе величины переменной  $Y$  для конкретного значения  $X$  на основании уравнения регрессии также необходимо определить доверительный интервал. Оценки прогнозируемой переменной  $Y'$  подвержены ошибкам, обусловленным дисперсией средней и дисперсией коэффициента регрессии. Дисперсия прогнозируемой (оценочной)  $Y'$  зависит от отклонения переменной  $X$ , для которой прогнозируется величина  $Y$ , от средней, т. е. от  $x = X - \bar{X}$ . Эта дисперсия вычисляется по формуле:

$$s_{Y'}^2 = \text{средний квадрат отклонений от регрессии} \times \left( \frac{1}{n} + \frac{x^2}{\sum x^2} \right)$$

Средний квадрат отклонений от регрессии был вычислен при разложении суммы квадратов отклонений переменной  $Y$  от ее среднего значения ( $\sum(Y - \bar{Y})^2 = \sum y^2$ ) (табл. 47), а среднее  $\bar{X}$  и сумма квадратов отклонений  $\sum x^2 = \sum(X - \bar{X})^2$  – при расчете уравнения регрессии (табл. 46).

В нашем примере, для  $X=90$   $Y' = 21,6189 + (0,2947 \times 90) = 48,1419$ , дисперсия  $s_{Y'}^2$ :

$$s_{Y'}^2 = 2,1658 \left( \frac{1}{7} + \frac{15^2}{794,00} \right) = 0,9232.$$

Стандартное отклонение  $s_{Y'} = \sqrt{s_{Y'}^2}$ , доверительный интервал для  $Y'$  равен  $Y' \pm t s_{Y'}$ , для 5 степеней свободы,  $t_{05}=2,5706$ :

$$s_{Y'} = \sqrt{s_{Y'}^2} = \sqrt{0,9232} = 0,9608;$$

$$Y' \pm t_{05} s_{Y'} = 48,1419 \pm 2,4698 \text{ (45,6721 } \div \text{ 50,6117) г.}$$

Таким образом, установлено, что при продолжительности вегетационного периода ячменя 90 дней масса 1000 зерен с вероятностью 95 % (5 % уровень значимости) будет составлять 45,67–50,62 г (в среднем – 48,14 г).

Оценочные значения  $Y'$ , доверительные интервалы для нескольких других значений  $X$  приведены в таблице 48.

Таблица 48 – Дисперсии, стандартные ошибки и 95%-ные доверительные пределы  $Y'$  и  $Y$  для конкретных значений  $X$  ( $Y' = 21,6189 + 0,2947X$ )

$X$	$x = (X - \bar{X})$	$Y'$	$s_{Y'}^2$	$s_{Y'}$	$t_{05} s_{Y'}$	Нижний предел	Верхний предел	$s_Y^2$	$s_Y$	$t_{05} s_Y$	Нижний предел	Верхний предел
90	15	48,1419	0,9232	0,9608	2,4698	45,6721	50,6117	3,0890	1,7576	4,5181	43,6238	52,6600
85	10	46,6684	0,5822	0,7630	1,9614	44,7070	48,6298	2,7480	1,6577	4,2613	42,4071	50,9297
80	5	45,1949	0,3776	0,6145	1,5796	43,6153	46,7745	2,5434	1,5948	4,0996	41,0953	49,2945
75	0	43,7214	0,3094	0,5562	1,4298	42,2916	45,1512	2,4752	1,5733	4,0443	39,6771	47,7657
70	-5	42,2479	0,3776	0,6145	1,5796	40,6683	43,8275	2,5434	1,5948	4,0996	38,1483	46,3475
65	-10	40,7744	0,5822	0,7630	1,9614	38,8130	42,7358	2,7480	1,6577	4,2613	36,5131	45,0357
60	-15	39,3009	0,9232	0,9608	2,4698	36,8311	41,7707	3,0890	1,7576	4,5181	34,7828	43,8190

Если есть необходимость определить доверительные пределы для прогноза отдельных величин  $Y$  на основе отклонения переменной  $X$  от ее среднего значения [ $x = (X - \bar{X})$ ], то обязательно надо учесть еще один источник ошибки. В дополнение к ошибке коэффициента регрессии и ошибки средней присутствует ошибка, вносимая вариацией индивидуальных значений  $X$  вокруг выборочной средней  $\bar{X}$ . В таких ситуациях дисперсию  $Y$  для конкретной величины  $x = (X - \bar{X})$  вычисляют по формуле:

$$s_Y^2 = \text{средний квадрат отклонений от регрессии} \times \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{x^2}{\sum x^2} \right),$$

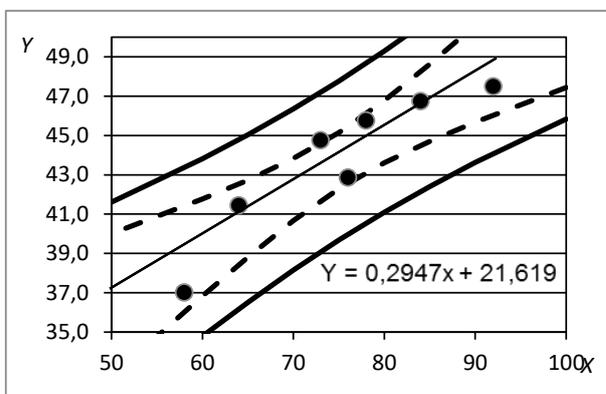


Рис. 83. Линия регрессии и 95 %-ные «доверительные пояса»: внутренний – для переменной  $Y'$ ; внешний – переменной  $Y$ .

$$s_Y^2 = 2,1658 \left( 1 + \frac{1}{7} + \frac{15^2}{794,00} \right) = 3,0890.$$

Вычисляем стандартное отклонение и 95 % доверительный интервал для  $Y$ :

$$s_Y = \sqrt{s_Y^2} = \sqrt{3,0890} = 1,7576;$$

$$Y \pm t_{0,5} s_Y = 48,1419 \pm 4,5181 (43,6238 \div 52,6600) \text{ г.}$$

Результаты вычислений регрессионного анализа можно представить графически (рис. 83).

На основании проведенных выше вычислений (т. е. регрессионного анализа) можно заключить:

1. Связь продолжительности вегетационного периода и массы 1000 зерен ячменя очень высокая (отмечена практически функциональная зависимость): коэффициент корреляции равен  $r=0,9297$ ; вероятность случайного получения такого коэффициента случайного получения коэффициента корреляции такой величины незначительно меньше  $P=0,001$  (в интервале между  $P=0,01$  и  $P=0,001$ ), т. е. ошибиться мы можем приблизительно в 1 случае из 100÷1000 измерений (табл. 42);

2. Связь массы 1000 зерен с продолжительностью вегетационного периода описывается уравнением  $Y' = 21,6189 + 0,2947X$ ; сумма квадратов отклонений наблюдаемых точек от линии регрессии равна 10,8292, это приблизительно 13,6 % от общей суммы квадратов, т. е. 86,5 % изменчивости массы 1000 зерен обусловлено изменчивостью продолжительности вегетационного периода (табл. 47).

Теперь, когда мы познакомились с теорией и техникой проведения вычислений при регрессионном анализе данных эксперимента, можно использовать компьютерные программы. В Microsoft Excel в пакете «Анализ данных» [Данные\Анализ\Анализ данных] выбираем программу «Регрессия», вводим необходимые данные (рис. 84) и получаем результат (рис. 85).

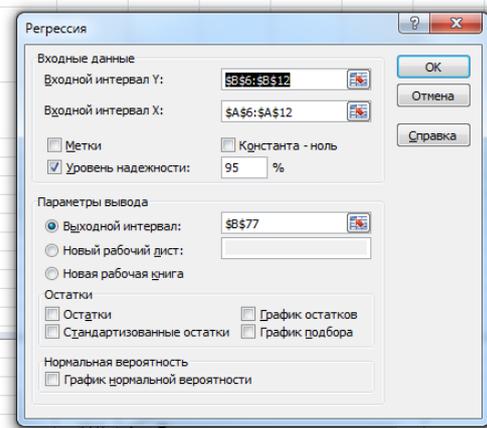


Рис. 84. Microsoft Word/ Окно «Регрессия»

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,929662
R-квадрат	0,864272
Нормированный R-квадрат	0,837126
Стандартная ошибка	1,471677
Наблюдения	7

Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	68,95632	68,95632	31,83825	0,002425851
Остаток	5	10,82916	2,165833		
Итого	6	79,78549			

	Кoeffициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	21,6191	3,956386	5,464355	0,002794	11,44888393	31,78931326	11,44888393	31,78931326
Переменная X 1	0,294698	0,052228	5,642539	0,002426	0,160441756	0,42895371	0,160441756	0,42895371

Вывод остатка				Вывод вероятности	
Наблюдение	Предсказанное Y	Остатки	Стандартные остатки	Перцентиль	Y
1	48,73129	-1,23129	-0,916513	7,142857143	37
2	46,37371	0,376292	0,280093	21,42857143	41,44
3	44,60552	1,144478	0,851894	35,71428571	42,85
4	44,01613	-1,166126	-0,868008	50	44,76
5	43,13203	1,627967	1,21178	64,28571429	45,75
6	40,47975	0,960246	0,714761	78,57142857	46,75
7	38,71157	-1,711567	-1,274008	92,85714286	47,5

Рис. 85. Итоговая таблица программы «Регрессия»

Рассмотрим выходные данные. Таблица «Регрессионная статистика»: множественный  $R$  – коэффициент корреляции ( $r$ );  $R$ -квадрат – коэффициент детерминации ( $r^2$ ); стандартная ошибка – стандартная ошибка коэффициента корреляции; наблюдения – число пар.

В таблице «Дисперсионный анализ»:  $df$  – число степеней свободы;  $SS$  – сумма квадратов;  $MS$  – средний квадрат;  $F$  –  $F$ -критерий, значимость  $F$  – вероятность ошибиться. Эта таблица идентична таблице 47.

Далее, все данные в строке « $Y$ -пересечение» относятся к коэффициенту « $a$ », «Переменная  $X_1$ » = коэффициенту регрессии. В графе: коэффициенты – коэффициент  $a$  и  $b_{yx}$ ,  $t$ -статистика –  $t$ -критерий,  $P$ -значения – вероятность  $t$ -статистики; нижние 95 % и верхние 95 % – соответственно нижние и верхние границы 95 % доверительного интервала для коэффициентов  $a$  и  $b_{yx}$ .

Таблица «Вывод остатка»: предсказанное  $Y$  – предсказанное по уравнению регрессии значение переменной  $Y$  для каждого наблюдения (соответствует  $Y'$  в таблице 47); остатки – разность  $Y - Y'$  (соответствует  $d$  в таблице 46).

**Ошибки интерпретации результатов корреляционного и регрессионного анализа.** Чтобы избежать некорректного толкования корреляции и регрессии и ошибочных выводов, необходимо помнить, что:

- рассматриваемые в этой главе корреляции – линейные;
- ничто в определении корреляции не указывает на наличие причинно-следственной связи между двумя переменными.

Наиболее часто встречаемые ошибки интерпретации:

1. Слабая корреляция не всегда означает отсутствие связи. Это может быть следствием нелинейной зависимости. Чтобы не сделать ошибочное заключение, необходимо убедиться в линейной связи анализируемых переменных.

2. Сильная корреляция не обязательно означает причинно-следственную зависимость. Например, можно вычислить коэффициент корреляции и уравнение регрессии между высотой растений и ростом учеников 5 класса. Разумеется, что причинно-следственной связи между этими переменными не существует. Таким образом, коэффициент корреляции измеряет степень связи между двумя переменными, но ничего не говорит о том, является ли эта связь причинно-следственной. Решение этого вопроса является делом исследователя и должно опираться на глубокое знание изучаемых переменных.

3. Экстраполирование. Для вычисления корреляции и регрессии обычно ряд наблюдений попадает в ограниченный интервал значений двух изучаемых переменных. Если у исследователя появляется желание предсказать, что произойдет с величиной  $Y$ , если взять значения  $X$  выше или ниже фактически наблюдаемых, т. е. продолжить линию регрессии за пределы наблюдаемых значений, то это очень рискованно, т. к. многие переменные, связанные между собой криволинейной зависимостью, могут давать высокую линейную корреляцию на коротких отрезках кривой при малых выборках. Если исследователь желает установить характер связи двух переменных за пределами его наблюдений, то наиболее надежным приемом будет проведение дополнительных наблюдений в интересующей его части явления.

### 5.7.2. Криволинейные зависимости

*Мы знаем, кто мы есть, но не знаем,  
кем мы можем быть.*

**У. Шекспир**

*Не будем недооценивать значения  
факта: когда-нибудь на нем распустится  
цветок истины.*

**Г. Торо**

Линейная зависимость – наиболее простой тип связи переменных. Хотя в природе такие зависимости встречаются не часто, но в значимых для исследователя интервалах значений факториального признака распространены повсеместно. Например, урожайность сельскохозяйственных культур зависит от уровня минерального питания и, следовательно, доз удобрений. Рассматривая зависимость в интервале доз удобрений от минимальных до оптимальных значений, будет установлена сильная положительная корреляция между этими переменными и линейная зависимость. При расширении диапазона доз выше оптимальных значений сила связи между этими переменными будет постепенно снижаться. Обусловлено это тем, что при улучшении условий питания, обеспечивающегося внесением удобрений, урожайность увеличивается, вначале очень значительно, затем, по мере приближения к оптимуму, прибавка урожая на единицу увеличения факториальной переменной (в нашем случае доза удобрения) уменьшается. Увеличение доз выше оптимальных вызывает снижение урожайности на единицу изменения факториальной переменной, и тем в большей степени, чем выше доза. Нетрудно заметить, что если изучать зависимость урожайности от доз удобрений в интервале выше оптимальных, то обнаружится сильная отрицательная корреляционная зависимость. На этом основании можно допустить ошибку и утверждать, что удобрения не влияют на урожайность или даже снижают ее. В нашем примере ошибка интерпретации очевидна. Однако при изучении зависимостей менее изученных заметить ее не просто.

Ошибки такого рода обусловлены нелинейной зависимостью переменных  $X$  и  $Y$ . Для исключения таких ошибок интерпретации результатов регрессионного анализа необходима проверка экспериментальных значений  $X$  и  $Y$  на линейность связи между ними, а на этапе планирования эксперимента необходимо ответственно относиться к выбору уровней (значений) факториальной переменной. Если представляет интерес описать влияние на урожайность доз удобрений в интервале от низкого до оптимального уровня, то может быть использована прямая линия. А для описания подобной связи по всем уровням применения удобрений: от нуля до необычно большой дозы, необходимо использовать кривую линию, которая достигает максимума и затем снижается.

В математической статистике имеется много различных видов кривых, которые можно использовать для выражения связи между двумя переменными. Выбор кривой, наиболее полно соответствующий экспери-

ментальным данным, может показать путь к выявлению характера естественной связи, существующей между двумя переменными. Однако у биологических объектов и систем связь между двумя переменными может быть настолько комплексной, что ни одно из простых уравнений не сможет удовлетворить ее описанию. В таких ситуациях остается удовлетвориться уравнением, достаточно хорошо соответствующим данным наблюдений, и не требовать обязательного выражения им какой-либо естественной связи. Эта кривая может быть сугубо искусственной и полностью лишенной физического или биологического смысла.

При анализе биологических данных чаще всего используются степенные, экспоненциальные, асимптотические, полиномиальные кривые, а также сочетание кривых.

**Степенная кривая** – кривая, где  $Y$  является функцией некоторой степени  $X$ . Описывается уравнением  $Y=aX^b$ . В биологии и сельском хозяйстве эта функция наиболее часто применяется при изучении морфогенеза и корреляции органов у растений и животных. В наибольшей мере она подходит, если одна переменная – одномерная величина, а вторая – двух-, трех- или  $n$ -мерная. Например, масса клубней – одномерная величина, а их объем – трехмерная. Это относится также к длине листа и его площади, диаметру стебля и площади его поперечного сечения.

При выявлении криволинейных зависимостей предпринимаются действия по упрощению уравнений их описывающих, т. е. предпринимаются попытки свести их к простейшему уравнению – уравнению прямой линии.

Используем уже знакомое нам логарифмирование. Прологарифмировав обе части этого уравнения, мы получим:

$$\log Y = \log a + b \log X.$$

Предположим, что  $\log X$  и  $\log Y$  переменные  $X$  и  $Y$ , а  $\log a$  – постоянная величина  $a'$ . Проведя преобразование, уравнение примет вид  $Y'=a'+bX'$ , что является уравнением для прямой линии.

Величина коэффициента  $b$  может быть положительной или отрицательной, целым числом или дробью. Он показывает наклон прямой линии в системе координат. Величина коэффициента  $a$  также может принимать любые значения. Ее действие на исходные кривые выражается в сжатии или увеличении масштаба одной из осей координат, а в преобразованном через логарифмы уравнении выражается в простом передвижении линии регрессии вверх или вниз без изменения ее наклона. На рисунке 86 представлены условные графики уравнений  $Y=aX^b$  и  $\log Y=\log a+b\log X$  с разными значениями коэффициентов  $a$  и  $b$ .

Не применимо логарифмическое преобразование для данных, если переменная  $Y$  принимает отрицательные значения (логарифмы имеют только положительные числа). Наиболее простой способ определить, уместно ли такое преобразование – построить точечный график исходных и преобразованных значений  $X$  и  $Y$ .

*Пример.* Для выяснения связи длины листа с его площадью произвели 30 парных измерений (табл. 49)

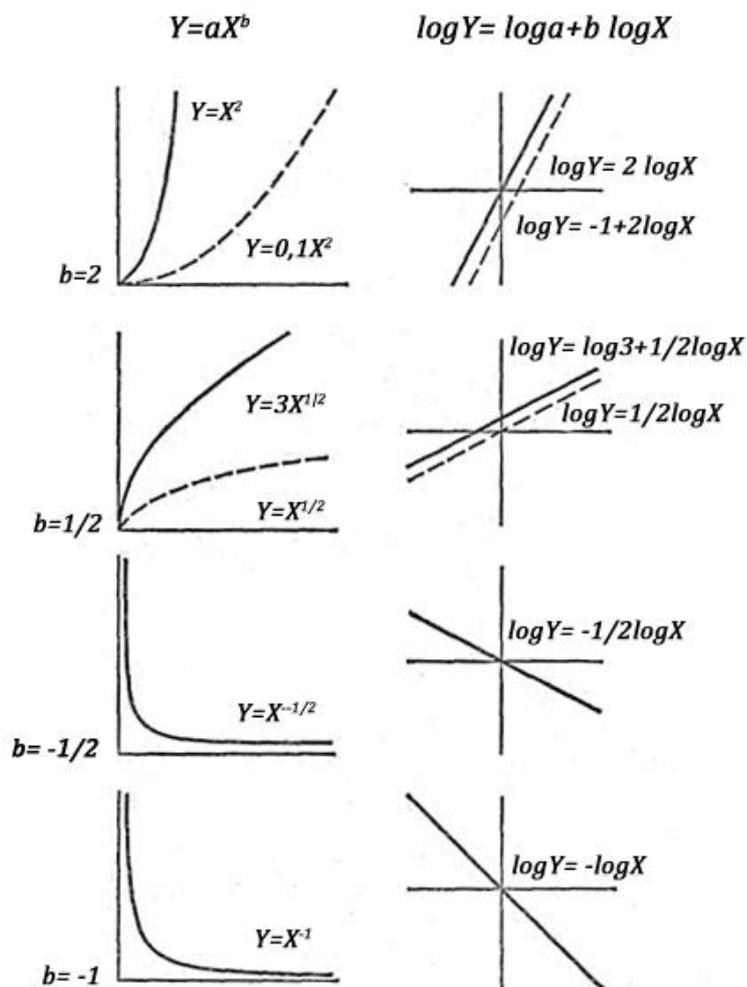


Рис. 86. Графическое изображение криволинейной зависимости  $Y=aX^b$  и их логарифмических преобразований  $\log Y = \log a + b \log X$  при различных значениях коэффициентов  $a$  и  $b$ .

Вычисляем уравнение регрессии и коэффициент детерминации. Ускорить расчеты позволяет Microsoft Excel. Занесем в электронную таблицу исходные данные парных измерений и выделяем их. На вкладке «Вставить» в группе «Диаграммы» необходимо выбрать точечную диаграмму. График построен (рис. 87а). Выделяем диаграмму, затем в группе «Макет» добавим линию тренда. Для этого откроем «Дополнительные параметры линии тренда», указываем параметры линии тренда (в нашем случае – линейная) и задаем «показать уравнение регрессии на диаграмме» и «поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации<sup>23</sup>».

<sup>23</sup> Величина достоверности аппроксимации в этой программе соответствует коэффициенту детерминации  $R=r^2$

Таблица 49 – Ширина и площадь листа у растений риса

Номер измерения	Ширина листа, см (X)	Площадь листа, см <sup>2</sup> (Y)	log X	log Y	Y'	Y <sup>n</sup> =aX <sup>b</sup>
1	1,00	7,78	0,0000	0,8910	7,09	7,86
2	1,15	10,56	0,0607	1,0237	8,80	9,32
3	1,20	10,04	0,0792	1,0017	9,37	9,82
4	1,30	11,12	0,1139	1,0461	10,51	10,83
5	1,45	11,90	0,1614	1,0755	12,23	12,37
6	1,50	12,68	0,1761	1,1031	12,80	12,89
7	1,65	13,46	0,2175	1,1290	14,51	14,48
8	1,70	14,24	0,2304	1,1535	15,08	15,02
9	1,75	15,02	0,2430	1,1767	15,65	15,56
10	1,80	15,80	0,2553	1,1987	16,22	16,10
11	1,85	16,58	0,2672	1,2196	16,79	16,65
12	1,90	17,36	0,2788	1,2395	17,36	17,20
13	2,00	18,14	0,3010	1,2586	18,50	18,31
14	2,05	18,92	0,3118	1,2769	19,07	18,87
15	2,10	18,70	0,3222	1,2718	19,64	19,43
16	2,10	20,48	0,3222	1,3113	19,64	19,43
17	2,15	20,26	0,3324	1,3066	20,21	19,99
18	2,20	20,04	0,3424	1,3019	20,78	20,56
19	2,30	21,82	0,3617	1,3389	21,92	21,71
20	2,40	20,60	0,3802	1,3139	23,07	22,86
21	2,40	21,38	0,3802	1,3300	23,07	22,86
22	2,45	22,40	0,3892	1,3502	23,64	23,45
23	2,50	22,94	0,3979	1,3606	24,21	24,03
24	2,50	23,72	0,3979	1,3751	24,21	24,03
25	2,50	24,50	0,3979	1,3892	24,21	24,03
26	2,55	28,28	0,4065	1,4515	24,78	24,62
27	2,60	27,20	0,4150	1,4346	25,35	25,21
28	2,65	27,00	0,4232	1,4314	25,92	25,80
29	2,80	28,79	0,4472	1,4592	27,63	27,59
30	2,90	29,30	0,4624	1,4669	28,77	28,80
Сумма	61,4	571,01	8,8748	37,6867		

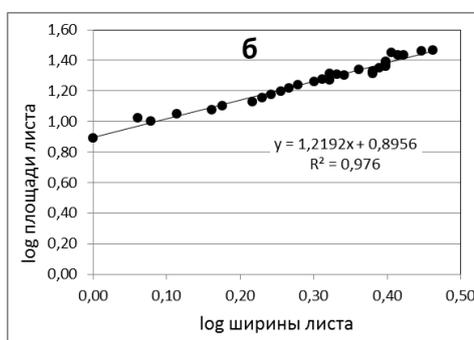
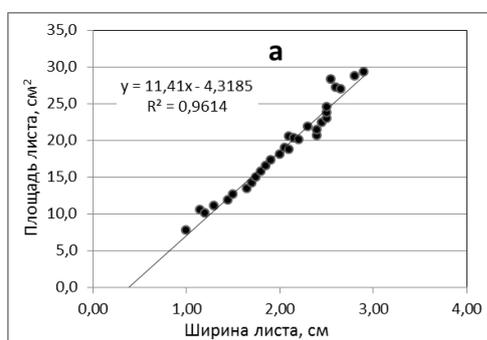


Рис. 87. График зависимости ширины и площади листа

Теперь у нас есть уравнение линейной регрессии, описывающее взаимосвязь ширины листа и его площади:  $Y=11,41X-4,3183$  и  $R^2=0,9614$ . Достоверность аппроксимации ( $R^2=0,9614$ ) очень высокая, что указывает на достаточно хорошее соответствие между измеренными и предсказанными величинами площади листа по его ширине. Однако при рассмотрении графика с наложенной линией регрессии легко заметить, что отклонения от нее на концах интервала положительные, т. е. точки, соответствующие измерениям, располагаются выше линии регрессии, а в середине – ниже. Если бы отклонения носили случайный характер, мы были бы удовлетворены, однако наблюдаемая систематическая группировка отклонений показывает, что кривая описала бы фактические измерения лучше, чем прямая. Кроме того, линия регрессии не проходит через начало координат, а это значит, что она не имеет смысла для ширины менее 0,4 см, поскольку дает для них отрицательные величины площади.

Найдем логарифмы для чисел, характеризующих ширину листа ( $\log X$ ) и его площадь ( $\log Y$ ), и построим график, так же, как и для исходных значений (рис. 87б). Зависимость логарифмов ширины и площади листьев выражается следующим уравнением регрессии:

$$Y' = 1,2192X' + 0,8956, R^2 = 0,976.$$

Достоверность аппроксимации  $R^2=0,976$ , указывает на большее, чем при использовании непреобразованных дат, соответствие экспериментальным данным. Но, вспомним, преобразования проводились не для этого. Можно было вполне удовлетвориться и  $R^2=0,9614$ . Главная цель преобразования – добиться случайного распределения дат. Как видно из графика (рис. 87б), отклонения точек от линии регрессии распределяются более или менее случайно.

Для определения площади листа (прогноз) по его ширине уравнение регрессии, выраженное в логарифмах, следует перевести в исходные единицы измерений путем взятия антилогарифма<sup>24</sup>  $a'$  (находят величину  $a$ ) и его подстановки в уравнение  $Y = aX^b$ .

Логарифмическая форма:

$$Y' = 1,2192X' + 0,8956, \text{ где } a'=0,8956, b=1,2192.$$

Исходная форма:

$$Y'' = aX^b = 7,8632 X^{1,2192}.$$

Теперь, когда ясна методика выполнения расчетов, в дальнейшем можно воспользоваться программой Microsoft Excel и на график, отражающий взаимосвязь ширины и площади листа, наложить степенную линию тренда (рис. 88). Уравнение регрессии и коэффициент детерминации (достоверность аппроксимации) вычисляются автоматически.

---

<sup>24</sup> антилогарифм – функция, обратная логарифму; для десятичного логарифма  $\log a$  антилогарифм равен  $10^a$ .

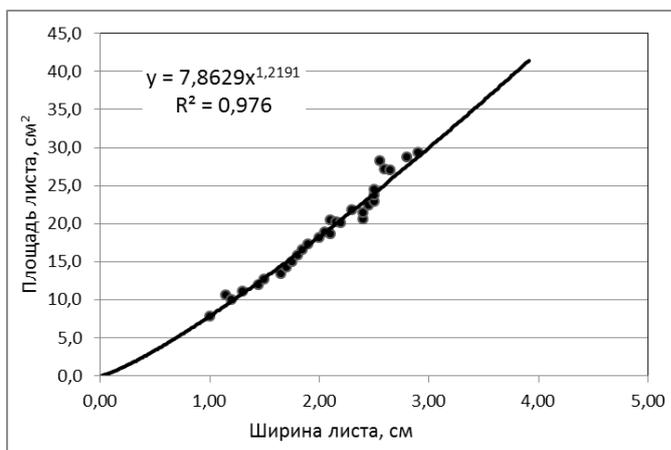


Рис. 88. Степенная кривая взаимосвязи ширины и площади листа у растений риса

Степенная кривая не только наиболее точно описывает экспериментальные данные, но и отражает естественную зависимость роста листа: лист увеличивается в длину и ширину с разной скоростью, на что указывает степень 1,2191. Если бы темп роста во всех направлениях был одинаков, то площадь листа была бы функцией ширины в квадрате. При одновременном увеличении длины и ширины листа площадь является функцией ширины в степени от 1 до 2, причем, чем больше различия в скорости роста, тем ближе степень к 1.

**Экспоненциальная кривая** (показательная кривая роста или убыли). Такая кривая может быть полезной, т. е. описывать наиболее точно, при изучении процесса роста растений, влияние температуры на скорость созревания, доз и экспозиций агрохимикатов и физических факторов (облучение, температура и др.) на численность вредителей и степень поражения объектов; разложение пестицидов в почве, распад радиоактивных изотопов и др.

В экспоненциальном уравнении  $X$  выступает в качестве показателя степени, а коэффициент  $b$  – выражает скорость роста или убыли. Уравнение такой кривой имеет общий вид  $Y=ab^x$ . Для вычисления коэффициентов  $a$  и  $b$  необходимо преобразовать это уравнение в линейное. Выполняется это посредством логарифмирования обеих частей уравнения<sup>25</sup>:

$$Y=ab^x \qquad \log Y = \log a + (\log b)X.$$

Далее заменим:  $\log Y=Y'$ ,  $\log a=a'$ ,  $\log b=b'$  и получим уравнение прямой линии  $Y'=a'+b'X$ .

Построим точечную диаграмму. Если точки расположились линейно, необходимо вычислить коэффициенты линейной корреляции и регрессии  $Y$  на  $X$ .

В качестве примера рассмотрим влияние длительности облучения рентгеновскими лучами ( $X$ ) на размножение вируса мозаики Аукуба ( $Y$ ) (табл. 50).

<sup>25</sup> В этом уравнении используются логарифмы  $Y$  и исходные величины  $X$  вместо логарифмов обеих переменных, поэтому его иногда называют полулогарифмическим.

Таблица 50 – Количество вирусов мозаики Аукуба в зависимости от продолжительности облучения рентгеновскими лучами

	Время облучения, мин (X)	Количество вирусов, тыс. шт. (Y)	$\log Y$	$Y' = -0,0223X + 2,4330$	$Y = 271,0192 \times 0,9499^x$	$Y = 271,0192 \times e^{-0,0514x}$	$Y = 270,65 \times e^{-0,051x}$
	1	2	3	4	5	6	7
	0	271	2,433	2,433	271	271	271
	3	226	2,354	2,366	232	232	232
	7,5	209	2,320	2,266	184	184	185
	15	108	2,033	2,099	125	125	126
	30	59	1,771	1,764	58	58	59
	45	29	1,462	1,430	27	27	27
	60	12	1,079	1,095	12	12	13
Итого	160,50		13,452				
Суммы	6815,25		27,414				
квадратов							
Сумма			238,617				

Точечный график зависимости численности вирусов от времени облучения указывает на нелинейную зависимость этих данных (рис. 89). Однако если наносить на график логарифмы численности вируса для соответствующей длительности облучения, то точки в данном примере расположатся практически на одной линии. Следовательно, расчеты принимают прямолинейный характер, если заменить  $Y$  на  $Y' = \log Y$  в качестве одной из переменных.

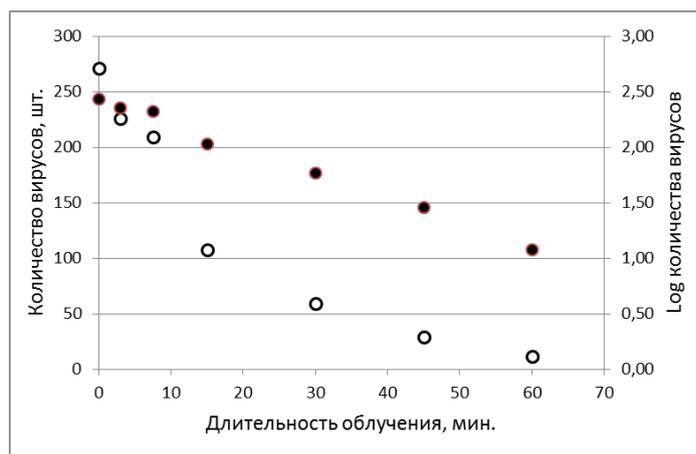


Рис. 89. График зависимости численности вируса мозаики Аукуба от продолжительности облучения рентгеновскими лучами

○ исходные значения      ● преобразованные значения

Произведем вычисления:

$$\sum x^2 = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} = 6815,25 - \frac{160,50^2}{7} = 3135,214$$

$$\sum y^2 = \sum Y'^2 - \frac{(\sum Y')^2}{n} = 27,414 - \frac{13,452^2}{7} = 1,563$$

$$\sum xy' = \sum XY' - \frac{\sum X \sum Y'}{n} = 238,617 - \frac{160,50 \times 13,452}{7} = -69,818$$

$$r^2 = \frac{(\sum xy')^2}{\sum x^2 \sum xy'^2} = \frac{-69,818^2}{3135,214 \times 1,563} = 0,995$$

$$r = \sqrt{r^2} = \sqrt{0,995} = 0,997$$

$$b' = \frac{\sum xy'}{\sum x^2} = \frac{-69,818}{3135,214} = -0,0223$$

$$a' = \bar{Y}' - b'\bar{X} = \frac{13,452}{7} - \frac{-0,0223 \times 160,50}{7} = 2,4330.$$

Уравнение регрессии:  $Y' = -0,0223 X + 2,4330$ . Значение  $r^2 = 0,995$  показывает, что выведенное уравнение регрессии с высокой точностью описывает зависимость развития вируса от продолжительности облучения. Подставим в это уравнение значения  $X$  и убедимся в этом (графа 4, табл. 50). Обычно необходим переход от логарифма к исходным значениям переменной  $Y$ . Преобразование через антилогарифмы<sup>26</sup> обеих частей дает экспоненциальное уравнение  $Y = ab^X = 271,0192 \times 0,9499^X$ . Значения переменной  $Y$  рассчитанные по этому уравнению, приведены в графе 5 таблицы 50.

Многие программы статистической оценки используют следующую форму экспоненциального уравнения:  $Y = ae^{bX}$ , где:  $e$  – основание натуральных логарифмов, являющееся некоторым иррациональным числом, приближенное значение которого 2,718<sup>27</sup>. К нему мы приходим, пре-

<sup>26</sup> антилогарифм для десятичного логарифма  $\log V$  имеет вид  $10^B$ ,

<sup>27</sup>  $e$  - число Эйлера ( $e = 2,7182818284590452\dots$ ).

**Экспоненциальный** формат задает отображение числа в экспоненциальном представлении, в котором часть числа заменяется символами E+n, где E (от Exponent – экспонента) означает умножение предшествующего числа на 10 в степени  $n$ . Например, в экспоненциальном формате с 2 десятичными знаками число 12345678901 будет представлено в виде 1,23E+10, т. е. как произведение 1,23 на 10 в 10-й степени. Экспоненциальный формат используется для отображения очень больших или очень маленьких чисел в экспоненциальной записи. Например, масса планеты Земля (5980000000000000000000000000 кг) будет отображена как 5,98E+24, что означает 5,98 умноженное на 1024 (десять в двадцать четвертой степени), а масса атома



Программа вычислила следующие уравнения: линейное –  $Y = -0,0223X + 2,4330$  и экспоненциальное –  $Y = 270,65e^{-0,051X}$ ;  $R^2 = 0,9944$ . Небольшие отличия от рассчитанных ранее уравнений обусловлены различной точностью (числом знаков после запятой). Вычислив величину  $Y$  на основании этого уравнения (графа 7 таблица 50), отметим высокую степень соответствия экспоненциального уравнения экспериментальным данным.

Анализ графического выражения уравнения экспоненциальной зависимости показывает, что если коэффициент  $b$  в уравнении  $Y = ab^x$  меньше единицы, то  $Y$  приближается к нулю по мере бесконечного увеличения  $X$  – кривая убыли. Если коэффициент  $b$  больше 1, то  $Y$  увеличивается по мере увеличения  $X$  – кривая роста. Вместе с тем, например, при анализе скорости охлаждения предмета в холодильнике кривая будет приближаться к температуре воздуха в холодильнике; поглощение катиона растениями заметно возрастает при небольших добавках его в питательную среду, по мере увеличения его концентрации в растворе до оптимального для развития растений уровня, повышение поглощаемости, обусловленное дополнительным внесением катиона, становится незначительным. Линия, к которой таким образом приближается кривая, называется *асимптотой*. В общем случае асимптотой является ось  $X$ , в опыте с охлаждением предметов – температура воздуха в холодильнике, с поглощением катионов – верхний предел поглощения.

Экспоненциальные кривые, где асимптотой служит некоторая, отличная от нуля, величина, называются *асимптотическими кривыми*. Если  $Y$  уменьшается с увеличением  $X$  и достигает асимптоты сверху, то уравнение вида  $Y = c + ab^x$  может обеспечить хорошее соответствие. Если  $Y$  увеличивается с увеличением  $X$  и достигает асимптоты снизу, то соответствующим уравнением кривой будет  $Y = c - ab^x$ .

Асимптотой в обоих случаях является  $Y = c$ . В математике нет простого прямого метода перерасчета данных для этих уравнений. Трудности заключаются в определении величины  $c$ . В некоторых случаях эта величина является довольно очевидной, как в случае кривой, характеризующей охлаждение, где асимптотой будет температура охлаждающей среды. В других случаях все, что представляется возможным сделать, сводится к определению ее обоснованной оценки. Если возникает необходимость в построении асимптотической кривой, следует обратиться к специальным программам или руководствам,

**Полиномиальные кривые.** Полином – это наиболее широко используемое выражение для описания связи между двумя переменными. Имеет общее уравнение вида  $Y = a + bX + cX^2 + dX^3 + \dots + mX^n$ . График уравнения этого вида называется параболой степени  $n$ . Самый высокий показатель степени  $X$ , имеющийся в уравнении, определяет его степень. Уравнения с первыми четырьмя степенями имеют специальные названия. Уравнение первой степени называют линейным, второй – квадратным, третьей – кубическим, четвертой – квартичным. Типичные формы полиномиальных кривых представлены на рисунке 91.

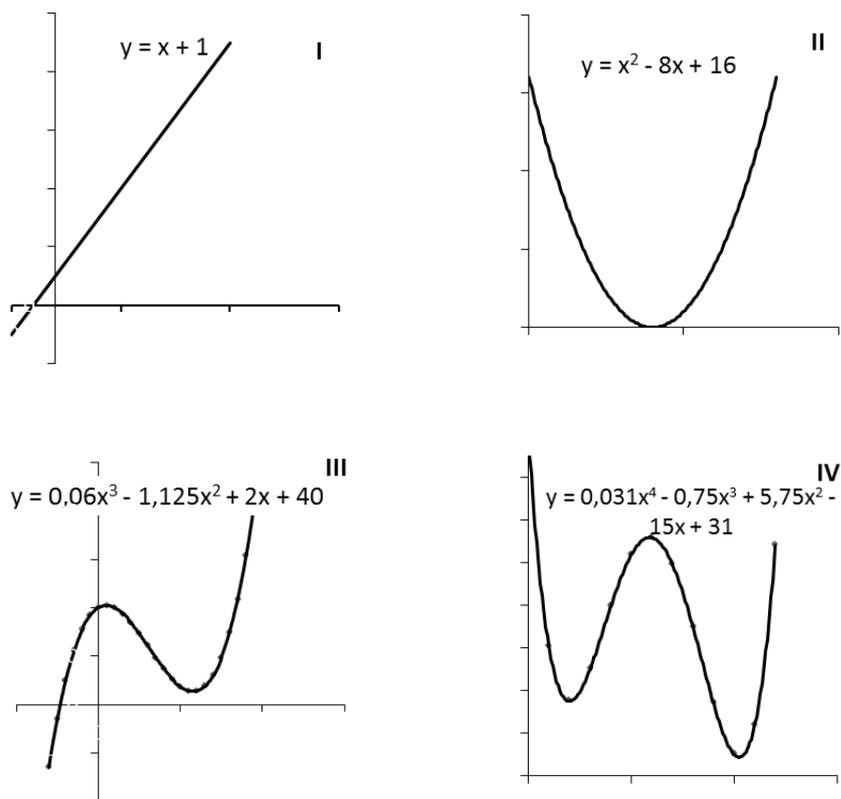


Рис. 91. Типичные формы полиномиальных кривых первых четырех степеней (I, II, III, IV)

Описание связи двух переменных часто принимает не совсем «естественное» выражение, т. е. характеризующее причинно-следственную связь между переменными. Однако полином легко поддается расчету, что является очень удачным с математической точки зрения. Уравнения этого типа независимо от количества пар сделанных наблюдений позволяют подобрать полиномиальную кривую, лучше всего соответствующую каждой точке, обеспечивая при этом только одно значение  $Y$  для каждой величины  $X$ . Степень полинома, требуемая для этого уравнения, чаще всего на единицу меньше числа пар наблюдений. В практике сельскохозяйственных и агрохимических исследований не целесообразно использовать уравнения большей, чем третьей-четвертой степени, т. к. результатом расчетов обычно бывает труднообъяснимая извилистая кривая.

Подбор полиномиальной кривой сводится к нахождению коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  и т. д., которые дадут полином, отвечающий требованию минимальности суммы квадратов отклонений. Для расчета коэффициентов полинома используют известные нормальные уравнения. Уравнений требуется столько, сколько коэффициентов у полинома или на одно больше, чем степень искомого полинома. С математической точки зрения

это простая задача, однако, арифметические расчеты становятся трудно-преодолимыми, когда дело доходит до полиномов высоких порядков. В связи с этим воспользуемся программой Microsoft Excel.

Построение полиномиальной кривой рассмотрим на примере данных урожайности зеленых бобов лимской фасоли при разной дате сбора (табл. 51). Дата самого раннего сбора взята за базовую дату, а величина  $X$  принята за нулевое значение. За величины  $X$  последующих сроков сбора принято число дней, прошедших от базовой даты. Таким образом, независимая переменная  $X$  – время сбора, зависимая переменная  $Y$  – урожайность.

Таблица 51 – Урожайность зеленых бобов лимской фасоли ( $Y$ ) по шести срокам сбора ( $X$  – число дней, начиная с даты первого сбора)

Дата сбора, $X$	Урожайность, ц/га
0	27,4
4	39,3
7	46,2
10	47,8
13	44,5
18	24,5

Записываем значения двух переменных в электронную таблицу Microsoft Excel и строим точечный график. Для этого выделяем ячейки таблицы со значениями переменных; в главном меню выбираем «Вставка», на вкладке «Диаграмма» – «Точечная». Вид графика указывает на высокую вероятность нелинейной зависимости между этими переменными (рис. 92а). Проверим это, рассчитав линейное уравнение регрессии. Для этого добавим на график

линию тренда. В группе «Работа с диаграммами» открываем вкладку «Макет», далее «Анализ \ Линия тренда \ Дополнительные параметры линии тренда». Указываем на необходимость на диаграмме показывать уравнение и величину достоверности аппроксимации  $R^2$  (рис. 92б).  $R^2=0,0015$ . Это значит, что на прямой линии укладывается лишь 0,2 % вариабельности  $Y$ . Вывод однозначен – линейное уравнение не подходит для описания зависимости урожайности зеленых бобов от срока уборки.

Теперь посмотрим, насколько квадратичное уравнение лучше линейного соответствует данным. Наложим на наш график линию тренда для полиномиального второй степени уравнения (рис. 92в). Вид графика и  $R^2= 0,9845$  показывают хорошее соответствие экспериментальных данных уравнению  $Y = -0,269X^2 + 4,7832X + 26,332$ ; 98,45 % вариабельности переменной  $Y$  укладывается на квадратичную кривую.

Рассчитаем и построим график для кубического уравнения, выполнив последовательно действия, описанные для расчета линейного и квадратичного уравнений (рис. 92г). Уравнение  $Y = -0,0074X^3 - 0,0701X^2 + 3,4888X + 27,314$  обеспечивает еще большее, чем квадратичное уравнение соответствие фактическим данным,  $R^2 = 0,9993$ .

Таким образом, в случае использования прямой линии в ней укладывалось лишь около 0,2% вариабельности, квадратичной кривой – 98,45%, а в случае кубической кривой – 99,93 %. Какое уравнение использовать, квадратичное или кубическое, – решает исследователь в зависимости от стоящих перед ним задач.

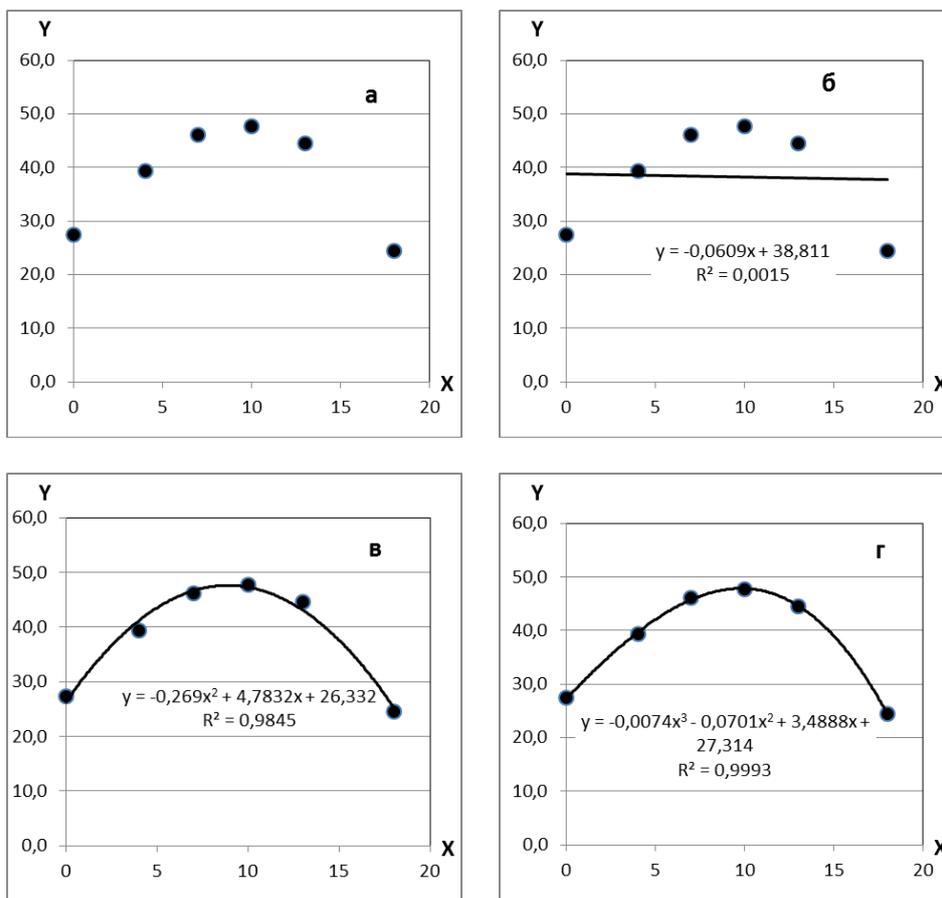


Рис. 92. График зависимости урожая зеленых бобов фасоли (Y) от срока уборки (X).

Уравнения регрессии рассчитываются, главным образом, с целью прогнозирования значений зависимой переменной (Y) для значений независимой переменной (X), не испытываемых в эксперименте. Так, в нашем примере урожайность фасоли при уборке на 8 день от первого сбора составит:  $Y = -0,0074X^3 - 0,0701X^2 + 3,4888X + 27,314 = -0,0074 \times 8^3 - 0,0701 \times 8^2 + 3,4888 \times 8 + 27,314 = 46,9$  ц/га.

Если возникает необходимость прогнозировать значение зависимой переменной для значения независимой переменной за пределами диапазона эксперимента, следует помнить о высокой вероятности ошибиться. Это наглядно демонстрирует изображение квадратичной и кубической полиномиальных кривых, опирающихся на более широкий интервал значений, чем фактический интервал (рис. 93). В пределах фактического интервала наблюдений эти две кривые различаются не очень сильно, однако лучшее соответствие кубической кривой очевидно. Однако за его пределом формы кривых значительно различаются.



Рис. 93. График зависимости урожайности фасоли лимской от срока сбора, демонстрирующий хорошее соответствие квадратичной и кубической кривой в фактическом интервале значений и отличие – за его пределами

Подведем итог. Если точечная диаграмма связи двух переменных указывает на тенденцию точек быть рассеянными больше вокруг кривой, чем вокруг прямой линии, то желательнее исследовать криволинейную связь между переменными. В противном случае анализ приведет к большим заблуждениям.

Если логарифмы значений двух переменных образуют точечную диаграмму, соответствующую прямой линии, то кривая, характеризующая связь переменных, будет иметь форму  $Y=aX^b$  и будет называться степенной кривой. Для описания связи переменных, включающих различные пространственные измерения, этот тип кривой будет наиболее подходящим.

Если график логарифмов  $Y$  и исходных значений  $X$  образует прямолинейную точечную диаграмму, то соответствующая кривая связи переменных будет иметь форму  $Y=ab^X$  и будет называться экспоненциальной (показательной) кривой. Особая разновидность экспоненциальной кривой, в которой  $Y$  приближается к некоторому значению, отличному от нуля, называется асимптотической кривой. Она описывается уравнением:  $Y=c+ab^x$ , где  $c$  – асимптота. Наиболее подходящее значение  $c$  находят методом проб и ошибок.

Для криволинейно распределенных данных, которые не достигают прямолинейности как с помощью логарифмического, так и полулогарифмического преобразования, может быть подобрана полиномиальная форма кривой  $Y=a+bX+cX^2+dX^3+\dots+mX^n$ , используя при этом столько членов, сколько потребуется для получения удовлетворительного соответствия данным. Если отклонения наблюдений от рассчитанной кривой носят более или менее случайный характер, то обычно подбор кривой большей степени теряет смысл. Если отклонения носят систематический характер или образуют определенные группы по отношению к знаку, то расчет уравнения следующего порядка, как правило, оказывается полезным.

### 5.7.3. Множественная корреляция и регрессия

*В опытном деле часто приходится изучать связи между различными количественными или качественными признаками. В огромном большинстве случаев эти связи не являются столь точными, как те, которые изучаются в механике, физике, астрономии и т.п., а являются только приблизительными, так как признаки, которые они связывают, подвержены влиянию многочисленных случайных причин.*

**В.И. Романовский**

*Знание фактов только потому и драгоценно, что в фактах скрываются идеи; факты без идей – сор для головы и памяти.*

**В. Белинский**

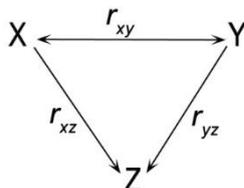
В практике биологических и сельскохозяйственных исследований мы имеем дело с биологическими системами с очень сложными взаимодействиями, когда один фактор (переменная) обуславливается влияем нескольких других и, наоборот, один – влияет на несколько. Например, масса зерна с растения риса обусловлена продуктивной кустистостью, числом зерен в метелке и массой 1000 зерен, а температура воздуха влияет на срок посева, продолжительность вегетационного периода и отдельных его фаз, налив зерна и т. д. *Корреляция называется множественной, если на величину результативного признака одновременно влияют несколько факториальных.*

При анализе связи трех и более переменных используются три вида корреляций. *Простая корреляция* – это корреляция внутри любой пары переменных, независимо от значений оставшихся переменных. *Частная корреляция* – это корреляция между двумя переменными, когда одна или больше из оставшихся переменных удерживаются на постоянном уровне. *Множественная корреляция* – это объединенная корреляция между зависимой переменной и всеми независимыми переменными.

Характер корреляции между двумя признаками существенно зависит от того, по какому третьему признаку мы определяем принадлежность элементов к изучаемой совокупности. Например, вычисление корреляции между массой зерновки и ее длиной не устанавливает существенной связи этих признаков. Однако если брать зерновки одинаковой ширины, то корреляционная связь будет существенной, а если еще и одинаковой толщины, то практически функциональной. Другой пример: вычисление коэффициента корреляции между урожайностью и годовым количеством осадков даст искаженное представление об их связи, т. к. необходимо учесть температурный режим и распределение осадков по датам, особенно в вегетационный период. Аналогичная ситуация наблюдается и при оценке связи доз азотных удобрений с урожайностью, если не учитываем обеспеченность растений другими элементами питания. Из приведенных примеров видно, что определение степени частного воздействия отдельных переменных на результативный признак при исключении (элиминировании) связи его с другими признаками, искажающими эту корреляцию, пред-

ставляет практический интерес. Задача формулируется следующим образом: помимо коэффициента корреляции между двумя признаками  $X$  и  $Y$ , когда на значения какого-либо третьего признака  $Z$  не налагается никаких ограничений, необходимо найти коэффициент корреляции между этими признаками при условии, что признак  $z$  имеет постоянное значение.

Простой формой множественной связи является линейная зависимость между тремя признаками, когда один из них, например урожай, рассматривается как функция ( $Y$ ), а два другие – как аргументы ( $X$  и  $Z$ ):



В качестве меры тесноты линейной связи трех переменных используют коэффициенты *простой (общей)*, *частной (парциальной)* и *множественной* корреляции, которые обозначают соответственно  $r_{xy}$ ,  $r_{xz}$ ,  $r_{zy}$ ;  $r_{xy(z)}$ ,  $r_{xz(y)}$ ,  $r_{zy(x)}$  и  $R_{x(yz)}$ ,  $R_{y(xz)}$ ,  $R_{z(xy)}$ . Здесь в индексах для коэффициента частной корреляции буквы перед скобками указывают, между какими признаками изучается зависимость, а буква в скобках – влияние статистически исключаемого признака (элиминируется).

Для решения задачи надо бы отбирать в совокупность только те варианты, которые соответствуют какому-либо одному уровню признака  $Z$ . Это очень затрудняет решение. Математическая статистика позволяет установить корреляцию между двумя признаками при постоянном значении третьего, не ставя специального эксперимента, а используя коэффициенты парной (простой) корреляции  $r_{xy}$ ,  $r_{xz}$  и  $r_{yz}$ . Коэффициенты частной корреляции рассчитывают по формулам:

$$r_{yx(z)} = \frac{r_{yx} - r_{xz} \cdot r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}}$$

$$r_{xz(y)} = \frac{r_{xz} - r_{yx} \cdot r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{yx}^2)(1 - r_{yz}^2)}}$$

$$r_{yz(x)} = \frac{r_{yz} - r_{yx} \cdot r_{xz}}{\sqrt{(1 - r_{yx}^2)(1 - r_{xz}^2)}}$$

Ошибку и критерий значимости частной корреляции определяют по тем же формулам, что и простой (общей) корреляции:

$$s_{r_{yx(z)}} = \sqrt{\frac{1 - r_{yx(z)}^2}{n - k - 2}}$$

где:  $n$  – объем выборки;  
 $k$  – число элиминируемых факторов.

Существенность коэффициента корреляции вычисляют по формуле (преобразование в формуле  $t_\phi = \frac{r_{yx(z)}}{s_{r_{yx(z)}}}$ ):

$$t_\phi = r_{yx(z)} \sqrt{\frac{n - k - 2}{1 - r_{yx(z)}^2}}$$

Коэффициенты частной корреляции могут принимать значения от  $-1$  до  $+1$ . Коэффициенты частной детерминации находят путем возведения в квадрат коэффициентов частной корреляции:

$$d_{yx(z)} = r_{yx(z)}^2;$$

$$d_{xz(y)} = r_{xz(y)}^2;$$

$$d_{yz(x)} = r_{yz(x)}^2.$$

Как следует из приведенных формул, для нахождения коэффициента частной корреляции, например,  $r_{yx(z)}$  нужно сначала найти обычным образом коэффициенты простой (парной) корреляции  $r_{yx}$ ,  $r_{xz}$  и  $r_{yz}$ , а затем воспользоваться приведенной выше формулой.

Аналогичным образом можно вычислить коэффициент частной корреляции между переменными  $x$  и  $y$  при постоянных значениях нескольких переменных ( $z$ ,  $u$ ,  $k$  и т. д.). Соответствующие коэффициенты частной корреляции  $r_{yx(zu)}$ ,  $r_{yx(zuk)}$  и т. д. вычисляют по формулам, обобщающим формулы для вычисления коэффициентов частной корреляции для трех переменных:

$$r_{yx(zu)} = \frac{r_{xy(zu)} - r_{xz(u)} \cdot r_{yz(u)}}{\sqrt{(1 - r_{xz(u)}^2)(1 - r_{yz(u)}^2)}}$$

т. е. к индексам всех величин, входящих в формулу:

$$r_{yx(z)} = \frac{r_{xy} - r_{xz} \cdot r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}}$$

просто добавлено ( $u$ ). Таким образом, чтобы вычислить коэффициент частной корреляции с элиминированием двух переменных, последовательно вычисляют все коэффициенты простой корреляции, затем с элиминированием двух переменных, затем трех и т. д.

Иногда возникает необходимость вычислить коэффициенты простой корреляции по известным коэффициентам частной. Тогда используется формула:

$$r_{yx} = \frac{r_{yx(z)} + r_{xz(y)}r_{yz(x)}}{\sqrt{(1 - r_{xz(y)}^2) + (1 - r_{yz(x)}^2)}}$$

*Пример.* Рассмотрим связь между урожайностью сои, высотой растений и массой 1000 зерен (табл. 52). Данные, которые предстоит оценить, представлены 14-ью измерениями ( $n=14$ ) трех переменных ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ).

Таблица 52 – Высота растений, масса 1000 зерен и урожайность сои

Высота растений $x$ , см	Масса 1000 зерен $y$ , г	Урожайность $z$ , ц/га
62	217	19
66	199	16
63	212	20
82	242	17
74	223	27
54	235	25
43	235	25
77	210	15
74	234	25
63	225	19
64	218	23
73	218	12
45	198	20
44	200	17

Вычисляем коэффициенты простой (парной) корреляции, их ошибки и значимость. Для установления корреляции используем приведенные ранее формулы, а в Microsoft Excel – функцию PEARSON. В нашем примере:

$$r_{xy} = 0,309, \quad r_{xz} = -0,234, \\ r_{yz} = 0,455.$$

Для нахождения ошибки и значения критерия достоверности преобразуем  $r$  через  $z$ , воспользовавшись функцией «=ФИШЕР( $x$ )» или таблицей приложения 12).

$$z_{xy} = 0,319, \quad z_{xz} = -0,238, \\ z_{yz} = 0,491.$$

Ошибку вычисляем по формуле  $s_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}} = \frac{1}{\sqrt{14-1}} = 0,302$ .

Для оценки значимости коэффициентов корреляции используем  $t$ -критерий, который вычисляется делением значения  $z$  на его ошибку:

$$t_{xy} = 0,319/0,302=1,056, \quad t_{xz} = -0,238/0,302=-0,788, \quad t_{yz} = 0,491/0,302=1,626.$$

Теоретическое значение критерия  $t$  находят по таблице или в Microsoft Excel «=СТЮДЕНТ.ОБР.2Х(вероятность;степени\_свободы)», принимая 5%-ный уровень значимости, и число степеней свободы равным  $n-2 - t_{05}=2,179$  при 12 степенях свободы. Величина  $t_{05}$  превышает  $t_{\text{факт}}$  вычисленные для всех  $z$ , что указывает на незначимость всех вычисленных коэффициентов корреляции.

В этом примере должно насторожить отсутствие связи урожайности и массы 1000 зерен. Существует вероятность, что высота растений вносит коррективы в эту зависимость. Чтобы проверить эту гипотезу, рассчитаем коэффициенты частной корреляции и их значимость.

$$r_{yx(z)} = \frac{r_{xy} - r_{xz} \cdot r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}} = \frac{0,309 - (-0,234 \cdot 0,455)}{\sqrt{[1 - (-0,234^2)](1 - 0,455^2)}} = 0,480.$$

$$t_{\phi} = r_{yx(z)} \sqrt{\frac{n - k - 2}{1 - r_{yx(z)}^2}} = 0,480 \sqrt{\frac{14 - 1 - 2}{1 - 0,480^2}} = 1,814.$$

$$r_{xz(y)} = \frac{r_{xz} - r_{yx} \cdot r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{yx}^2)(1 - r_{yz}^2)}} = \frac{-0,234 - 0,309 \cdot 0,455}{\sqrt{(1 - 0,309^2)(1 - 0,455^2)}} = -0,442,$$

$$t_{\phi} = r_{xz(y)} \sqrt{\frac{n-k-2}{1-r_{xz(y)}^2}} = -0,442 \sqrt{\frac{14-1-2}{1-(-0,442)^2}} = -1,634;$$

$$r_{yz(x)} = \frac{r_{yz} - r_{yx} \cdot r_{xz}}{\sqrt{(1-r_{yx}^2)(1-r_{xz}^2)}} = \frac{0,455 - (-0,234) \cdot 0,309}{\sqrt{(1-(-0,234)^2)(1-0,309^2)}} = 0,570.$$

$$t_{\phi} = r_{yz(x)} \sqrt{\frac{n-k-2}{1-r_{yz(x)}^2}} = -0,570 \sqrt{\frac{14-1-2}{1-0,570^2}} = 2,301.$$

На 5%-ном уровне значимости и числе степеней свободы, равном  $n-k-2$  (число степеней свободы уменьшается на количество элиминированных переменных),  $t_{05}=2,201$ . Поочередное статистическое исключение влияния одной из переменных повышает силу связи между двумя остальными, что позволило выявить существенную среднюю силы зависимость между урожайностью и массой 1000 зерен  $r_{yz(x)} = 0,570$ .

При использовании метода частных корреляций следует иметь в виду, что чем больше переменных принято во внимание, тем строже должна соблюдаться линейность всех корреляций – иначе формулы для перехода от коэффициентов простой корреляции к коэффициентам частной и обратно дают слишком неточные результаты. Поскольку в реальных совокупностях биологических объектов корреляция никогда не бывает строго линейной, то нахождение коэффициентов частной корреляции при исключении более чем одной переменной является в значительной мере бессмысленным. Исключение составляют многотысячные выборки, где достаточно надежно можно выявлять линейность корреляции.

**Множественная корреляция.** Коэффициент множественной корреляции трех переменных – это показатель тесноты линейной связи между одной из переменных и совокупностью двух других переменных (буквы-индекса в скобках). Расчет коэффициентов множественной корреляции чаще всего применяют для выявления структуры связей комплекса признаков и установления наиболее значимых связей. Силу совокупной взаимосвязи трех переменных (коэффициент множественной корреляции), когда измеряется совместное взаимодействие двух переменных с третьей, вычисляют по формуле:

$$R_{x(yz)} = \sqrt{\frac{r_{xy}^2 + r_{xz}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz}}{1 - r_{yz}^2}};$$

$$R_{y(xz)} = \sqrt{\frac{r_{xy}^2 + r_{yz}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz}}{1 - r_{xz}^2}};$$

$$R_{z(xy)} = \sqrt{\frac{r_{xz}^2 + r_{yz}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz}}{1 - r_{xy}^2}}.$$

Коэффициент  $R$  не может принимать отрицательных значений и всегда находится в интервале от 0 до 1. При приближении  $R$  к единице степень линейной связи трех переменных увеличивается. Каждый из коэффициентов парной (простой) корреляции по абсолютной величине не может превышать коэффициент множественной корреляции  $R_{y(xz)}$ .

Квадрат коэффициента множественной корреляции  $R^2$  называется *коэффициентом множественной детерминации*. Он показывает долю вариации зависимой переменной под воздействием независимых переменных, т. е. долю вариации оцениваемого признака под воздействием изучаемых факторов.

Для оценки значимости коэффициента множественной корреляции можно использовать критерий Фишера ( $F$ -критерий):

$$F_{\phi} = \frac{R^2}{1 - R^2} \times \left( \frac{n - k}{k - 1} \right),$$

где:  $R^2$  – коэффициент множественной детерминации (квадрат коэффициента множественной корреляции);  
 $n$  – объем выборки;  
 $k$  – число признаков.

Теоретическое значение  $F$ -критерия берут из таблиц или в Microsoft Excel функция «F.ОБР.ПХ(вероятность;степени\_свободы1;степени\_свободы2)» [в зависимости от версии программы это может быть ФРАС-ПОБР(вероятность;степени\_свободы1;степени\_свободы2)] для числа степеней свободы 1 равном  $k-1$ , степеней свободы 2 –  $n-k$  и выбранного уровня значимости. Нулевая гипотеза о равенстве коэффициента множественной корреляции в совокупности нулю ( $H_0: R = 0$ ) принимается, если  $F_{\phi} < F_{\text{теор}}$ , и отвергается при  $F_{\phi} \geq F_{\text{теор}}$ .

*Пример.* Вычислим коэффициенты множественной корреляции между урожайностью, высотой растений и массой 1000 зерен (табл. 52). В комплексе состоящем из 14 ( $n=14$ ) измерений трех ( $k=3$ ) переменных (высота растений,  $x$ ; масса 1000 зерен,  $y$ ; урожайность,  $z$ ) установлены следующие коэффициенты простой (парной) корреляции:  $r_{xy} = 0,309$ ,  $r_{xz} = -0,234$ ,  $r_{yz} = 0,455$ . В анализируемом комплексе можно вычислить три коэффициента множественной корреляции (по числу изучаемых переменных).

$$R_{x(yz)} = \sqrt{\frac{r_{xy}^2 + r_{xz}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz}}{1 - r_{yz}^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,309^2 + (-0,234)^2 - 2 \cdot 0,309 \cdot (-0,234) \cdot 0,455}{1 - 0,455^2}} = 0,522,$$

$$R_{x(yz)}^2 = 0,272, \quad F_{\phi} = \frac{R^2}{1 - R^2} \times \left( \frac{n - k}{k - 1} \right) = \frac{0,272}{1 - 0,272} \times \left( \frac{14 - 3}{3 - 1} \right) = 2,055;$$

$$R_{y(xz)} = \sqrt{\frac{r_{xy}^2 + r_{yz}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz}}{1 - r_{xz}^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,309^2 + 0,455^2 - 2 \cdot 0,309 \cdot (-0,234) \cdot 0,455}{1 - (-0,234^2)}} = 0,624,$$

$$R_{y(xz)}^2 = 0,389, \quad F_{\Phi} = \frac{0,389}{1 - 0,389} \times \left( \frac{14 - 3}{3 - 1} \right) = 3,502;$$

$$R_{z(xy)} = \sqrt{\frac{r_{xz}^2 + r_{yz}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz}}{1 - r_{xy}^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(-0,234^2) + 0,455^2 - 2 \cdot 0,309 \cdot (-0,234) \cdot 0,455}{1 - 0,309^2}} = 0,602,$$

$$R_{z(xy)}^2 = 0,362, \quad F_{\Phi} = \frac{0,362}{1 - 0,362} \times \left( \frac{14 - 3}{3 - 1} \right) = 3,121.$$

$F_{05} = 3,982$  при степенях свободы  $1 \ k-1=3-1=2$  и степенях свободы  $2 \ n-k=14-3=11$ . Значение  $F_{05}$  больше, чем все вычисленные значения  $F_{\text{факт}}$ , следовательно, все три коэффициента множественной корреляции недостоверны. Причину предстоит найти исследователю, а начинать необходимо с увеличения объема выборки.

*Пример.* При анализе структуры урожая пшеницы в 14 вариантах густоты стояния растений ( $n=14$ ) установлены следующие коэффициенты корреляции: между урожайностью ( $Y$ ) и количеством растений на  $1 \text{ м}^2$  ( $X$ ) -  $r_{yx}=0,61$ ; количеством растений и продуктивной кустистостью ( $Z$ ) -  $r_{xz} = -0,25$ ; урожайностью и продуктивной кустистостью -  $r_{yz}=0,35$ . Степень зависимости урожайности от продуктивной кустистости и количества растений на  $1 \text{ м}^2$  характеризует коэффициент множественной корреляции  $R_{y(xz)}$ :

$$R_{y(xz)} = \sqrt{\frac{r_{xy}^2 + r_{yz}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz}}{1 - r_{xz}^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,61^2 + 0,35^2 - 2 \times 0,61 \times (-0,25) \times 0,35}{1 - (-0,25^2)}} = 0,80$$

$$F_{\Phi} = \frac{R^2}{1 - R^2} \times \left( \frac{n - k}{k - 1} \right) = \frac{0,80^2}{1 - 0,80^2} \times \left( \frac{14 - 3}{3 - 1} \right) = 9,86$$

$F_{05}=3,98$  при  $2 \ (k-1)$  и  $11 \ (n-k=14-3)$  степенях свободы меньше, чем  $F_{\Phi}$ , что свидетельствует о значимости коэффициента множественной корреляции. Коэффициент множественной детерминации  $R^2=0,64$  показывает,

что примерно 64 % вариации урожайности обусловлено влиянием густоты стояния растений и их продуктивной кустистостью и 36 % вариации ( $1-R^2$ ) обусловлено неучтенными факторами.

**Множественная линейная регрессия.** Для ответа на вопрос, насколько изменяется  $Y$  при изменении независимых переменных на единицу измерений, необходимо решить уравнение:

$$Y = a + b_1X + b_2Z,$$

где:  $Y$  – зависимая переменная;

$X$  и  $Z$  – независимые переменные;

$a$  – ордината линий, когда  $X=0$  и  $Z=0$ , т. е. это общее начало отсчета;

$b_1$  и  $b_2$  – коэффициенты частной регрессии.

Количество переменных в приведенном уравнении может быть существенно большим. Однако при этом возникают трудности с интерпретацией результатов, поэтому в практических исследованиях взаимосвязь более трех переменных рассматривается крайне редко.

С наибольшей точностью зависимость переменной  $Y$  от совместного влияния переменных  $X$  и  $Z$  будет описывать уравнение, преобразующее сумму квадратов отклонений фактических значений переменной  $Y$  от ее расчетных значений к минимальным. Коэффициенты  $a$ ,  $b_1$  и  $b_2$  вычисляются путем решения системы уравнений. Для сокращения числа уравнений и упрощения расчетов величины переменных заменяют их отклонением от средних, при этом сумма этих отклонений равна нулю:  $\sum y = \sum x = \sum z = 0$ . Для определения коэффициентов в уравнении  $y = b_1x + b_2z$  решаем уравнения:

$$b_1 \sum x^2 + b_2 \sum xz = \sum xy$$

$$b_1 \sum zx + b_2 \sum z^2 = \sum zy.$$

Для перехода в исходные единицы вычисляют  $a = \bar{Y} - b_1\bar{X} - b_2\bar{Z}$ , и уравнение примет вид  $Y = a + b_1X + b_2Z$ .

*Пример.* Рассмотрим технику расчетов уравнения множественной регрессии. Для примера возьмем кодированные данные зависимости удельной массы клубней картофеля ( $Y$ ) от содержания азота ( $X$ ) и фосфора ( $Z$ ) (табл. 53).

Для расчета используйте функции Microsoft Excel:

– суммы – «=СУММ(число1, число2,...)» или указать диапазон

ячеек электронной таблицы, например, B92:B111 – «=СУММ(B92:B111);

– среднее – «=СРЗНАЧ(B92:B111)»;

– сумма квадратов – «=СУММКВ(B92:B111)»;

– сумма произведений – «=СУММПРОИЗВ(B92:B111;C92:C111)».

Вычисляем:

1. Коэффициенты простой детерминации и корреляции:

$$r_{yx}^2 = \frac{(\sum yx)^2}{\sum y^2 \sum x^2} = \frac{-29218,35^2}{5117295 \times 21240,55} = 0,7854$$

или функция «=КВПИРСОН(B92:B111;C92:C111)»;

Таблица 53 – Удельная масса, содержание азота и фосфора в клубнях картофеля

Выборка	Удельная масса Y	Содержание азота X	Содержание фосфора Z	$y=Y-Y_{cp.}$	$x=X-X_{cp.}$	$z=Z-Z_{cp.}$	
A	B	C	D	E	F	G	
92	1	2	96	40	-71,95	33,35	14,80
93	2	14	82	36	-59,95	19,35	10,80
94	3	15	121	30	-58,95	58,35	4,80
95	4	15	88	42	-58,95	25,35	16,80
96	5	16	100	28	-57,95	37,35	2,80
97	6	27	114	26	-46,95	51,35	0,80
98	7	48	71	33	-25,95	8,35	7,80
99	8	54	94	26	-19,95	31,35	0,80
100	9	58	74	15	-15,95	11,35	-10,20
101	10	68	36	35	-5,95	-26,65	9,80
102	11	82	36	25	8,05	-26,65	-0,20
103	12	83	73	15	9,05	10,35	-10,20
104	13	91	58	26	17,05	-4,65	0,80
105	14	97	31	25	23,05	-31,65	-0,20
106	15	98	38	24	24,05	-24,65	-1,20
107	16	101	56	11	27,05	-6,65	-14,20
108	17	128	24	22	54,05	-38,65	-3,20
109	18	140	37	11	66,05	-25,65	-14,20
110	19	163	10	24	89,05	-52,65	-1,20
111	20, n=20	179	14	10	105,05	-48,65	-15,20
112	Суммы	$\Sigma Y=1479$	$\Sigma X=1253$	$\Sigma Z=504$	$\Sigma y=0,00$	$\Sigma x=0,00$	$\Sigma z=0,00$
113	Среднее	73,95	62,65	25,20			
114	Сумма квадратов	$\Sigma Y^2=160545,00$	$\Sigma X^2=99741,00$	$\Sigma Z^2=14364,00$	$\Sigma y^2=51172,95$	$\Sigma x^2=21240,55$	$\Sigma z^2=1663,20$
115	Квадрат суммы/n	$(\Sigma Y)^2/n=109372,05$	$(\Sigma X)^2/n=78500,45$	$(\Sigma Z)^2/n=12700,8$			
116	Сумма произведений	$\Sigma YX=63441$	$\Sigma YZ=30659$	$\Sigma XZ=34160$	$\Sigma yx=-29218,35$	$\Sigma yz=-6611,8$	$\Sigma xz=2584,4$

$r_{YX} = \sqrt{r_{YX}^2} = \sqrt{0,7854} = -0,8862$  (отрицательный знак коэффициента корреляции обусловлен отрицательным выражением  $\Sigma yx$ ) или «=PEARSON(B92:B111;C92:C111)»;

$$r_{YZ}^2 = \frac{(\Sigma yz)^2}{\Sigma y^2 \Sigma z^2} = 0,5136 \text{ или «=КВПИРСОН(B92:B111;D92:D111)»};$$

$$r_{YZ} = \sqrt{r_{YZ}^2} = \sqrt{0,5136} = -0,7167 \text{ или «=PEARSON(B92:B111;D92:D111)»};$$

$$r_{XZ}^2 = \frac{(\Sigma xz)^2}{\Sigma yx^2 \Sigma z^2} = 0,1891 \text{ или «=КВПИРСОН(C92:C111;D92:D111)»};$$

$$r_{XZ} = \sqrt{r_{XZ}^2} = \sqrt{0,1891} = 0,4348 \text{ или «=PEARSON(C92:C111;D92:D111)»}.$$

2. Коэффициенты частной корреляции вычисляем по формуле (встроенных функций в Microsoft Excel нет):

$$r_{YX(Z)}^2 = \frac{(r_{YX} - r_{YZ} \cdot r_{XZ})^2}{(1 - r_{XZ}^2)(1 - r_{YZ}^2)} = \frac{[-0,8862 - (-0,7167) \cdot 0,4348]^2}{(1 - 0,5136)(1 - 0,1891)} = 0,8370,$$

$$r_{YX(Z)} = \sqrt{r_{YX(Z)}^2} = \sqrt{0,8370} = 0,9149;$$

$$r_{YZ(X)}^2 = \frac{(r_{YZ} - r_{YX} \cdot r_{XZ})^2}{(1 - r_{YX}^2)(1 - r_{XZ}^2)} = \frac{[-0,7167 - (-0,8862) \cdot 0,4348]^2}{(1 - 0,7854)(1 - 0,1891)} = 0,6310,$$

$$r_{YZ(X)} = \sqrt{r_{YZ(X)}^2} = \sqrt{0,6310} = 0,7944;$$

3. Коэффициент множественной корреляции:

$$R_{Y(XZ)}^2 = \frac{r_{YZ}^2 + r_{YX}^2 - 2 \cdot r_{YX} \cdot r_{YZ} \cdot r_{XZ}}{1 - r_{XZ}^2} =$$

$$= \frac{0,5136 + 0,7854 - 2 \cdot (-0,8862) \cdot (-0,7167) \cdot 0,4348}{1 - 0,1891} = 0,9208,$$

$$R_{Y(XZ)} = \sqrt{R_{Y(XZ)}^2} = \sqrt{0,9208} = 0,9596.$$

Коэффициенты корреляции рассчитаны. Они показывают, что удельная масса клубней тесно связана с содержанием в них азота ( $r_{YX} = -0,8862$ ) – его изменчивостью обусловлено 78,54 % ( $r_{YX}^2 = 0,7854$ ) вариабельности. Зависимость удельной массы клубней от содержания фосфора не столь значительная, его влиянием обусловлено лишь 51,36 % ( $r_{YZ}^2 = 0,5136$ ) вариабельности удельной массы клубней. При одинаковом содержании в клубнях фосфора вариабельность удельной массы на 83,70 % ( $r_{YX(Z)}^2 = 0,8370$ ) обусловлена азотом, а при одинаковом количестве азота – на 63,10 % ( $r_{YZ(X)}^2 = 0,6310$ ) фосфором. Вместе с тем, совместное влияние содержания азота и фосфора в клубнях обуславливает 92,08 % ( $R_{Y(XZ)}^2 = 0,9208$ ) вариабельности удельной массы клубней.

Для количественной оценки влияния содержания азота и фосфора в клубнях на их удельную массу и описания взаимосвязи между этими переменными рассчитываем уравнение регрессии. В уравнения  $b_1 \sum x^2 + b_2 \sum xz = \sum xy$  и  $b_1 \sum xz + b_2 \sum z^2 = \sum zy$  подставляем известные значения и вычисляем коэффициенты  $a$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ .

$$21240,55 b_1 + 2584,40 b_2 = -29218,35$$

$$2584,40 b_1 + 1663,20 b_2 = -6611,80.$$

Умножаем первое уравнение на 2584,40, а второе – на 21240,55 и производим вычитание:

$$54894077 b_1 + 6679123,36 b_2 = -75511903,74$$

$$\underline{54894077 b_1 + 35327282,76 b_2 = -140438268,49}$$

$$28648159,40 b_2 = 64926364,75$$

$$b_2 = -2,2663$$

Зная величину  $b_2$ , рассчитаем  $b_1$ :

$$21240,55 b_1 + 2584,40 \times (-2,2663) = -29218,35$$

$$b_1 = (-29218,35 + 5857,12) / 21240,55 = 1,099,$$

а затем  $a$ :

$$a = Y - b_1X - b_2Z = 73,95 - (-1,099 \times 62,65) - (-2,266 \times 25,20) = 199,967.$$

Уравнение регрессии, описывающее взаимосвязь удельной массы клубней с содержанием в них азота и фосфора, имеет вид:

$$Y = 199,967 - 1,099X - 2,266Z.$$

Это уравнение можно использовать для расчета теоретических значений  $Y$  для заданных значений  $X$  и  $Z$ . Значимость уравнения регрессии оценивают по  $F$ -критерию. Для его определения расчленим сумму квадратов отклонений на дисперсию, обусловленную регрессией и отклонением от нее (табл. 54).

Таблица 54 – Результаты регрессионного анализа, представленные в виде таблицы дисперсионного анализа (первым рассматривается влияние азота)

Источник варьирования	Метод расчета	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат	$F_{\phi}$	$F_{05}$	$F_{01}$
Общий	$\sum y^2$	51172,95	19	2693,313			
Регрессия на $X$	$r_{YX}^2 \cdot (\sum y^2)$	40191,23	1	40191,23	65,88	4,41	8,29
Отклонение от регрессии	$(1 - r_{YX}^2) \cdot \sum y^2$	10981,72	18	610,0953			
Дополнительная регрессия на $Z$	$r_{YZ(X)}^2 \cdot (1 - r_{YX}^2) \cdot \sum y^2$	6929,462	1	6929,462	29,07	4,45	8,40
Отклонение от множественной регрессии	$(1 - R_{Y(XZ)}^2) \cdot \sum y^2$	4052,898	17	238,4057			

$F$ -критерий показывает значимость регрессии на  $X$  и на  $Z$ . Сумма квадратов отклонений от множественной регрессии (4052,898) характеризует вариацию удельной массы клубней ( $Y$ ), не связанную с вариацией в содержании азота ( $X$ ) и фосфора ( $Z$ ). Корень квадратный из среднего квадрата для остаточной дисперсии называется стандартной ошибкой оценки:

$$s_{Y(XZ)} = \sqrt{238,4057} = 15,44.$$

В приведенном выше анализе рассматривалось влияние азота, а затем дополнительное действие фосфора. Если вначале рассматривать общее влияние фосфора, а затем дополнительное – азота, то получим несколько иные результаты (табл. 55).

В первом случае изменчивость, обусловленная дополнительной регрессией (содержание фосфора), была значительно меньше, чем во втором, когда за дополнительную регрессию было принято влияние азота. Обусловлено это разной степенью связи удельной массы клубней с содержанием азота и с содержанием фосфора:  $r_{YX}^2 = 0,7854$  и  $r_{YZ}^2 = 0,5136$ .

Таблица 55 – Результаты регрессионного анализа, представленные в виде таблицы дисперсионного анализа (первым рассматривается влияние фосфора)

Источник вариирования	Метод расчета	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат	F <sub>ф</sub>	F <sub>05</sub>	F <sub>01</sub>
Общая	$\sum y^2$	51172,95	19	2693,313			
Регрессия на Z	$r_{YZ}^2 \cdot (\sum y^2)$	26282,43	1	26282,43	19,01	4,41	8,29
Отклонение от регрессии	$(1 - r_{YZ}^2) \cdot \sum y^2$	24890,52	18	1382,807			
Дополнительная регрессия на X	$r_{YX(Z)}^2 \cdot (1 - r_{YZ}^2) \cdot \sum y^2$	20833,37	1	20833,37	87,39	4,45	8,40
Отклонение от множественной регрессии	$(1 - R_{Y(XZ)}^2) \cdot \sum y^2$	4052,898	17	238,4057			

В практике агрохимических исследований при постановке эксперимента независимые переменные имеют фиксированные значения с определенным интервалом. Например, норма высева – 4, 6, 8 и 10 млн. зерен/га, доза азота – 30, 60 и 90 кг/га. Расчет уравнения множественной регрессии в таких опытах принципиально не изменяется. Для расчета необходимо сформировать таблицу, в которую записываются значения независимых переменных и среднее по повторениям зависимой. Например, результаты двухфакторного опыта по изучению зависимости урожайности от доз удобрения и нормы высева формируются в таблицу 56. Расчеты выполняем, как описано в примере выше. Произведя вычисления, получаем следующие результаты:

1. Коэффициенты простой корреляции:

$$r_{YX}^2 = 0,5017 \quad r_{YZ}^2 = 0,2268 \quad r_{XZ}^2 = 0$$

$$r_{YX} = 0,7083 \quad r_{YZ} = 0,4763 \quad r_{XZ} = 0$$

2. Коэффициенты частной корреляции:

$$r_{YX(Z)}^2 = 0,6488 \quad r_{YZ(X)}^2 = 0,4553$$

$$r_{YX(Z)} = 0,8055 \quad r_{YZ(X)} = 0,6748$$

3. Коэффициент множественной корреляции:

$$R_{Y(XZ)}^2 = 0,7285 \quad R_{Y(XZ)} = 0,8535$$

Уравнение регрессии, описывающее взаимосвязь удельной массы клубней с содержанием в них азота и фосфора, имеет вид:  $Y = 1,184 + 1,775X + 0,436Z$ .

Графически уравнения множественной регрессии можно

Таблица 56 – Исходные данные для расчета множественной регрессии

Урожайность Y	Доза азота X	Норма высева Z
3,45	0	4
3,9	0	6
3,7	0	8
3,8	0	10
5	1	4
7,3	1	6
7,7	1	8
8,25	1	10
4,95	2	4
6,9	2	6
7,35	2	8
9,85	2	10

представить в виде трехмерной поверхности отклика (трехмерная диаграмма) или срезами поверхности отклика. Построение графика «срезов» и вычисление уравнения регрессии для каждого из них проводят с использованием средств Microsoft Excel или вручную, как это уже описывалось ранее в разделе с расчетом уравнения криволинейной регрессии. Выполнив необходимые процедуры расчета, включая расчет линии тренда и уравнения регрессии результат, представленный в виде графиков (рис. 94). На рисунке 94а представлены уравнения и кривые отклика для эффектов нормы высева по каждому уровню обеспеченности азотом, а на рисунке 94б – то же самое для эффектов азота по каждой норме высева.

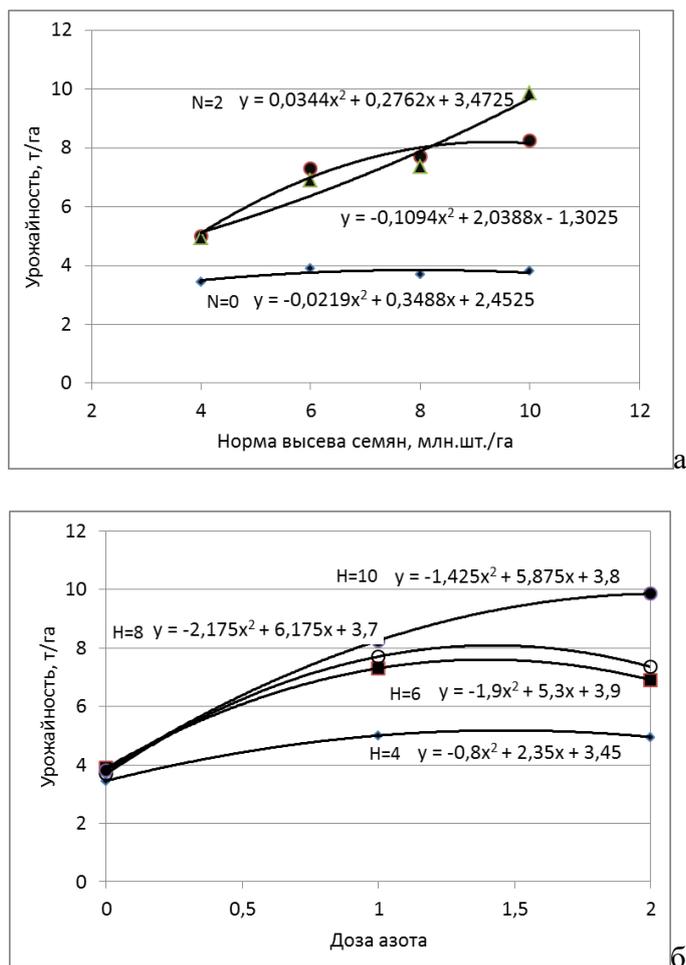


Рис. 90. Срезы поверхности отклика: а – эффекты нормы высева семян на каждом уровне обеспеченности азотом; б – эффекты уровней обеспеченности азотом на каждой норме высева семян

### 5.7.4. Корреляция качественных признаков

*Среди статистических показателей нет ни одного, который бы более соответствовал биологическим задачам, чем коэффициент корреляции, и, пожалуй, нет такого статистического метода, который столь широко применялся бы к самым разнообразным данным, как корреляционный анализ.*

**М.Е. Подтягин**

Если признаки качественные, то они распределяются на классы. Наиболее простая качественная вариация – альтернативная, при которой выделяют 2 класса. Например, пораженные и устойчивые растения, посев с удобрением и без удобрения; опущенные и неопущенные листья, черные или белые цветки и т. д. В таких случаях вычисление корреляции позволяет решить вопрос – встречается ли совпадение присутствия обоих качественных признаков или их отсутствие чаще, чем это должно быть по случайным причинам. Данные учета заносятся в таблицу, которую называют корреляционной решеткой (табл. 57). Классами нуль (0) или плюс (+) и единица (1) или минус (–) обозначают два качественных признака или отсутствие и присутствие одного какого-либо признака.

Таблица 57 – Схема систематизации данных (корреляционная решетка) при альтернативной изменчивости

Y \ X	0	1	Сумма
0	a	b	a+b
1	c	d	c+d
Сумма	a+c	b+d	n = a+b+c+d

Для вычисления коэффициента корреляции используют формулу Юла:

$$r = \frac{ad - bc}{\sqrt{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}}$$

где:  $a, b, c, d$  – частоты признаков.

Группировка на классы является очень грубой, поэтому коэффициент корреляции может быть завышенным. Более правильное его значение получается при внесении в формулу поправки:

$$r = \frac{|ad - bc| - \frac{n}{2}}{\sqrt{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}}$$

Ошибка коэффициента корреляции и  $t$ -критерий рассчитывают по формулам:

$$s_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}}; \quad t_r = \frac{r}{s_r}.$$

Например, изучалось влияние кремния на устойчивость риса к поражению пирикулярриозом. Опыт включал два варианта: с применением

кремниевых удобрений и без них. В выборке с каждого варианта произведен подсчет пораженных болезнью растений. Результаты учета представлены в таблице 58.

Таблица 58 – Влияние кремниевых удобрений на устойчивость растений риса к пирикулярриозу

Растения	Пораженные (0)	Непораженные (1)	Сумма
Без кремниевого удобрения (0)	221 (a)	45 (b)	266 (a+b)
С кремниевым удобрением (1)	32 (c)	252 (d)	284 (c+d)
Сумма	253 (a+c)	297 (b+d)	550 (n = a+b+c+d)

$$r = \frac{ad - bc}{\sqrt{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}} = \frac{221 \times 252 - 45 \times 32}{\sqrt{266 \times 284 \times 253 \times 297}} = 0,72;$$

$$s_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,72^2}{550 - 2}} = 0,03;$$

$$t_r = \frac{r}{s_r} = \frac{0,72}{0,03} = 24;$$

$$t_{05}=1,96; \quad t_{01}=2,58$$

На основании вычисленного коэффициента корреляции делается заключение о наличии сильной связи устойчивости растений к поражению пирикулярриозом и их обеспеченностью кремнием ( $r=0,72 \pm 0,03$ ) существенной на 1 % уровне значимости ( $t_r > t_{01}$ ).

### 5.7.5. Корреляция между качественными и количественными признаками

*Существует достаточно света для тех, кто хочет видеть, и достаточно мрака для тех, кто не хочет.*

**Б. Паскаль**

В практике сельскохозяйственных исследований довольно часто необходимо оценить связь признака, который можно измерить (количественный) и признака, у которого отмечается только присутствие или отсутствие какого-либо свойства (качественный), т. е. изучается корреляция между количественным и качественным признаками. Например, продуктивности растений – ее можно измерить, и поражением вредителем (оценивается альтернативно – пораженное или здоровое); массы зерна с растения и расположением флаг-листа (вертикальное или горизонтальное). В этих случаях коэффициент корреляции вычисляют по формуле:

$$r = \frac{(\sum f_1 X : n_1) - (\sum f X : n)}{s} \sqrt{\frac{n_1}{n - n_1}},$$

где:  $X$  – значение количественной переменной;  
 $f$  – частота встречаемости каждой варианты количественного признака  
 $f_1$  – частота встречаемости количественного признака с наличием качественного;  
 $n$  – общее число всех наблюдений;  
 $n_1$  – число наблюдений с наличием качественного признака;  
 $s$  – общее стандартное отклонение для количественного признака.

Для примера вычислим коэффициент корреляции между массой зерна с растения и ориентацией флаг-листа. Результаты учета и вспомогательные вычисления приведены в таблице 59.

Таблица 59 – Влияние ориентации флагового листа на продуктивность растений риса

Масса зерна, $X$	Число растений			$f_1 X$	$f X$	$f X^2$
	вертикальная ориентация флаг-листа, $f_1$	горизонтальная ориентация флаг-листа, $f_2$	всего, $f$			
3,9	3	0	3	11,7	11,7	45,63
3,8	9	2	11	34,2	41,8	158,84
3,7	15	5	20	55,5	74,0	273,80
3,6	18	11	29	64,8	104,4	375,84
3,5	10	6	16	35,0	56,0	196,00
3,4	9	5	14	30,6	47,6	161,84
3,3	1	6	7	3,3	23,1	76,23
Сумма	$n_1=65$		$n=100$	$\sum f_1 X = 235,1$	$\sum f X = 358,6$	$\sum f X^2 = 1288,18$

Стандартное отклонение вычисляют по формуле:

$$s = \sqrt{\frac{\sum f X^2 - (\sum f X)^2 : n}{n - 1}} = \sqrt{\frac{1288,18 - (358,6)^2 : 100}{100 - 1}} = 0,150;$$

$$r = \frac{(\sum f_1 X : n_1) - (\sum f X : n)}{s} \sqrt{\frac{n_1}{n - n_1}} = \frac{(235,1 : 65) - (358,6 : 100)}{0,150} \times \sqrt{\frac{100}{100 - 65}} = 0,282;$$

$$s_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,282^2}{100 - 2}} = 0,097;$$

$$t_r = \frac{r}{s_r} = \frac{0,282}{0,097} = 2,907.$$

Число степеней свободы  $v = n - 2 = 100 - 2 = 98$ .  $t_{05} = 1,96$ ;  $t_{01} = 2,63$

Таким образом, выявлена слабая существенная на 1 % уровне значимости ( $t_r > t_{01}$ ) зависимость между массой зерна с растения и ориентацией флаг-листа ( $r = 0,282 \pm 0,097$ ).

## 5.8. Дисперсионный анализ

*Тенденциозность, предвзятость при отборе объектов для выборочного исследования препятствуют получению правильных общих выводов, делают результаты выборочного исследования непоказательными для всей генеральной совокупности, т. е. не репрезентативными.*

**Н.А. Плохинский**

*Методы дисперсионного анализа позволяют получить ответ на следующие вопросы: 1) значимо ли влияет изучаемый фактор на воспроизводимость и в целом на результат анализа? 2) если найдено, что влияние какого-либо фактора  $F$  в целом значимо, начиная с какого уровня этого фактора  $F_i$  ( $F_1, F_2, \dots, F_k$ ), выборочные средние значимо различаются между собой? 3) какой количественной мерой можно оценить степень этого влияния?*

**А.К. Чарыков**

При постановке вегетационных и особенно полевых опытов никогда не представляется возможным точно оценить степень влияния на результат какого-либо организованного в данном опыте фактора: нормы удобрений, сорта, способы обработки почвы и посева, нормы высева, воздействия регуляторов роста, экологических условий и тому подобное. Происходит это потому, что на результаты экспериментов, наряду с контролируруемыми (изучаемыми) факторами, влияют и неучтенные. Английский ученый Р.А. Фишер (1925) решил проблему отделения доли влияния на результаты опыта этих неучтенных факторов от доли влияния интересующих исследователя факторов. Он разработал и ввел в практику сельскохозяйственных исследований дисперсионный анализ, основанный на открытом им законе распределения отношения средних квадратов (дисперсий):

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2},$$

где:  $S_1^2$  – средний квадрат выборочных средних;

$S_2^2$  – средний квадрат объектов.

В дальнейшем дисперсионный анализ (analysis of Variance – анализ вариантов) стали успешно применять также во многих других областях науки и практической деятельности.

Дисперсионный анализ позволяет устанавливать степень воздействия на объект каждого из учтенных факторов в отдельности, их суммарное действие в любых комбинациях и дополнительный эффект от их разных сочетаний, долю влияния на объект каждого фактора в отдельности и в их сочетаниях, долю влияния неучтенных (случайных) факторов, ошибку опыта, ошибку разности вариантов и повторностей опыта, показатель точности опыта.

В зависимости от числа учитываемых факторов, дисперсионный анализ может быть одно-, двух-, трех- и многофакторным. Техника расчетов при этом несколько различна, но логическая схема остается единой.

Дисперсионный анализ позволяет решать множество разнообразных задач в различных областях науки, когда требуется изучить воздействие природных или искусственно создаваемых факторов на интересующий исследователя признак.

Применение дисперсионного анализа к оценке результатов исследований требует предварительного планирования эксперимента. Это относится не только к постановке опытов, но и к мониторинговым, физико-географическим, почвенным, ботаническим исследованиям естественных биосистем. Непременным условием дисперсионного анализа является разбивка каждого фактора не менее чем на две качественные или количественные градации. Кроме того, в основе этого анализа положены следующие предположения:

1. Случайное, независимое и нормальное распределение компонентов ошибки.
2. Однородность дисперсий различных выборок.
3. Отсутствие корреляций между дисперсиями и средними различных выборок (т. е. независимость дисперсий и средних).
4. Слагаемость главных эффектов.

Если эти предположения серьезно нарушены, применение дисперсионного анализа становится необоснованным, т. е. выводы, сделанные на его основе, не будут корректными. Чтобы применение этого метода было правомерным, прежде всего, как уже отмечалось, необходимо правильно спланировать эксперимент. Лучшей гарантией выполнения первого предположения дисперсионного анализа является рандомизированное расположение вариантов в соответствии со схемой эксперимента. Для устранения несоответствия данных другим предположениям в некоторых случаях используют различные их преобразования:

1. Логарифмическое преобразование используют, когда стандартные отклонения линейно сходны со средними (большей средней соответствует большая дисперсия), или когда главные эффекты не однозначны (мультипликативны, т. е. положение варианта относительно друг друга или контроля различается по повторениям или блокам).
2. Данные учетов редких явлений, где дисперсии связаны со средними, следует преобразовывать через квадратные корни.
3. Данные, выражаемые в долях или процентах, следует преобразовывать через арксинус или угол.
4. Разрядные шкалы могут быть предварительно преобразованы на основе переменной шкалы процентов.

Если в расчетах используют преобразование, то все оценки существенности и выбор средних необходимо проводить, используя преобразованные данные. Обратный переход к исходным единицам (если это необходимо) выполняют лишь после вычисления средних значений из преобразованных данных.

Прежде чем приступить к рассмотрению логики расчетов и интерпретации результатов анализа уясним *основные понятия и обозначения*.

*Результативный признак* – признак, изменяющийся под воздействием тех или иных причин, называемых *факторами*. Факторы обозначают прописными начальными буквами латинского алфавита (*A, B, C, ...*), признаки – конечными (*X, Y, Z*).

Множество факторов, воздействующих на один и тот же признак, подразделяются на *регулируемые* или *организованные* (факторы, которые контролирует и задает исследователь) и *нерегулируемые*, которые не подвергаются регулированию, хотя и оказывают воздействие на величину результативного признака.

Обычно каждый регулируемый фактор испытывают серийно, т. е. в виде нескольких независимых друг от друга групп или *градаций*, которые принято обозначать теми же буквами, что и факторы, с индексами ( $A_1, A_2, A_3$  и т. д.). Число градаций того или иного фактора определяется условиями опыта, поставленными задачами и возможностями. Например, для выявления оптимальных норм удобрений идеально было бы взять как можно больше градаций, однако такой опыт для размещения требует большую площадь, что вследствие различий в плодородии существенно отразится на точности опыта и достоверности обнаруживаемых различий. Имеется и другой момент, а именно, возможность одновременно на всех делянках выполнить наблюдения, учеты и анализы. Дисперсионный анализ требует наличия как минимум двух градаций каждого изучаемого фактора.

Общее число наблюдений по каждому фактору обозначают  $n$ , а в целом по статистическому комплексу (опыту)  $N = \sum n$ ; значение каждого наблюдения по градациям –  $x_i$ ; среднее арифметическое значение по градациям –  $\bar{x}_i$ , общая средняя арифметическая для всех ( $n$ ) наблюдений –  $\bar{x}$ .

Основная задача дисперсионного анализа состоит в выявлении той части общей изменчивости признака, которая обусловлена воздействием учитываемых факторов, и оценке достоверности сделанных выводов. Неучтенные факторы вносят свой вклад в формирование (реализацию, проявление) признака, который часто обозначают как «шум», «помеха» т. к. он мешает выделить степень влияния учитываемых факторов.

*Логическая схема дисперсионного анализа.* Дисперсионный анализ это метод комплексной оценки сравниваемых средних. Основан на разложении общей дисперсии статистического комплекса на составляющие ее компоненты (отсюда и название метода), сравнивая которые друг с другом посредством  $F$ -критерия, можно определить, какую долю общей вариации учитываемого (результативного) признака обуславливает действие на него как регулируемых, так и не регулируемых в опыте факторов. Правильно сформировать этот статистический комплекс является непременным условием корректного применения анализа. Статистические, или дисперсионные, комплексы могут формироваться как в планах намечаемых исследований, так и на основании уже собранных данных.

*Структуру дисперсионного комплекса* определяет число градаций регулируемого фактора или факторов, а также число подразделений или групп, образуемых по результативному признаку. Форма дисперсионного комплекса задается таблицей, в которой количество строк соответствует числу подразделений результативного признака (повторения или отдельная дата в бесповторном эксперименте), а количество столбцов – числу градаций регулируемого фактора или нескольких факторов, или наоборот. Непременным

условием дисперсионного анализа является разбивка каждого учитываемого фактора не менее чем на две качественные или количественные градации.

Если оценивают действие на признак одного регулируемого фактора, дисперсионный комплекс будет однофакторным, двух, трех или большего числа регулируемых факторов – *двух-, трех- и многофакторным*. Числовые значения результативного признака (в статистике их называют варианты или даты) могут распределяться по градациям комплекса *равномерно, пропорционально и неравномерно*, в этом случае дисперсионные комплексы называют соответственно *равномерными, пропорциональными и неравномерными*. Равномерные и пропорциональные комплексы носят общее название *ортогональные*, а неравномерные комплексы называют *неортогональными*.

При оценке однофакторных статистических комплексов, состоящих из нескольких независимых выборок ( $l$  вариантов), общая изменчивость результативного признака, измеряемая общей суммой квадратов  $C_Y$ , расчленяется на два компонента: варьирование между выборками (вариантами)  $C_V$  и внутри выборок  $C_Z$ :

$$C_Y = C_V + C_Z.$$

Дисперсия между выборками, т. е. вариантами ( $C_V$ ) обусловлена действием изучаемого фактора на результативный признак, представляющая собой сумму квадратов отклонений групповых средних  $\bar{x}_i$  от общей средней комплекса  $\bar{x}$ , взвешенную на численность вариант в группах  $n$ ; дисперсия внутри выборок ( $C_Z$ ) – влиянием не регулируемых в опыте факторов, т. е. это «ошибка» эксперимента, представляющая собой сумму из сумм квадратов отклонений отдельных вариант  $\bar{x}_j$  от их групповых средних  $\bar{x}_i$ , а общая дисперсия ( $C_Y$ ) – влиянием всех факторов. Таким образом, мерой факториальной изменчивости будет сумма квадратов отклонений средних значений групп ( $\bar{x}_i$ ) от общего среднего ( $\bar{x}$ ):  $C_V = \sum(\bar{x}_i - \bar{x})^2$ , мера остаточной изменчивости выразится суммой квадратов отклонений всех наблюдений в данной группе (градации) от среднего значения группы:  $C_Z = \sum(x - \bar{x}_i)^2$ , мерой общей изменчивости является сумма квадратов отклонений всех наблюдений в дисперсионном комплексе от общего среднего:  $C_Y = \sum(x - \bar{x})^2$ .

Общее число степеней свободы ( $N - 1$ ) также расчленяется на две части – степени свободы для вариантов ( $l - 1$ ) и для случайного варьирования ( $N - l$ ):

$$N - 1 = (l - 1) + (N - l).$$

При оценке однофакторных сопряженных статистических комплексов, когда варианты связаны между собой общим контролируемым условием – наличием  $n$  организованных повторений, можно вычленить изменчивость, обусловленную повторениями. Общее варьирование (общая сумма квадратов) при этом разлагается на три части: варьирование вариантов  $C_V$ , повторений  $C_P$ , и случайное варьирование  $C_Z$ , т. е.  $C_Y = C_V + C_P + C_Z$ . Общее число степеней свободы также расчленяется на число

степеней свободы для вариантов, повторений и остаточное:  $N - 1 = (l - 1) + (n - 1) + (l - 1)(n - 1)$ .

При оценке воздействия на результативный признак нескольких факторов общую изменчивость расчлениают на изменчивость, вызванную влиянием каждого из изучаемых факторов, их взаимодействием и случайное варьирование:

$$C_Y = C_A + C_B + C_{AB} + C_Z \text{ для двух регулируемых факторов,}$$

$$C_Y = C_A + C_B + C_C + C_{AB} + C_{AC} + C_{BC} + C_{ABC} + C_Z \text{ для трех регулируемых факторов и т.д.}$$

При наличии общих принципов конкретные модели или схемы дисперсионного анализа могут быть разные, так как отражают условия и методику проведения опыта.

Общая схема дисперсионного анализа однофакторных комплексов дана в таблице 60. Здесь  $N$  – общее число наблюдений,  $l$  – число вариантов,  $n$  – число повторений, рядов и столбцов. Делением суммы квадратов для вариантов  $C_V$  и остатка  $C_Z$  на соответствующее число степеней свободы получают средние квадраты  $s_V^2$  и  $s_Z^2$ , необходимые для расчета критерия  $F$ .

Здесь необходимо подчеркнуть, что все суммы квадратов – положительные числа. Отрицательное значение суммы означает, что допущена ошибка, которую следует исправить.

Таблица 60 – Общая схема дисперсионного анализа однофакторных экспериментов (комплексов)

Вид эксперимента	Сумма квадратов (в числителе) и степени свободы (в знаменателе)				
	общая	повторений (рядов)	столбцов	вариантов	остаток (ошибки)
Вегетационные и полевые опыты, проведенные методом неорганизованных повторений (полная рендомизация)	$\frac{C_Y}{N-1}$	-	-	$\frac{C_V}{l-1}$	$\frac{C_Z}{N-1}$
Полевые и вегетационные опыты, проведенные методом организованных повторений	$\frac{C_Y}{N-1}$	$\frac{C_P}{n-1}$	-	$\frac{C_V}{l-1}$	$\frac{C_Z}{(n-1)(l-1)}$
Латинский квадрат	$\frac{C_Y}{N-1}$	$\frac{C_P}{n-1}$	$\frac{C_c}{n-1}$	$\frac{C_V}{n-1}$	$\frac{C_Z}{(n-1)(n-2)}$
Латинский прямоугольник	$\frac{C_Y}{N-1}$	$\frac{C_P}{n-1}$	$\frac{C_c}{n-1}$	$\frac{C_V}{n-1}$	$\frac{C_Z}{(n-1)(l-2)}$

Из данных вышеприведенной таблицы видно, что для каждого вида эксперимента имеется определенная математическая модель, или схема дисперсионного анализа. Так, урожай с единичной делянки полевого опыта или сосуда вегетационного опыта, проведенных методом неорганизованных повторений, может рассматриваться состоящим из двух компонентов: связанного с вариантом и случайного компонента, связанного с ошибкой. В полевом опыте, поставленном методом организованных повторений, компонентов варьирования урожая будет уже три: повторение, вариант и ошибка; в латинском квадрате и прямоугольнике – четыре: ряд, столбец, вариант и ошибка.

Для оценки значимости факторов находят значение  $F$ -критерия ( $F_{\text{факт.}}$ ) и сравнивают его с критическим значением для определенного уровня значимости и числа степеней свободы.  $F$ -критерий представляет собой отношение дисперсии (средний квадрат), обусловленной регулирующими факторами (вариантов), к случайной дисперсии (остаточной, ошибки). Дисперсии вычисляют делением сумм квадратов отклонений на соответствующие им число степеней свободы, т. е. к одной степени свободы вариации, что необходимо для обеспечения корректного их сравнения:

$$\text{вариантов } S_V^2 = \frac{C_V}{l-1} \text{ и ошибки } S_Z^2 = \frac{C_Z}{(n-1)(l-1)}.$$

$F$ -критерий вычисляют по формуле:

$$F_{\text{факт.}} = \frac{S_V^2}{S_Z^2}.$$

За единицу сравнения принимают средний квадрат случайной дисперсии, который определяет случайную ошибку эксперимента. Проверяемой  $H_0$ -гипотезой является предположение, что все выборочные средние являются оценками одной генеральной совокупности, и наблюдаемые различия между ними несущественны.  $H_0$ -гипотеза не отвергается если  $F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$ , что позволяет сделать заключение, что между всеми выборочными средними нет существенных различий, а точнее, вероятность наличия различий между выборочными средними очень мала. Если же  $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{теор.}}$ ,  $H_0$ -гипотеза не отвергается, т. е. с высокой степенью вероятности между выборочными средними имеются существенные различия, обусловленные влиянием регулируемого фактора. Критическое (теоретическое, стандартное) значение  $F$ -критерия для принятого в исследовании уровня значимости находят по соответствующей таблице с учетом числа степеней свободы для дисперсии вариантов и случайной дисперсии. Обычно пользуются 5 %-ным уровнем значимости, а при более строгом подходе – 1 %-ным и даже 0,1 %-ным.

После того, как достоверно установлено действие регулируемого фактора, производят дальнейшую оценку результатов.

### 5.8.1. Оценка силы влияния факторов

*Задача организации опыта заключается в таком его построении, чтобы возможность неверных выводов была устранена; задача обработки материалов, напротив, заключается: 1) в отсеивании всех случайных выводов, объясняемых изменчивостью собранного материала; 2) в проверке глазомерных выводов и оценке степени их надежности; 3) в извлечении максимума выводов из имеющегося материала и 4) в контроле за правильностью организации и за экономичностью работы.*

**А.А. Любичев**

Силу влияния фактора на результирующий признак определяют как долю межгрупповой (вариантов) вариации в общем варьировании результирующего признака. Для ее измерения чаще всего используют формулы предложенные Н.А. Плохинским (1961, 1978, 1980) и Д.У. Снедекором (1961).

*Метод Плохинского* (Плохинский Н.А., 1961, 1978) исходит из положения, что изменчивость признака, измеряемая факториальной суммой квадратов ( $C_Y$ ), оценивается 1 (или 100 %) и  $C_Y = C_V + C_Z$ . Основным показателем силы влияния следует считать отношение факториальной суммы квадратов ( $C_x$  или  $C_V$ ) к общей сумме квадратов ( $C_Y$  или  $C_Y$ ):

$$\eta_x^2 = \frac{C_V}{C_Y}.$$

Показателем достоверности влияния может быть критерий Фишера  $F = \sigma_x^2 / \sigma_z^2$  или же отношение основного показателя к его ошибке  $F = \eta_k^2 / m_{\eta_k}^2$ , которое дает точно такие же значения, как и критерий Фишера. Ошибка репрезентативности показателя силы влияния может определяться по формулам:

для однофакторных комплексов:

$$m_{\eta_x^2} = (1 - \eta_x^2) \frac{r-1}{N-r};$$

для двухфакторных комплексов:

$$m_{\eta_k^2} = (1 - \eta_k^2) \frac{r_A r_B - 1}{N - r_A r_B} \quad (\text{для суммарного влияния обоих факторов});$$

$$m_{\eta_i^2} = \eta_i^2 \frac{\sigma_z^2}{\sigma_i^2} \quad (\text{для остальных влияний}),$$

где:  $r$  – число градаций фактора;

$N = \sum n$  – объем комплекса.

Эта ошибка может быть использована для определения доверительных границ генерального параметра:

$$\tilde{\eta}_k^2 = [(\tilde{\eta}_k^2 - \Delta) \div (\tilde{\eta}_k^2 + \Delta)],$$

$$\Delta = F_{st} \cdot \tilde{m}_{\eta_i^2},$$

где  $F_{st}$  – стандартные значения критерия Фишера, определяемого по двум степеням свободы для трех порогов вероятности безошибочных прогнозов.

Нулевую гипотезу отвергают, если  $F = \frac{\eta_x^2}{m_{\eta_x^2}} \gg F_{st}$  для принятого

уровня значимости  $\alpha$  и чисел степеней свободы  $\nu_1 = r-1$  и  $\nu_2 = N-r$ .

*Метод Снедекора* основан на применении не суммы квадратов отклонений, а дисперсий. Формула, предложенная Д.У. Снедекором (1961), учитывает действия на признак не только регулируемых, но и нерегулируемых факторов, мерой влияния которых является внутригрупповая дисперсия. Для этого он вводят понятие «исправленная» межгрупповая дисперсия (Лакин Г.Ф., 1990):

$$\hat{\sigma}_x^2 = \frac{\sigma_x^2 - \sigma_Z^2}{r},$$

где:  $\sigma_x^2$  – межгрупповая дисперсия;

$\sigma_Z^2$  – остаточная дисперсия (дисперсия, вызванная нерегулируемыми факторами);

$r$  – число градаций регулируемых факторов в дисперсионном комплексе.

Если дисперсионный комплекс неравномерный, величину  $r$  определяют по формуле:

$$\hat{r} = \frac{1}{r-1} \left( N - \frac{\sum (n_i)^2}{N} \right),$$

где:  $r$  – число градаций регулируемого фактора;

$n$  – численность вариант  $x_i$  в отдельных градациях фактора;

$N = \sum n$  – общее число вариант, или объем дисперсионного комплекса.

$$\eta_x^2 = \frac{\hat{\sigma}_x^2}{\hat{\sigma}_x^2 + \sigma_Z^2}.$$

Г.Ф. Лакин (1990) преобразовывает эту формулу таким образом, чтобы при вычислении показателя силы влияния  $\eta_x^2$  не прибегать к «исправлению» факториальной (межгрупповой) дисперсии:

$$\eta_x^2 = \frac{(\sigma_x^2 - \sigma_Z^2)/n}{(\sigma_x^2 - \sigma_Z^2)/n + \sigma_Z^2} = \frac{\sigma_x^2 - \sigma_Z^2}{\sigma_x^2 - \sigma_Z^2 + n\sigma_Z^2}$$

$$\text{или} \quad \eta_x^2 = \frac{\sigma_x^2 - \sigma_Z^2}{\sigma_x^2 + (n-1)\sigma_Z^2}.$$

Достоверность оценок силы влияния, определяемых по методу Снедекора, устанавливают на основании критерия Фишера  $F = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_z^2}$ . Величину

$F$ -критерия сравнивают с критическим значением этого показателя для

принятого уровня значимости  $\alpha$  и чисел степеней свободы  $\nu_1$  (для межгрупповой изменчивости) и  $\nu_2$  (для остаточной дисперсии). Число степеней свободы определяют так же, как и при оценке по методу Н.А. Плохинского.

Следует отметить, Н.А. Плохинский считал, что попытки уточнить показатель силы влияния, основанные на применении дисперсии (т. е. то, что предлагает Д.У. Снедекор), не улучшают, а ухудшают определение силы влияния. Однако В.Е. Дерябин (Лакин Г.Ф., 1990) считает, что показатель силы влияния фактора, найденный по методу Плохинского, оказывается весьма смещенной оценкой. Поэтому лучше пользоваться аналогичным показателем Снедекора.

Показатели силы влияния, определенные по методу Плохинского и Снедекора, не дают идентичного результата, в связи с этим всегда следует указывать метод, который использовался при его вычислении.

Б.А. Доспехов (1973), руководствуясь формулами Н.А. Плохинского, наряду в долей влияния регулируемого фактора  $\eta_V^2$  (по его терминологии – влияние вариантов) рассчитывает долю влияния повторений  $\eta_P^2$  и долю влияния случайных факторов  $\eta_Z^2$ . Влияние всех факторов оценивается 1 или 100 % –  $\eta_Y^2 = 1$ :

$$\eta_V^2 = \frac{C_V}{C_Y} \text{ – влияние вариантов;}$$

$$\eta_P^2 = \frac{C_P}{C_Y} \text{ – влияние повторений;}$$

$$\eta_Z^2 = \frac{C_Z}{C_Y} \text{ – влияние случайных факторов;}$$

$$\eta_Y^2 = \eta_V^2 + \eta_P^2 + \eta_Z^2 = 1,0 \text{ (или 100 \%)} \text{ – влияние всех факторов.}$$

Доли влияния вариантов, повторений и случайных факторов показывают степень их участия в общей изменчивости признака.

### 5.8.2. Оценка значимости разности групповых средних статистического (дисперсионного) комплекса

*Истина может на время быть затемнена заблуждением, но ее свет рано или поздно пробивает тучи.*

**Гельвецкий**

*Задача статистического анализа экспериментальных данных – получить ответ на вопрос: подтверждают или не подтверждают результаты опыта гипотезу, лежащую в его основе. И то и другое может быть в одинаковой степени непосредственной целью исследования.*

**В.Г. Вольф**

Установление достоверного влияния регулируемого фактора или факторов на результативный признак по  $F$ -критерию ( $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{ст.}}$ , т. е. нулевая гипотеза о равенстве параметров изучаемых совокупностей отвергается) свидетельствует о различии между средними статистического

комплекса<sup>28</sup>. Точнее, о том, что, по крайней мере, одно сравнение значимо отличается от нуля. При этом никоим образом не указывается, между какими средними имеются эти различия. Вместе с тем, представляет практический интерес установить различия между вариантами (градациями регулируемого фактора или факторов), между вариантами и контролем, т. е. между любыми парами статистического (дисперсионного) комплекса<sup>29</sup>. Для этого разработаны методы множественного сравнения.

Существует несколько методов оценки существенности разность между средними величинами (групповыми средними) дисперсионного комплекса. По каждому методу находится, по крайней мере, одно сравнение, значимо отличающееся от нуля, тогда и только тогда, когда соответствующим критерием отвергается гипотеза о равенстве нулю всех сравнений. В связи с этим к оценке значимости различий между групповыми средними (вариантами, градациями регулируемых факторов) приступают после того, как установлено (например, по  $F$ -критерию) достоверное влияние регулируемого фактора на результативный признак.

Для оценки разности групповых средних, прежде всего, необходимо по данным дисперсионного анализа вычислить:

$$\text{обобщенную ошибку средней} \quad s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sigma_z^2}{n}} \quad \text{и}$$

$$\text{ошибку разности средней} \quad s_d = \sqrt{\frac{2\sigma_z^2}{n}},$$

где:  $\sigma_z^2$  – остаточная дисперсия (остаточный средний квадрат);  
 $n$  – число сравниваемых объектов.

1. *Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разности (НСР)*. Этот критерий получил широкое распространение в практике исследований в сельском хозяйстве и биологии. Большим достоинством *НСР* является то, что он легко вычисляется и представляет единственную величину для проведения сравнений.

Если подходить строго, то *НСР* следует использовать только для сравнения соседних средних ранжированного ряда (расположение средних в порядке возрастания их значений). В случае ее применения для оценки всех возможных различий между средними ряд разностей может быть существенным, но не на заданном уровне значимости. Вместо оценки различия на 5%-ном уровне, сравнения между средними, удаленными

<sup>28</sup> Когда  $F_{\text{факт}} < F_{\text{ст}}$  и, следовательно, нулевая гипотеза не отвергается, оценку частных различий не проводят. В этом случае предполагается, что все разности между любыми парами находятся в пределах ошибки опыта, и вероятность различий между ними чрезвычайно мала.

<sup>29</sup> Оценка разности средних по  $t$ -критерию Стьюдента, т. е. по отношению указанной разности к ее ошибке, неприменима к сравнительной оценке средних в дисперсионном комплексе, т. к. наряду с межгрупповой дисперсией на величине ошибки разности  $s_d$  между групповыми средними комплекса сказывается и влияние внутригрупповой дисперсии  $s_c^2$ , величина которой зависит и от численности вариант  $x_i$  в группах, и от количества групп  $\alpha$ , входящих в данный комплекс (Лакин Г.Ф., 1990).

друг от друга в ранжированном ряду больше чем на два места, проводят на более низких уровнях значимости. *НСР* можно использовать для сравнения соседних средних и, когда ее используют для проведения сравнений, запланированных до анализа, то возможность ошибочного заключения уменьшается (Литтл Т., Хиллз Ф., 1981).

По существу, критерий *НСР* это предельная ошибка для разности двух выборочных средних. Выделение существенных разностей между парами (вариантами) статистического комплекса производят следующим образом. Вычисляем фактическую разность средних  $d = \bar{x}_1 - \bar{x}_2$ . Если  $d \geq HCP$ , то она существенна (значима), а если  $d < HCP$  – несущественна, т. е. на данном уровне значимости вероятность различий между сравниваемыми средними чрезвычайно мала, что не позволяет доказать существенность различий между выборками, характеризуемыми этими средними.

Критерий *НСР* является одной из форм *t*-оценки. Формулу для его расчета выводят из формулы для *t*-критерия, оценивающего статистическую существенность разности между двумя средними:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}} = \frac{d}{s_d},$$

где:  $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = d$  – разность средних;

$s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = s_d$  – ошибка разности выборочных средних.

Допустим, разность между двумя средними  $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = d$  будет составлять самую малую величину (*НСР*), вероятность случайного получения которой равна 5 % или больше. Заменяя  $d$  на *НСР*, получим новую формулу  $t = HCP / s_d$ , следовательно  $HCP = t \cdot s_d$ .

Чтобы определить *НСР* для статистического комплекса, необходимо по данным дисперсионного анализа вычислить ошибку разности любых средних статистического комплекса:

$$s_d = \sqrt{\frac{2\sigma_z^2}{n}}.$$

Если необходимо сравнить значения результативного признака по вариантам со средним его значением в опыте (это может понадобиться, например, если есть необходимость разделить сорта на высоко-, средне- и низкоурожайные), ошибку разности средних вычисляют по формуле

$s_d = \sqrt{\sigma_z^2 \frac{(l-1)}{l \cdot n}}$  или используя обобщенную ошибку средней, вычисляе-

мую по формуле  $s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sigma_z^2}{n}}$ ,  $s_d = s_{\bar{x}} \sqrt{\frac{l-1}{l}}$ .

В случае сравнения двух вариантов, имеющих разную повторность (неравномерные комплексы, в которых средние неравноточны), ошибку разности вычисляют по формуле:

$$s_d = \sqrt{\frac{\sigma_z^2}{n_1} + \frac{\sigma_z^2}{n_2}} = \sqrt{\sigma_z^2 \frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}}.$$

Напомним обозначения в вышеприведенных формулах:  $\sigma_z^2$  – остаточная дисперсия (остаточный средний квадрат), взятая из дисперсионного анализа,  $n_1$  и  $n_2$  – число повторностей в сравниваемых вариантах (группах, рангах),  $l$  – число вариантов.

Подставляя рассчитанное значение  $s_d$  и  $t$ -критерия (Стьюдента) для принятого уровня значимости и числа степеней свободы остаточной дисперсии (берут из таблиц или программы Microsoft Excel функция «СТБЮДРАСПОБР») в формулу  $HCP$ , вычисляем ее значение для разных уровней значимости (5, 1 и 0,1 %-ный<sup>30</sup>) в абсолютных или относительных величинах:

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot s_d \qquad HCP_{05} \% = \frac{t_{05} \cdot s_d}{\bar{x}} \cdot 100;$$

$$HCP_{01} = t_{01} \cdot s_d \qquad HCP_{01} \% = \frac{t_{01} \cdot s_d}{\bar{x}} \cdot 100;$$

$$HCP_{001} = t_{001} \cdot s_d \qquad HCP_{001} \% = \frac{t_{001} \cdot s_d}{\bar{x}} \cdot 100.$$

Оценка различий с помощью  $HCP$ , а вернее,  $t$ -оценка каждой разности, ведет к такому же статистическому заключению, как и  $F$ -оценка тех же разностей, что обусловлено связью двух критериев  $t^2 = F$ .

2. *Оценка существенности разности между средними по методу Тьюки (Т-метод).* Исследования Дж. Тьюки (1949) показали, что при числе вариантов больше двух оценка различий между средними по  $HCP$  дает преувеличенное количество существенных различий. На базе критерия Стьюдента он предложил метод для проверки нулевой гипотезы ( $H_0$ ) при сравнении групповых средних  $\bar{x}_1$  и  $\bar{x}_2$  равновеликих групп, т. е. при  $n_1 = n_2 = n$ , и при равных дисперсиях  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ . За критерий оценки он принял отношение

разности сравниваемых средних к своей ошибке:  $Q = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\sigma_z^2 / n}}$  и вычислил

его значения для 0,05 % уровня значимости с учетом разного количества сравниваемых групп  $\alpha$  и числа степеней свободы случайных отклонений.

Использовать коэффициент  $Q$  можно как для оценки разности двух групп, так и для вычисления разности существенной на 5 % уровне значимости. В первом случае величину  $Q$  сравнивают с критической точкой  $Q_{st}$  для числа степеней свободы остатка ( $\nu$ ) и 5%-ного уровня значимости с учетом числа групп или градаций (вариантов)  $\alpha$  регулируемого фактора.

<sup>30</sup> 5%-ному уровню значимости соответствует 95%-ный уровень вероятности, 1%-ному – 99%-ный и 0,1%-ному – 99,9%-ный. Разности между средними, которые больше  $HCP_{05}$ , считаются существенными с 5%-ным уровнем значимости и обозначаются одной звездочкой (\*), больше  $HCP_{01}$  – существенными с 1%-ным уровнем значимости и обозначаются двумя звездочками (\*\*), а больше  $HCP_{001}$  – существенными с 0,1%-ным уровнем значимости и обозначаются тремя звездочками (\*\*\*)

Критические значения  $Q_{st}$  берут в приложении 13. Нулевую гипотезу отвергают, если  $Q \geq Q_{st}$ . Во втором случае значение  $Q_{st}$  умножают на ошибку средней, вычисленную на основании результатов дисперсионного анализа по формуле  $s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sigma_z^2}{n}}$ . Это будет граничное значение разности, обеспечивающее  $P=0,05$ . Существенными являются те разности статистического комплекса, которые больше величины  $s_{\bar{x}}Q_{st}$ , т. е.  $|\bar{x}_1 - \bar{x}| \geq s_{\bar{x}}Q_{st}$ .

Критерий Тьюки более чувствительный, чем  $HCP_{05}$ , так как он базируется не только на числе степеней свободы остаточной дисперсии, но и учитывает число вариантов в опыте.

*Пример.* Изучалось влияние микроудобрений на урожайность зерна риса. Опыт закладывался в 4 повторениях при рандомизированном размещении делянок. Полученные данные представлены в таблице 61. Необходимо установить, существенно ли различаются сорта по реакции на агроприем.

Таблица 61 – Урожайность зерна риса при применении микроудобрений, ц/га

Вариант	Урожайность по повторениям, X				Среднее
	1	2	3	4	
1 (контроль)	50,6	54,7	53,2	51,9	52,6
B	55,8	54,8	50,7	53,5	53,7
Co	54,5	49,8	50,2	48,5	50,8
Mn	64,8	64,5	67,8	67,0	66,0
Cu	49,6	47,8	50,8	49,4	49,4
Mo	61,5	58,1	58,4	55,8	58,5
Cu	68,9	67,5	69,8	71,4	69,4

Дисперсионный комплекс состоит из 7 вариантов ( $l=7=\alpha$ ), 4 повторений ( $n=4$ ), общее число наблюдений  $N=\sum n=l \cdot n=7 \cdot 4=28$ ; остаточная (ошибки, погрешность) дисперсия – 4,14. Проверим достоверность различий по урожайности варианта с применением медных удобрений и контроля.

$$Q = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\sigma_z^2/n}} = \frac{|69,4 - 52,6|}{\sqrt{4,14/4}} = \frac{16,8}{\sqrt{1,04}} = 16,48$$

Стандартное (критическое) значение критерия Тьюки находим в таблице приложения 13 для  $\alpha=7$  (число градация) и  $k=N-\alpha=28-7=21$ .  $Q_{st}=4,6$ .  $Q \geq Q_{st}$ , следовательно, нулевая гипотеза отвергается и различия между сравниваемыми средними дисперсионного комплекса следует признать статистически достоверными на 5 % уровне значимости. Иными словами, применение медных удобрений обеспечивает достоверное увеличение урожайности зерна риса.

Вычислим разность, существенную на 5 % уровне значимости. Существенными будут разности статистического комплекса, которые больше величины  $s_{\bar{x}}Q_{st}$ , т. е.  $|\bar{x}_1 - \bar{x}| \geq s_{\bar{x}}Q_{st}$ .  $Q_{st}=4,6$ , ошибка средней, вычисленная для дисперсионного комплекса по формуле

$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sigma_z^2}{n}} = \sqrt{\frac{4,14}{4}} = 1,02$ ;  $s_{\bar{x}} Q_{st} = 1,02 \cdot 4,6 = 4,7$ . Таким образом, все разности статистического дисперсионного комплекса превышающие, либо равные 4,7 следует признать существенными.

3. *Оценка существенности разности между средними по методу Шеффе (S-метод).* S-метод, предложенный Г. Шеффе (1953), использует F-распределение, поэтому соответствует F-критерию. В отличие от метода Тьюки этот метод множественных сравнений одинаково применим и к равно-, и к неравновеликим по составу группам, т. е. он нечувствителен к нарушению предположений о нормальности распределения и равенстве дисперсий. Критерием достоверности различий, наблюдаемых между групповыми средними дисперсионного комплекса, служат следующие отношения:

$$F = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\sigma_Z^2}} \sqrt{\frac{n}{2}} \quad \text{при } n_1 = n_2;$$

$$F = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\sigma_Z^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \quad \text{при } n_1 \neq n_2;$$

$H_0$ -гипотезу отвергают, если  $F \geq \sqrt{(l-1)F_{st}}$ , где  $l$  – число градаций фактора (число вариантов);  $F_{st}$  определяют с помощью таблицы Фишера для принятого уровня значимости  $\alpha$  и чисел степеней свободы  $v_1 = l-1$  и  $v_2 = N-l$ , где  $N$  – объем дисперсионного комплекса.

*Пример.* В таблице 62 представлены результаты измерений массы 1000 зерен риса в вариантах с внесением различных доз азота. Необходимо установить, достоверны ли различия по этому показателю вариантов  $N_{60}$  (масса 1000 зерен 26,1 г) и  $N_{120}$  (28,8 г).

Таблица 62 – Масса 1000 зерен риса при применении различных доз азотного удобрения, г

Вариант	Урожайность по повторениям, X				Среднее
	1	2	3	4	
Без удобрений	24,1			27,3	25,7
$N_{60}$	25,0	24,3		29,0	26,1
$N_{90}$	27,2	26,4	31,0	28,5	28,3
$N_{120}$	28,6	27,2	29,2	30,1	28,8
$N_{180}$	25,2		26,1	27,8	26,4

В данном примере неравномерный дисперсионный комплекс. Среднее значение для  $N_{60}$  рассчитано по трем, а  $N_{120}$  – по четырем измерениям. В комплекс входит 5 групп (вариантов), т. е.  $\alpha=5$ . Объем комплекса  $N=16$ . Внутригрупповая дисперсия (дисперсия вариантов) рассчитанная в дисперсионном анализе составляет 0,8. Рассчитываем  $F_{\phi}$ :

$$F_{\phi} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\sigma_Z^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} = \frac{|28,8 - 26,1|}{\sqrt{3,46}} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 4}{3 + 4}} = 4,55.$$

Находим по таблице или в Excel функция «FРАСПОБР» стандартное значение критерия Фишера  $F_{st}$  для числа степеней свободы  $k_1=\alpha-1=5-1=4$  и  $k_2=N-\alpha=11$  и 1% уровня значимости  $F_{st}=5,31$ . Для проверки  $H_0$ -гипотезы необходимо вычислить  $F \geq \sqrt{(l-1)F_{st}} = \sqrt{(5-1)5,31} = 4,6$ .  $H_0$ -гипотеза отвергается, т. к. эта величина равна  $F_{\phi}$ , что указывает на достоверность различий на 1% уровне значимости, т. е. увеличение дозы азотного удобрения с 60 до 120 кг/га д.в. вызывает достоверное увеличение массы 1000 зерен.

4. *Оценка существенности частных различий по F-критерию.* Для каждой сравниваемой пары средних определяют F-критерий по формуле:

$$F = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sigma_z^2} \times \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} = \frac{d^2}{\sigma_z^2} \times \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2},$$

где:  $d$  – разность между средними;

$\sigma_z^2$  – остаточная дисперсия (остаточный средний квадрат), взятая из дисперсионного анализа;

$n_1$  и  $n_2$  – число повторностей в сравниваемых вариантах (группах, рангах).

При  $n_1=n_2$  формула принимает вид:  $F = \frac{d^2 n}{2\sigma_z^2}$ .

Фактическое значение  $F$  сравнивают с критическим (теоретическим) его значением при числе степеней свободы  $\nu_1=1$  и  $\nu_2$  – соответствует числу степеней свободы остатка.  $H_0$ -гипотеза, утверждающая, что разность между групповыми средними равна нулю ( $|\bar{x}_1 - \bar{x}|=d=0$ ), отвергается при  $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{крит.}}$ , т. е. если  $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{крит.}}$ , то разность существенна, а если  $F_{\text{факт.}} < F_{\text{крит.}}$  – несущественна.

Неудобство оценки существенности частных различий по F-критерию заключается в том, что необходимо вычислять значение  $F$  для каждой сравниваемой пары.

5. *Оценка значимости разностей между средними по величине утроенной ошибки средней, т. е.  $3s_{\bar{x}}$ .* Обобщенная ошибка средней  $s_{\bar{x}}$  определяется на основании результатов дисперсионного анализа по формуле

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sigma_z^2}{n}}.$$

Утроенная величина этой ошибки принимается за критерий существенности. Если фактическая разность  $d \geq 3s_{\bar{x}}$ , то она существенна на 5%-ном уровне, а если  $d < 3s_{\bar{x}}$  – несущественна.

Б.А. Доспехов (1973) рекомендует этот критерий ( $3s_{\bar{x}}$ ) для оценки существенности разности в статистических комплексах, в которых число степеней свободы остатка больше, либо равно 16. В противном случае эта оценка дает преувеличенное число существенных разностей<sup>31</sup>. При мень-

<sup>31</sup> Только при 16 и более числе степеней свободы остатка величина  $3s_{\bar{x}} = HCP_{05}$

шем числе степеней свободы остатка для получения критерия существенности на прежнем 5%-ном уровне перед  $s_{\bar{x}}$  В.Н. Перегудов рекомендует ставить следующие коэффициенты:

Число степеней свободы остатка	2	3	4	5	6–7	8–9	10–12	13–15	16 и более
Коэффициент при $s_{\bar{x}}$	6,08	4,50	3,93	3,64	3,40	3,23	3,11	3,04	3,00

При использовании дисперсионного анализа в практике экспериментальной работы существенные различия между средними чаще всего определяют по  $HCP_{05}$ . Этот критерий и принят нами при оценке частных различий. Для ориентировочных расчетов можно использовать упрощенный критерий  $3s_{\bar{x}}$ , а при более строгой оценке, особенно когда в опыте много вариантов и мало повторностей, целесообразно применять критерий Тьюки или Шеффе.

6. *Оценка значимости разностей между средними по критерию Дункана (D)*. Это многогранговый критерий. Для ранжированного ряда средних многогранговые критерии дают предельную величину существенной разности средних, которая возрастает по мере изменений от наименьшего до наибольшего значения средних.

Из всех многогранговых методов наибольшее распространение получили критерий Дункана (D). Он позволяет правильно применять критерий- $HCP$  после того, как по  $F$ -критерию установлены существенные различия между вариантами. Он не допускает ошибок, возникающих при оценке всех пар средних с помощью  $HCP$ . Этот критерий идентичен  $HCP$  при оценке разностей соседних средних ранжированного ряда, а при увеличении удаленности средних друг от друга порог существенной разности критерия Дункана прогрессивно возрастает. Использование этого критерия особенно эффективно, если в опыте изучаются независимые друг от друга варианты, например, для оценки всех возможных пар сравнений продуктивности нескольких сортов.

Основу этого метода составляет расчет ближайших существенных разностей (D) для всех относительных позиций средних по вариантам, расположенных в ранжированном ряду. Далее величины D используют по порядку для статистической оценки разностей между средними.

Критерий Дункана вычисляют по формуле  $D = R \cdot HCP$ , где R – табличное значение (табл. 63 и табл. 64; значения R рассчитаны с целью упрощения вычисления D на основе  $HCP$ ) для заданного уровня значимости, числа степеней свободы для ошибки и положения места средних в ранжированном ряду.

*Пример.* Предположим, необходимо провести оценку урожайности 5 сортов риса. Опыт проведен методом рендомизированных повторений ( $n=4$ ). Получена следующая средняя урожайность: 6,9, 5,0, 7,3, 5,2 и 7,9 т/га.

1. Вычислим наименьшую существенную разность ( $HCP$ ) по формуле:

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot \sqrt{\frac{2s^2}{n}}$$

Таблица 63 – Существенные значения фактора Стьюдента ( $R$ ) для умножения на  $HCP$  при сравнении разноудаленных средних ранжированного ряда на 5%-ном уровне;  $p$  – интервалы между средними и  $df$  – степени свободы для «ошибки»

$df$	$p$															
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	50	100
4	1,00	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
5	1,00	1,03	1,04	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
6	1,00	1,03	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
7	1,00	1,04	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
8	1,00	1,04	1,06	1,08	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
9	1,00	1,04	1,07	1,08	1,09	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
10	1,00	1,05	1,07	1,09	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
11	1,00	1,05	1,08	1,09	1,10	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,12	1,12	1,12	1,12
12	1,00	1,05	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,13
13	1,00	1,05	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
14	1,00	1,05	1,08	1,10	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,14	1,14	1,14	1,15	1,15	1,15	1,15
15	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,12	1,13	1,14	1,14	1,14	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
16	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
17	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
18	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	1,16	1,17	1,17	1,17	1,17
19	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	1,16	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
20	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,17	1,17	1,18	1,18	1,18
22	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
24	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,18	1,18	1,19	1,19	1,19
26	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,13	1,15	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
28	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	1,20	1,20
30	1,00	1,05	1,08	1,11	1,12	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	1,20	1,20	1,20
40	1,00	1,05	1,08	1,11	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,19	1,20	1,20	1,21	1,21	1,21	1,21
60	1,00	1,05	1,09	1,11	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,23	1,23
100	1,00	1,05	1,09	1,11	1,14	1,15	1,16	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,26	1,26
$\infty$	1,00	1,05	1,09	1,12	1,14	1,15	1,17	1,18	1,19	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,30	1,32

Средний квадрат ошибки ( $s^2$ ) берем из результатов дисперсионного анализа экспериментальных данных. В нашем опыте, допустим,  $s^2=0,65$ . Критерий Стьюдента для 12 степеней свободы остаточной дисперсии (ошибки)  $t_{05}=2,18$ .

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot \sqrt{\frac{2s^2}{n}} = 2,18 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,65}{5}} = 1,11.$$

2. Вычисляем  $D$  для относительных позиций средних в ранжированном ряду. Поскольку в опыте пять средних, они могут быть удалены друг от друга на 2, 3, 4 или 5 мест. Для средних, стоящих рядом, принимается удаленность, равная 2 (2 места).

Относительная позиция в ранжированном ряду	2	3	4	5
Значения $R$ для 5%-ного уровня	1,00	1,05	1,08	1,09
$D=R(HCP)$	1,11	1,17	1,20	1,21

3. Построим ранжированный ряд средних для проверки существенных разностей.

Сорт	2	4	1	3	5
Урожайность (среднее значение), т/га	5,0	5,2	6,9	7,3	7,9

Таблица 64 – Существенные значения фактора Стьюдента ( $R$ ) для умножения на  $HCP$  при сравнении разноудаленных средних ранжированного ряда на 1%-ном уровне;  $p$  – интервалы между средними и  $df$  – степени свободы для «ошибки»

$df$	$p$															
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	50	100
3	1,00	1,03	1,04	1,05	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,09	1,10	1,11	1,13	1,13	1,13	1,13
4	1,00	1,04	1,06	1,08	1,09	1,09	1,11	1,11	1,12	1,12	1,14	1,14	1,15	1,15	1,15	1,15
5	1,00	1,05	1,07	1,08	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16	1,16	1,18	1,18	1,19	1,19	1,19
6	1,00	1,05	1,08	1,09	1,11	1,12	1,14	1,15	1,15	1,16	1,18	1,18	1,20	1,20	1,20	1,20
7	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,13	1,15	1,16	1,17	1,17	1,19	1,19	1,21	1,21	1,21	1,21
8	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,20	1,20	1,22	1,22	1,22	1,23
9	1,00	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,16	1,17	1,17	1,20	1,20	1,22	1,24	1,24	1,24	1,24
10	1,00	1,06	1,09	1,11	1,13	1,15	1,16	1,17	1,18	1,20	1,21	1,22	1,24	1,24	1,24	1,24
11	1,00	1,05	1,09	1,11	1,13	1,14	1,15	1,17	1,17	1,19	1,20	1,22	1,23	1,23	1,23	1,23
12	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,14	1,15	1,16	1,17	1,19	1,20	1,21	1,21	1,22	1,22	1,22
13	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,21	1,21	1,21
14	1,00	1,05	1,08	1,10	1,12	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
15	1,00	1,05	1,08	1,10	1,11	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,18	1,19	1,20	1,20	1,20	1,20
16	1,00	1,05	1,08	1,10	1,11	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	1,20	1,20
17	1,00	1,05	1,08	1,10	1,11	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
18	1,00	1,05	1,08	1,10	1,11	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,18	1,19	1,19	1,19	1,19
19	1,00	1,05	1,07	1,09	1,11	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,18	1,19	1,19	1,19	1,19
20	1,00	1,05	1,07	1,09	1,11	1,13	1,14	1,15	1,15	1,17	1,18	1,18	1,19	1,19	1,19	1,19
22	1,00	1,05	1,07	1,09	1,11	1,12	1,14	1,15	1,15	1,17	1,17	1,18	1,19	1,19	1,19	1,19
24	1,00	1,05	1,07	1,09	1,11	1,12	1,13	1,15	1,15	1,17	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	1,20
26	1,00	1,05	1,07	1,09	1,11	1,12	1,13	1,15	1,15	1,17	1,18	1,18	1,19	1,19	1,20	1,20
28	1,00	1,04	1,07	1,09	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,18	1,19	1,19	1,21	1,21
30	1,00	1,04	1,07	1,09	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	1,21	1,21
40	1,00	1,04	1,07	1,09	1,11	1,12	1,14	1,14	1,15	1,17	1,18	1,19	1,20	1,20	1,23	1,23
60	1,00	1,04	1,07	1,09	1,11	1,12	1,14	1,15	1,15	1,17	1,18	1,19	1,20	1,20	1,24	1,24
100	1,00	1,04	1,07	1,09	1,11	1,12	1,14	1,15	1,15	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,25	1,25
$\infty$	1,00	1,04	1,07	1,09	1,11	1,12	1,14	1,15	1,15	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,26	1,29

4. Выделяем существенные различия. Сначала сравним самую большую среднюю и наименьшую, используя  $D$ -оценку для их относительных друг к другу позиций в ранжированном ряду (в данном случае  $p=5$ , поэтому  $D=1,21$ ). Если разность между этими средними равна или больше, чем величина  $D$ , то средние будут различаться существенно ( $7,9-5,0=2,9$ ;  $D=1,21$ , поэтому  $7,9$  существенно больше, чем  $5,0$ ). Сравним самую большую среднюю со второй средней ранжированного ряда ( $7,9-5,2=2,7$ ;  $D=1,20$ ), находим, что  $7,9$  существенно больше, чем  $5,2$ . Далее сравниваем с третьей величиной средней ( $7,9-6,9=1,0$ ;  $D=1,17$ ), находим, что  $7,9$  несущественно больше, чем  $6,9$ . После того как будет найдена несущественная разность, можно провести линию, связывающую (и выделяющую) эти средние. Затем повторяем процесс, начав сравнение уже со второй по величине средней, среди всех средних, расположенных до нее.

Многоранговый критерий Дункана имеет одно особое правило – «разницу между двумя средними нельзя считать существенной, если эти средние занимали промежуточное положение между двумя другими, несущественно различающимися средними ряда». Например, если среди пяти средних ранжированного ряда установлено несущественное отличие  $A$

от  $D$ , т. е.  $ABCDE$ , и существенное отличие  $B$  от  $E$ , то отпадает необходимость проверки отклонения  $B$  от  $D$  и  $C$ , поскольку они попали в интервал несущественной разницы между  $A$  и  $D$ . Следующим шагом будет сравнение  $C$  и  $E$ ; в случае несущественной разницы между ними средние  $C$  и  $E$  соединяют линией  $ABCDE$  и дальнейшая проверка разностей теряет смысл. Таким образом, упомянутое правило позволяет не проводить оценку разностей между средними, уже соединенными линией.

5. Укажем статистическую существенность с помощью линий или букв.

		Сорт			или			Сорт		
5	3	1	4	2		5	3	1	4	2
7,9	7,3	6,9	5,2	5,0		7,9 <sub>a</sub>	7,3 <sub>ab</sub>	6,9 <sub>bc</sub>	5,2 <sub>d</sub>	5,0 <sub>de</sub>

Средние, соединенные одной линией или сопровождаемые общими буквами, различаются несущественно на 5%-ном уровне. В случае использования букв существенные разницы могут быть показаны и без ранжирования средних.

### 5.8.3. Дисперсионный анализ данных вегетационного эксперимента

*Подобно тому, как для получения хорошей муки надо засыпать хорошее зерно, так и в приложениях математики к решению практических вопросов надо прежде всего заботиться, чтобы те приложения и допущения, которые делаются для придания практическому вопросу математической формы, соответствовали действительности в мере практической потребности.*

**А.Н. Крылов**

*Всякое исследование должно стремиться к тому, чтобы удовлетворить следующим трем требованиям: 1) оно должно быть целеустремленным, т. е. иметь перед собой определенную подлежащую решению задачу; 2) должно быть эффективным, т. е. полученные выводы должны быть настолько надежны, чтобы обладать принудительной силой, и мера надежности должна быть известна; 3) наконец, должно быть экономным, т. е. оно должно быть осуществлено с минимальной затратой сил и средств.*

**А.А. Любищев**

Как уже отмечалось, при планировании исследований необходимо учитывать методы, посредством которых будут оцениваться полученные данные. Прежде всего анализируют схему опыта, т. е. выясняют количество регулируемых факторов, расположение вегетационных сосудов, устанавливают число вариантов и повторений. Чаще всего организованные повторения в вегетационном опыте отсутствуют, а независимость сопоставимых вариантов достигается регулярным перемещением сосудов на вагонетке или вегетационной площадке. При оценке результатов таких опытов дисперсионный

анализ ведется как для несопряженных выборок. Если варианты объединяются территориально, то используют алгоритм дисперсионного анализа для данных опытов, поставленных методом организованных повторений.

### 5.8.3.1. Однофакторный эксперимент

*Каждый из методов математической статистики имеет определенные границы применимости, а использование его вне этих границ может приводить к ошибочным выводам, которые особенно опасны потому, что имеют видимость математической строгости и точности. Для того чтобы избежать таких ошибок, нужно ясно представлять себе смысл и предпосылки применяемых формул.*

**В.Ю. Урбах**

*Главной целью дисперсионного анализа является определение влияния разных условий на испытуемый признак или явление, это достигается путем разложения совокупной изменчивости (дисперсии, выраженной в сумме квадратов отклонений от общего среднего) на отдельные компоненты, вызванные влиянием различных источников изменчивости.*

**А.А. Любищев**

Как уже отмечалось, в однофакторном вегетационном опыте общее варьирование результативного признака разлагается на два компонента – варьирование, вызванное действием регулируемого фактора (варьирование вариантов), и варьирование, вызванное действием нерегулируемых факторов (случайное варьирование):  $C_Y = C_V + C_Z$ .

Полученные данные располагаем в таблицу 65.

Таблица 65 – Таблица исходных данных вегетационного опыта для дисперсионного анализа

Вариант	Исходные данные	Число наблюдений, $n$ (число компонентов в колонке 2)	Сумма по вариантам $V$ (сумма значений компонентов в колонке 2)	Среднее по вариантам (колонку 4 разделить на колонку 3)
1	2	3	4	5
1	$X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n}$	$n_1$	$V_1$	$\bar{x}_1$
2	$X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n}$	$n_2$	$V_2$	$\bar{x}_2$
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
$l$	$X_{l1}, X_{l2}, \dots, X_{ln}$	$n_l$	$V_l$	$\bar{x}_l$
	$\Sigma X$ (общая сумма)	$N = \Sigma n$	$\Sigma X = \Sigma V_l$	$\bar{x} = \Sigma X/N$

Вычисляем суммы квадратов отклонений, средний квадрат и  $F$ -критерий. Записываем их в нижеследующую таблицу (табл. 66) вместо формул для их расчетов:

Таблица 66 – Общая схема дисперсионного анализа однофакторного вегетационного опыта

Варьирование	Сумма квадратов, $C$	Степени свободы, $\nu$	Средний квадрат, $S^2$	$F_{\text{факт.}}$	$F_{\text{теор.}}$
Общее	$CY = \sum X^2 - C^*$	$N - 1$	–	–	–
Вариантов	$CV = \sum V^2 - n \cdot C$	$l - 1$	$S_V^2 = \frac{C_V}{l - 1}$	$S_V^2 : S_Z^2$	По таблице
Остаточное (случайные отклонения)	$CZ = CY - CV$	$N - l$	$S_Z^2 = \frac{C_Z}{N - l}$	–	

\*  $C$  – корректирующий фактор (поправка) вычисляют по формуле:  $C = (\sum X)^2 : N$  или  $C = \bar{x} \cdot \sum X$ . Существует достаточно много алгоритмов дисперсионного анализа, не использующих корректирующий фактор. Результат анализа не зависит от применяемого алгоритма вычислений.

Критерий  $F$  используют для проверки  $H_0$ -гипотезы. Если она отвергается, переходят к оценке существенности частных различий и, если это необходимо, силы влияния факторов.

Для уяснения последовательности проведения дисперсионного анализа и интерпретации его результатов рассмотрим несколько примеров.

**Пример дисперсионного анализа при однофакторной схеме и одинаковой численности вариант в группах** (вариантах, градациях).

Установить, влияют ли микроэлементы на содержание хлорофиллов в листьях растений риса. Семена обрабатывали растворами бора (В), цинка (Zn) и меди (Cu) и высевались каждый в 4 сосуда. В сосуде выращивалось по 10 растений. В фазу кушения определялось содержание хлорофиллов в листьях.

Рассмотрим составляющие дисперсионного комплекса. Регулируемый фактор – обработка семян микроэлементами имеет 4 градации: контроль, бор, цинк и медь. Это варианты опыта  $l$ . Объем выборки по каждому варианту  $n=4$ , т. к. в статистический комплекс мы включим средние значения результативного признака, измеренного у каждого растения в сосуде. В статистический комплекс можно включить все растения из 4 сосудов каждого варианта. В рассматриваемом примере –  $n=40$  ( $4 \times 10$ ). Нулевая гипотеза формулируется следующим образом: между вариантами не различий, т. е. разность между ними равна нулю –  $H_0: d=0$ . Иными словами, обработка семян микроэлементами не влияет на содержание хлорофилла в растениях.

Экспериментальные данные запишем в таблицу 67 и вычислим суммы и средние по вариантам<sup>32</sup>.

<sup>32</sup> При выполнении расчетов без использования вычислительной техники исходные данные преобразовывали путем умножения, деления, прибавления или вычитания, чтобы получить числа с меньшим числом знаков или же целые числа. На по-

Таблица 67 – Содержание хлорофиллов **а+б** в листьях риса, мг/100 г сырой массы

Вариант, <i>l</i>	Исходные данные, $X_{11} \dots X_{ln}$				Число наблюдений, <i>n</i>	Сумма по вариантам <i>V</i>	Среднее по вариантам
1	2				3	4	5
Контроль	208,1	204,0	201,5	206,8	$n_1 = 4$	$V_1=820,4$	$\bar{x}_1=205,10$
Бор	239,2	242,6	240,2	243,1	$n_2 = 4$	$V_2=965,1$	$\bar{x}_2=241,28$
Цинк	258,2	262,3	259,2	260,9	$n_3 = 4$	$V_3=1040,6$	$\bar{x}_3=260,15$
Медь	258,3	256,2	258,3	253,4	$n_4 = 4$	$V_4=1026,2$	$\bar{x}_4=256,55$
	$\Sigma X$ (общая сумма)				$N = \Sigma n = 16$	$\Sigma X = \Sigma V_i = 3852,30$	$\bar{x} = \Sigma X/N = 240,77$

Произведем следующие вычисления:

Общее число наблюдений  $N = \Sigma n = 16$ .

Корректирующий фактор  $C = (\Sigma X)^2 : N = (3852,3)^2 : 16 = 927513,5$ .

Общая сумма квадратов  $C_Y = \Sigma X^2 - C = (208,1^2 + 204,0^2 + \dots + 253,4^2) - 927513,5 = 7651,45$ .

Сумма квадратов для вариантов  $C_V = \Sigma V^2 : n - C = (820,4^2 + 965,1^2 + \dots + 1026,2^2) : 4 - 927513,5 = 7588,78$ .

Остаточную сумму квадратов  $C_Z = C_Y - C_V = 7651,45 - 7588,78 = 62,67$ .

Степени свободы для общей дисперсии  $N - 1 = 16 - 1 = 15$ , дисперсии вариантов  $l - 1 = 4 - 1 = 3$ , остаточной дисперсии  $N - l = 16 - 4 = 12$ .

Средний квадрат<sup>33</sup> вычисляют для варьирования по вариантам  $C_V : l - 1 = 7588,78 : 3 = 2529,59$  и остаточной дисперсии  $C_Z : N - l = 62,67 : 12 = 5,22$

*F*-критерий:  $F_{\text{факт}} = S_V^2 : S_Z^2 = 2529,59 : 5,22 = 484,60$ .

В таблице или с помощью функции «FРАСПОБР» в Microsoft Excel находим критическое (теоретическое) значение *F*-критерия для выбранного уровня значимости, исходя из 3 степеней свободы для дисперсии вариантов (числитель) и 12 степеней свободы для остаточной дисперсии (знаменатель).

Запишем полученные результаты в таблицу дисперсионного анализа (табл. 68).

Нулевая гипотеза ( $H_0$  гипотеза) отвергается при  $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{теор.}}$ . В рассмотренном примере  $F_{\text{факт.}} = 484,60$  значительно превышает  $F_{\text{теор.}}$  на самом высоком уровне значимости. Следовательно,  $H_0$  гипотезу отвергаем и делаем вывод о наличии существенных различий по вариантам, т. е. обработка семян риса микроэлементами влияет на содержание в растениях хлорофиллов.

следнем этапе дисперсионного анализа выполнялся обратный переход. В настоящее время при наличии калькуляторов и компьютеров это не актуально.

<sup>33</sup> Чтобы сравнивать варьирование различного вида, необходимо привести их к одинаковому числу степеней свободы.

Таблица 68 – Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия (источник варьирования)	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F-критерий		
				$F_{\text{факт}}$	$F_{05}$	$F_{01}$
Общая	7651,45	15				
Вариантов	7588,78	3	2529,59	484,60	3,49	5,95
Остаточная (случайные отклонения)	62,67	12	5,22			

Переходим к оценке частных различий. Воспользуемся для этого критерием *HCP*. Прежде всего, по данным дисперсионного анализа вычислим: обобщенную ошибку средней

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sigma_z^2}{n}} = \sqrt{\frac{5,22}{4}} = 1,14 \text{ мг/100г}$$

и ошибку разности средней

$$s_d = \sqrt{\frac{2\sigma_z^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,22}{4}} = 1,62 \text{ мг/100г.}$$

Рассчитываем *HCP* для выбранного нами уровня значимости в абсолютных и относительных показателях:

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot s_d = 2,18 \times 1,62 = 3,53 \text{ мг/100 г}$$

$$HCP_{05} \% = \frac{t_{05} \cdot s_d}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{3,53}{240,77} \cdot 100 = 1,47\% .$$

Значения *t*-критерия для выбранного уровня значимости ( $t_{05}$ ,  $t_{01}$  или  $t_{001}$ ) находят по таблице значений критерия Стьюдента или в программе Microsoft Excel функция «СТЮДРАСПОБР» для числа степеней свободы остаточной дисперсии  $N - l = 16 - 4$ .

Проведем парные сравнения вариантов (табл. 69).

Таблица 69 – Содержание хлорофиллов **a+b** в листьях риса, мг/100 г сырой массы

Вариант	Содержание хлорофиллов <b>a+b</b> , мг/100	Разность с контролем	
		мг/100 г	%
Контроль	205,10	–	–
Бор	241,28	36,18	17,64
Цинк	260,15	55,05	26,84
Медь	256,55	51,45	25,09
<i>HCP</i> <sub>05</sub>		3,53	1,47

**Вывод.** Обработка семян риса микроэлементами способствует статистически достоверному на 0,05 % уровне значимости увеличению содержания хлорофилла в листьях. В наибольшей мере на синтез хлорофилла влияет цинк, наименьшей – бор.

**Пример дисперсионного анализа при однофакторной схеме и с разной численностью вариант в группах.** Изучалось влияние трех видов микроудобрений на урожай риса. Для сравнения использовали растения, выращиваемые без внесения микроудобрений (контроль). Контроль был представлен 3 измерениями, борные удобрения – 4, цинковые и медные – 6.

Рассмотрим составляющие дисперсионного комплекса. Регулируемый фактор – внесение микроудобрений, имеет 4 градации: без удобрений (контроль), борные, цинковые и медные удобрения. Это варианты опыта  $l=4$ . Объем выборки по вариантам: без удобрений –  $n_1=3$ , борные удобрения –  $n_2=4$ , цинковые и медные –  $n_3=6$  и  $n_4=6$ . Нулевая гипотеза формулируется следующим образом: между вариантами не различий, т. е. разность между ними равна нулю –  $H_0: d=0$ . Иными словами, обеспеченность растений микроэлементами не влияет на продуктивность растений риса.

Экспериментальные данные запишем в таблицу 70 и вычислим суммы и средние по вариантам.

Таблица 70 – Урожай риса при внесении микроудобрений, г/сосуд

Вариант, $l$	Исходные данные, $X_{11} \dots X_{ln}$						Число наблюдений, $n$	Сумма по вариантам $V$	Среднее по вариантам
Контроль	36,0	37,2	34,4	-	-	-	$n_1 = 3$	$V_1=107,6$	$\bar{x}_1=35,87$
Борные удобрения	49,4	50,4	50,3	48,1	-	-	$n_2= 4$	$V_2=198,2$	$\bar{x}_2=49,55$
Цинковые удобрения	46,0	49,2	46,7	47,1	46,0	48,1	$n_3= 6$	$V_3=283,1$	$\bar{x}_3=47,18$
Медные удобрения	45,3	44,8	48,1	46,2	45,7	44,0	$n_4= 6$	$V_4=274,1$	$\bar{x}_4=45,68$
$\Sigma X$ (общая сумма)							$N$ $=\Sigma n$ $=19$	$\Sigma X=$ $\Sigma V_l=$ $863$	$\bar{x} =$ $\Sigma X/N=$ $45,42$

Произведем следующие вычисления:

Общее число наблюдений  $N = \Sigma n = 19$ .

Корректирующий фактор  $C = (\Sigma X)^2 : N = (863)^2 : 19 = 39198,4$ .

Общая сумма квадратов  $C_Y = \Sigma X^2 - C = (36,0^2 + 37,2^2 + \dots + 44,0^2) - 39198,4 = 386,27$ .

Сумма квадратов для вариантов  $C_V = \Sigma \left( \frac{V_1^2}{n_1} + \frac{V_2^2}{n_2} + \dots + \frac{V_i^2}{n_i} \right) - C = \Sigma \left( \frac{107,6^2}{3} + \frac{198,2^2}{4} + \frac{283,1^2}{6} + \frac{274,1^2}{6} \right) - 39198,4 = 361,1$ .

Остаточную сумму квадратов  $C_Z = C_Y - C_V = 386,27 - 361,1 = 25,17$ .

Степени свободы для общей дисперсии  $N-1=19-1=18$ , дисперсии вариантов  $l-1=4-1=3$ , остаточной дисперсии  $N-l=19-4=15$ .

Средний квадрат<sup>34</sup> вычисляют для варьирования по вариантам

$$C_V : l-1 = 361,1 : 3 = 120,37$$

и остаточной дисперсии

$$C_Z : N-l = 25,17 : 15 = 1,68.$$

$$F\text{-критерий: } F_{\text{факт}} = S_V^2 : S_Z^2 = 120,37 : 1,68 = 71,65.$$

Находим критическое (теоретическое) значение  $F$ -критерия для выбранного уровня значимости, исходя из 3 степеней свободы для дисперсии вариантов (числитель) и 15 степеней свободы для остаточной дисперсии (знаменатель).

Запишем полученные результаты в таблицу дисперсионного анализа (табл. 71).

Таблица 71 – Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия (источник варьирования)	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	$F$ -критерий			
				$F_{\text{факт}}$	$F_{05}$	$F_{01}$	$F_{001}$
Общая	386,27	18,00					
Вариантов	361,10	3,00	120,37	71,65	3,29	5,42	9,34
Остаточная (случайные отклонения)	25,17	15,00	1,68				

Нулевая гипотеза ( $H_0$ -гипотеза) отвергается, т. к.  $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{теор.}} = 71,65 > \{3,29; 5,42; 9,34\}$ . Следовательно, между вариантами имеются существенные различия, т. е. изучаемые микроудобрения оказывают существенное влияние на продуктивность растений.

При оценке существенности частных различий в опыте с разной повторностью необходимо учесть неравноточность сравнения средних. По данным дисперсионного анализа вычисляем ошибку разности средней для каждой пары сравнений по формуле:

$$s_d = \sqrt{\sigma_z^2 \frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}}.$$

Ошибка разности средних для сравнения вариантов:

$$1-2 \quad s_{d1-2} = \sqrt{1,68 \frac{3+4}{3 \cdot 4}} = 0,99 \text{ г/сосуд};$$

$$1-3 \quad s_{d1-3} = \sqrt{1,68 \frac{3+6}{3 \cdot 6}} = 0,92 \text{ г/сосуд};$$

$$1-4 \quad s_{d1-4} = \sqrt{1,68 \frac{3+6}{3 \cdot 6}} = 0,92 \text{ г/сосуд};$$

<sup>34</sup> Чтобы сравнивать варьирование различного вида, необходимо привести их к одинаковому числу степеней свободы.

$$2-3 \quad s_{d_{2-3}} = \sqrt{1,68 \frac{4+6}{4 \cdot 6}} = 0,84 \text{ г/сосуд};$$

$$2-4 \quad s_{d_{2-4}} = \sqrt{1,68 \frac{4+6}{4 \cdot 6}} = 0,84 \text{ г/сосуд};$$

$$3-4 \quad s_{d_{3-4}} = \sqrt{1,68 \frac{6+6}{6 \cdot 6}} = 0,75 \text{ г/сосуд}.$$

Как видим, ошибка разности при сравнении варианта под номером 1 с 3 и 4 вариантами (а также 2 варианта с 3 и 4) вследствие совпадающих объемов сравниваемых выборок одинаковы, т. е. ошибку разности средних можно рассчитывать одну для всех пар с совпадающими размерами выборок.

Рассчитываем  $HCP$ , также для каждого парного сравнения, для выбранного уровня значимости:

$$HCP_{05}^{1-2} = t_{05} \cdot s_{d_{1-2}} = 2,13 \cdot 0,99 = 2,11 \text{ г/сосуд};$$

$$HCP_{05}^{1-3} = t_{05} \cdot s_{d_{1-3}} = 2,13 \cdot 0,92 = 1,96 \text{ г/сосуд};$$

$$HCP_{05}^{1-4} = t_{05} \cdot s_{d_{1-4}} = 2,13 \cdot 0,92 = 1,96 \text{ г/сосуд};$$

$$HCP_{05}^{2-3} = t_{05} \cdot s_{d_{2-3}} = 2,13 \cdot 0,84 = 1,79 \text{ г/сосуд};$$

$$HCP_{05}^{2-4} = t_{05} \cdot s_{d_{2-4}} = 2,13 \cdot 0,84 = 1,79 \text{ г/сосуд};$$

$$HCP_{05}^{3-4} = t_{05} \cdot s_{d_{3-4}} = 2,13 \cdot 0,75 = 1,60 \text{ г/сосуд}.$$

Значения  $t$ -критерия для выбранного уровня значимости ( $t_{05}$ ,  $t_{01}$  или  $t_{001}$ ) находят по таблице значений критерия Стьюдента или в программе Microsoft Excel функция «СТЬЮДРАСПОБР» для числа степеней свободы остаточной дисперсии  $N - l = 19 - 4$ .

Проведем парные сравнения вариантов (табл. 72).

Таблица 72 – Урожай риса при внесении микроудобрений, г/сосуд

Вариант	Урожай	Сравнение с контролем		Сравнение с борными удобрениями		Сравнение с цинковыми удобрениями		Сравнение с медными удобрениями	
		разность	$HCP_{05}$	разность	$HCP_{05}$	разность	$HCP_{05}$	разность	$HCP_{05}$
Контроль	35,87	-	-	-13,68	2,11	-11,31	1,96	-9,81	1,96
Борные удобрения	49,55	13,68	2,11	-	-	2,37	1,79	3,87	1,79
Цинковые удобрения	47,18	11,31	1,96	-2,37	1,79	-	-	1,5	1,6
Медные удобрения	45,68	9,81	1,96	-1,5	1,79	-1,5	1,6	-	-

**Вывод.** Применение микроудобрений способствует статистически достоверному на самом высоком ( $\alpha=0,001$ ) уровне значимости увеличению урожая риса по сравнению с контролем. При этом не различались по эффективности борные и медные, а так же цинковые и медные удобрения.

Быстро провести дисперсионный анализ вегетационного опыта можно в программе Microsoft Excel. Для этого запишите каждое наблюдение в отдельную ячейку, располагая наблюдения, относящиеся к одной группе, в одной строке или столбце. В главном меню выберите «Данные», вкладку «Анализ данных». В появившемся окне «Инструменты анализа» выбираем «Однофакторный дисперсионный анализ».

В окне «Однофакторный дисперсионный анализ» вводим входной интервал, указываем группирование (по столбцам или по строкам), уровень значимости (Альфа) и выходной интервал (рис. 95). И запускаем приложение (ОК). Результаты дисперсионного анализа выводятся на экран (рис. 96).

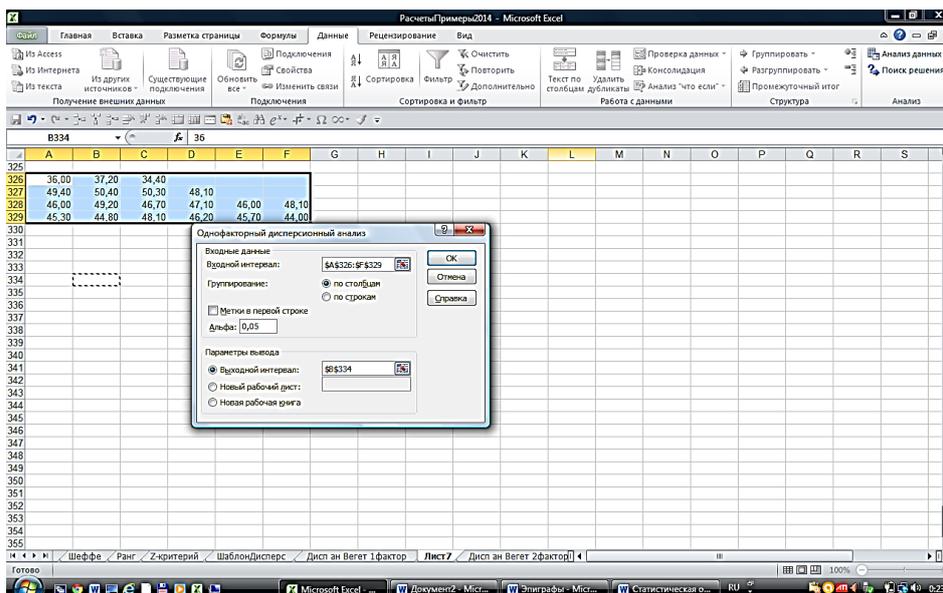


Рис. 95. Вид экрана монитора

Microsoft Excel по каждой выборке (варианту) выводит на экран: объем выборки, сумму значений, среднее значение результирующего признака, дисперсию. Эти данные представлены в таблице «ИТОГИ». В следующей таблице «Дисперсионный анализ» показаны: источники вариации, сумма квадратов ( $SS$ ) по каждому типу варьирования, число степеней свободы ( $df$ ), средний квадрат ( $MS$ ), фактическое и критическое значения  $F$ -критерия. Фактическое значение  $F$ -критерия превосходит критическое, следовательно,  $H_0$ -гипотеза отвергается, что указывает на различия по вариантам. Есть еще одна величина « $P$ -значение», показывающая вероятность неправильного вывода, т. е. вероятность того, что  $H_0$ -гипотеза подтверждается. В рассматриваемом примере  $P = 4,01112E-09$  это ничтожно малая вероятность, а следовательно, также указывает на наличие существенных различий между группами статистического (дисперсионного) комплекса.

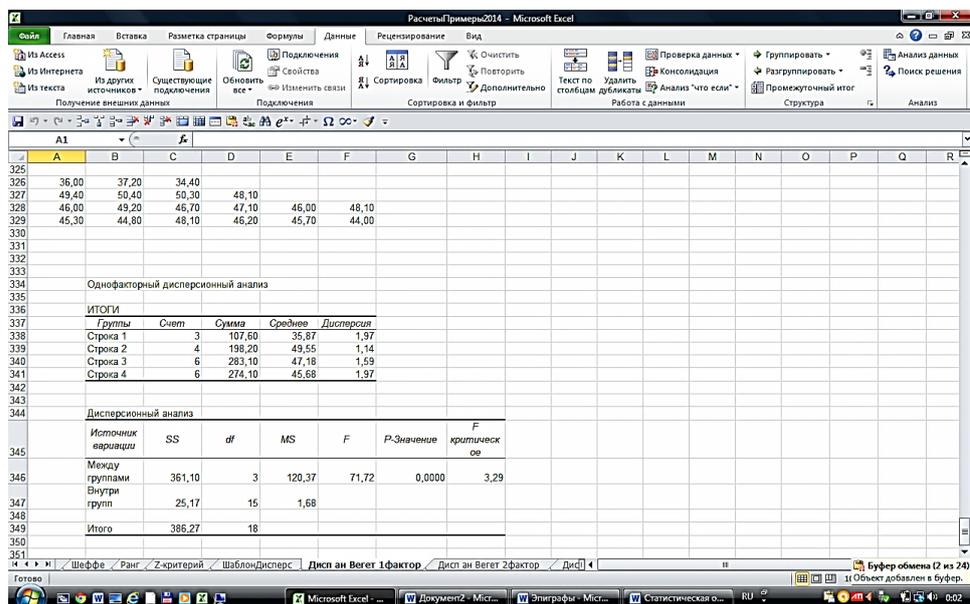


Рис. 96. Вид экрана монитора

Приложением Microsoft Excel не предусматривается анализ частных различий. Оценку частных различий можно провести, используя инструменты «t-тест», «z-тест» или соответствующие функции. Вычисление *HCP* следует провести самостоятельно на основании данных дисперсионного анализа, вводя в электронную таблицу операции последовательных расчетов в соответствии с формулами для их вычислений.

### 5.8.3.2. Многофакторный эксперимент

*Человек должен продолжать верить, что непонятное может быть понято; иначе он перестал бы исследовать.*

**Иоганн Вольфганг Гете**

*В биологических, медицинских и агробиологических исследованиях приходится иметь дело с очень сложными экспериментами, в которых многие факторы не поддаются строгому учету и контролю. Для обработки и интерпретации результатов таких экспериментов нужно применять методы современной математической статистики, что позволяет извлечь из экспериментов всю информацию и оценить степень надежности полученных данных.*

**Н. Бейли**

Прежде чем переходить к дисперсионному анализу многофакторных опытов, напомним об ограничениях, которые необходимо учитывать на стадии планирования. Во-первых, включаемые в дисперсионный анализ факторы должны быть независимы друг от друга, т. е. между ними не должно быть корреляции. Например, одновременно, т. е. в одном опыте,

нельзя изучать влияние на рост растений температуры и относительной влажности воздуха, температуры воздуха и температуры воды для водных растений, относительной влажности воздуха и поражения пирикулярриозом на урожайность риса и т. п., т. к. обычно эти параметры сильно коррелируют между собой. Следует учесть, что в неравномерных статистических комплексах значительно усложняются расчеты исключительно из-за того, что нарушается соотношение  $C_Y = C_V + C_Z$ , и необходимо вводить различные поправки (Плохинский Н.А., 1970). Поэтому при планировании опыта крайне желательно предусмотреть одинаковое или хотя бы пропорциональное число наблюдений по градациям факторов.

Дисперсионный анализ данных многофакторного эксперимента проводят в два этапа. Первый этап – разложение общей вариации результирующего признака на варьирование вариантов и остаточное:  $C_Y = C_V + C_Z$ . На втором этапе сумма квадратов отклонения для вариантов разлагается на компоненты, соответствующие источникам варьирования, число которых определяется количеством изучаемых факторов. Различают главные эффекты изучаемых факторов и эффекты их взаимодействия. В двухфакторном опыте сумма квадратов отклонений для вариантов ( $C_V$ ) разлагается на 3 компонента – варьирование, обусловленное действием фактора А ( $C_A$ ), фактором В ( $C_B$ ) и их взаимодействием ( $C_{AB}$ ):  $C_V = C_A + C_B + C_{AB}$ ; в трехфакторном соответственно –  $C_V = C_A + C_B + C_C + C_{AB} + C_{AC} + C_{BC} + C_{ABC}$  и так далее.

Рассмотрим последовательность вычислений при оценке методом дисперсионного анализа результатов двухфакторного вегетационного эксперимента. Дисперсионный комплекс представлен двумя факторами А и В. Фактор А имеет две градации  $a_0$  и  $a_1$ , следовательно число вариантов для фактора А два –  $l_A = 2$ ; фактор В тремя градациями  $b_0, b_1$  и  $b_2$ , т. е. тремя вариантами –  $l_B = 3$ . Число наблюдений по каждому варианту  $n$ . Данные наблюдений записываются в таблицу (табл. 73).

Таблица 73 – Таблица представления исходных данных

Фактор А	Фактор В	Исходные данные	Сумма по вариантам V (сумма значений компонентов в колонке 3)	Среднее по вариантам (колонку 3 разделить на n)
1	2	3	4	5
$a_0$	$b_0$	$X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n}$	$V_1$	$\bar{x}_1$
	$b_1$	$X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n}$	$V_2$	$\bar{x}_2$
	$b_2$	$X_{31}, X_{32}, \dots, X_{3n}$	$V_3$	$\bar{x}_3$
$a_1$	$b_0$	$X_{41}, X_{42}, \dots, X_{4n}$	$V_4$	$\bar{x}_4$
	$b_1$	$X_{51}, X_{52}, \dots, X_{5n}$	$V_5$	$\bar{x}_5$
	$b_2$	$X_{61}, X_{62}, \dots, X_{6n}$	$V_6$	$\bar{x}_6$
$\Sigma X$ (общая сумма)			$\Sigma X = \Sigma V$	$\bar{x} = \Sigma X / N$

Дисперсионный анализ статистического комплекса, состоящего из двух градаций фактора  $A$  и трех градаций фактора  $B$ , начинают с определения суммы  $V_i$  и средних  $\bar{x}_i$  по вариантам, общей суммы ( $\Sigma X$ ) и средней по опыту ( $\bar{x}$ ), а также объема дисперсионного комплекса ( $N = l_A \cdot l_B \cdot n$ ).

Затем вычисляют корректирующий фактор, общую сумму квадратов отклонений, сумму квадратов для вариантов и остаточную сумму квадратов:

$$\begin{aligned} \text{корректирующий фактор:} & C = (\Sigma X)^2 : N; \\ \text{общая сумма квадратов} & C_Y = \Sigma X^2 - C; \\ \text{сумма квадратов для вариантов} & C_V = \Sigma V^2 : n - C; \\ \text{остаточную сумму квадратов} & C_Z = C_Y - C_V. \end{aligned}$$

Для вычисления сумм квадратов по факторам  $A$ ,  $B$  и взаимодействию  $AB$  составляют вспомогательную таблицу, в которую записывают суммы опытных данных по вариантам. Суммируя полученные числа, находят суммы  $A$ , суммы  $B$  и вычисляют суммы квадратов отклонений (табл. 74).

Таблица 74 – Таблица для определения сумм главных эффектов и взаимодействия

Фактор $A$	Фактор $B$			Сумма по фактору $A$
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	
$a_0$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_1+V_2+V_3$
$a_1$	$V_4$	$V_5$	$V_6$	$V_4+V_5+V_6$
Сумма по фактору $B$	$V_1+V_4$	$V_2+V_5$	$V_3+V_6$	$\Sigma V$

Сумма квадратов для фактора  $A$  :

$$C_A = \frac{(V_1 + V_2 + V_3)^2 + (V_4 + V_5 + V_6)^2}{l_B \cdot n} - C \quad \text{при } l_A - 1 \text{ степенях свободы;}$$

Сумма квадратов для фактора  $B$ :

$$C_B = \frac{(V_1 + V_4)^2 + (V_2 + V_5)^2 + (V_3 + V_6)^2}{l_A \cdot n} - C \quad \text{при } l_B - 1 \text{ степенях свободы;}$$

Сумма квадратов для взаимодействия  $AB$ :

$$C_{AB} = C_V - C_A - C_B \quad \text{при } (l_A - 1) \cdot (l_B - 1) \text{ степенях свободы.}$$

Суммы квадратов и степени свободы записывают в таблицу дисперсионного анализа и рассчитывают фактическое значение критерия  $F$  (табл. 75).

Теоретическое значение  $F$ -критерия находят по таблице критерия  $F$  или с помощью функции «FРАСПОБР» в Microsoft Excel, исходя из выбранного уровня значимости, степеней свободы дисперсии главных эффектов и взаимодействия (числитель) и степеней свободы остатка (знаменатель).  $H_0$ -гипотеза отвергается при  $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{крит.}}$ .

Таблица 75 – Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия (источник варьирования)	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	$F_{\text{факт}}$	$F_{0.05}$
Общая	$C_Y$	$N-1$	–	–	–
Фактора $A$	$C_A$	$l_A-1$	$S_A^2 = \frac{C_A}{l_A-1}$	$F = \frac{S_A^2}{S_Z^2}$	По таблице значений критерия $F$
Фактора $B$	$C_B$	$l_B-1$	$S_B^2 = \frac{C_B}{l_B-1}$	$F = \frac{S_B^2}{S_Z^2}$	
Взаимодействия $AB$	$C_{AB}$	$(l_A-1) \cdot (l_B-1)$	$S_{AB}^2 = \frac{C_{AB}}{(l_A-1) \cdot (l_B-1)}$	$F = \frac{S_{AB}^2}{S_Z^2}$	
Остаточная (ошибки)	$C_Z$	$N-(l_A-1)-(l_B-1)-[(l_A-1) \cdot (l_B-1)]$	$S_Z^2 = C_Z / N-(l_A-1)-(l_B-1)-[(l_A-1) \cdot (l_B-1)]$	–	

Для оценки существенности частных различий аналогично однофакторному эксперименту вычисляют:

обобщенную ошибку средней  $s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S_Z^2}{n}}$

и ошибку разности средней  $s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{n}}$ .

Рассчитываем  $HCP$  для выбранного нами уровня значимости в абсолютных и относительных показателях:

$$HCP_{0.05} = t_{0.05} \cdot s_d$$

$$HCP_{0.05} \% = \frac{t_{0.05} \cdot s_d}{\bar{x}} \cdot 100.$$

Значения  $t$ -критерия для выбранного уровня значимости ( $t_{0.05}$ ,  $t_{0.01}$  или  $t_{0.001}$ ) находят по таблице значений критерия Стьюдента или в программе Microsoft Excel функция «СТЮДРАСПОБР» для числа степеней свободы остаточной дисперсии  $N-(l_A-1)-(l_B-1)-[(l_A-1) \cdot (l_B-1)]$ .

*Пример.* Необходимо выявить влияние засоления и содержание азота в питательной смеси на урожай риса. Растения выращивались в сосудах с засоленной и нормальной по содержанию NaCl. На каждом уровне засоления (т. е. засоленной и незасоленной почвы) в почву вносился азот в количестве соответствующем 2, 4 и 6 дозам смеси Прянишникова. Учיתי-

вали массу зерна с сосуда. Анализируем компоненты дисперсионного комплекса. Дисперсионный комплекс включает два фактора – засоленность почвы (фактор А) и содержание азота (фактор В). Фактор А имеет две градации:  $a_0$  – не засоленная почва,  $a_1$  – засоленная; фактор В – 3 градации:  $b_0$  – 2 дозы Прянишникова,  $b_1$  – 4 и  $b_2$  – 6 доз Прянишникова. Следовательно число вариантов для фактора А два –  $l_A=2$ ; фактора В три –  $l_B=3$ . Число наблюдений по каждому варианту  $n=4$ . Данные наблюдений записываются в таблицу (табл. 76):

Таблица 76 – Масса зерна риса, г/сосуд

Фактор А	Фактор В	Исходные данные				Сумма по вариантам V)	Среднее по вариантам
1	2	3				4	5
$a_0$	$b_0$	49,8	53,5	53,1	50,1	206,5	51,63
	$b_1$	78,5	69,8	73,6	79,2	301,1	75,28
	$b_2$	65,8	64,5	66,2	65,4	261,9	65,48
$a_1$	$b_0$	41,2	42,9	40,1	44,1	168,3	42,08
	$b_1$	46,5	47,8	48,2	46,5	189,0	47,25
	$b_2$	48,8	50,5	52,1	49,1	200,5	50,13
$\Sigma X$ (общая сумма)=1326,3						$\Sigma X = \Sigma V = 1326,3$	$\bar{x} = \Sigma X / N = 55,3$

Дисперсионный анализ начинают с определения сумм  $V$  и средних  $\bar{x}$  по вариантам, общую сумму ( $\Sigma X$ ) и среднее по опыту ( $\bar{x}$ ), а также объема дисперсионного комплекса  $N = l_A \cdot l_B \cdot n = 2 \cdot 3 \cdot 4 = 24$ .

Затем вычисляют корректирующий фактор, общую сумму квадратов отклонений, сумму квадратов для вариантов и остаточную сумму квадратов:

$$\text{корректирующий фактор: } C = (\Sigma X)^2 : N = (1326,3)^2 : 24 = 73405,22;$$

$$\text{общая сумма квадратов } C_Y = \Sigma X^2 - C = (49,8^2 + 53,5^2 + \dots + 49,1^2) - 73405,22 = 3220,23;$$

$$\text{сумма квадратов для вариантов } C_V = \Sigma V^2 : n - C = (206,5^2 + 301,1^2 + 261,9^2 + 168,3^2 + 189,0^2 + 200,5^2) : 4 - 73405,22 = 3130,08;$$

$$\text{остаточную сумму квадратов } C_Z = C_Y - C_V = 3220,23 - 3130,08 = 90,15.$$

Для вычисления сумм квадратов по факторам А, В и взаимодействию АВ составляем вспомогательную таблицу, в которую записываем суммы опытных данных по вариантам. Суммируя полученные числа, находят суммы А, суммы В и вычисляют суммы квадратов отклонений (табл. 77).

Сумма квадратов для фактора А :

$$C_A = \frac{\sum A^2}{l_B \cdot n} - C = \frac{769,5^2 + 557,8^2}{3 \cdot 4} - 73405,22 = 1867,37$$

при  $l_A - 1 = 2 - 1 = 1$  степенях свободы;

Таблица 77 – Суммы главных эффектов и взаимодействия

Фактор <i>A</i>	Фактор <i>B</i>			Сумма по фактору <i>A</i>
	<i>b</i> <sub>0</sub>	<i>b</i> <sub>1</sub>	<i>b</i> <sub>2</sub>	
<i>a</i> <sub>0</sub>	206,50	301,1	261,9	769,5
<i>a</i> <sub>1</sub>	168,3	189,0	200,5	557,8
Сумма по фактору <i>B</i>	374,8	490,1	462,4	1327,3

Сумма квадратов для фактора *B*:

$$C_B = \frac{\sum B^2}{l_A \cdot n} - C = \frac{374,6^2 + 490,1^2 + 462,4^2}{2 \cdot 4} - 73405,22 = 905,63$$

при  $l_B - 1 = 3 - 1 = 2$  степенях свободы;

Сумма квадратов для взаимодействия *AB*:

$$C_{AB} = C_V - C_A - C_B = 3130,08 - 1867,37 - 905,63$$

при  $(l_A - 1) \cdot (l_B - 1) = (2 - 1) \cdot (3 - 1) = 2$  степенях свободы.

Суммы квадратов и степени свободы записывают в таблицу дисперсионного анализа и рассчитывают фактическое значение критерия *F* (табл. 78).

Таблица 78 – Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия (источник варьирования)	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	<i>F</i> <sub>факт</sub>	<i>F</i> <sub>05</sub>
Общая	3220,23	23	—	—	—
Фактора <i>A</i>	1867,37	1	1867,37	372,73	4,41
Фактора <i>B</i>	905,63	2	452,82	90,38	3,55
Взаимодействия <i>AB</i>	357,08	2	178,54	35,64	3,55
Остаточная (ошибки)	90,15	18	5,01	—	—

Теоретическое значение *F*-критерия находят по таблице критерия *F* или с помощью функции «ФРАСПОБР» в Microsoft Excel, исходя из выбранного уровня значимости, степеней свободы дисперсии главных эффектов и взаимодействия (числитель) и степеней свободы остатка (знаменатель). Для фактора *A*  $F_{05} = 4,41$ , исходя из 1 степени свободы дисперсии фактора *A* (числитель) и 18 степеней свободы остатка (знаменатель); для фактора *B*  $F_{05} = 3,55$ , исходя из 2 степеней свободы дисперсии фактора *B* (числитель) и 18 степеней свободы остатка (знаменатель); для взаимодействия *AB*  $F_{05} = 3,55$ , исходя из 2 степеней свободы для дисперсии обусловленной взаимодействием факторов (числитель) и 18 степеней свободы остатка (знаменатель). Действие и взаимодействие изучаемых факторов значимо на 5 % уровне значимости, т. к.  $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{крит.}}$  ( $372,73 \geq 4,41$ ,  $90,38 \geq 3,55$  и  $90,38 \geq 3,55$ ).

Для оценки существенности частных различий вычисляем:

$$\text{обобщенную ошибку средней } s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S_z^2}{n}} = \sqrt{\frac{5,01}{4}} = 1,12 \text{ г/сосуд}$$

$$\text{и ошибку разности средней } s_d = \sqrt{\frac{2S_z^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,01}{4}} = 1,58 \text{ г/сосуд.}$$

Рассчитываем  $HCP$  для выбранного нами уровня значимости в абсолютных и относительных показателях:

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot s_d = 2,10 \cdot 1,58 = 3,32 \text{ г/сосуд.}$$

Значения  $t$ -критерия для выбранного уровня значимости ( $t_{05}$ ,  $t_{01}$  или  $t_{001}$ ) находят по таблице значений критерия Стьюдента или в программе Microsoft Excel функция «СТЮДРАСПОБР» для 18 степеней свободы остаточной дисперсии.

Результаты опыта и статистической оценки данных представляют самым разным образом, например:

Урожай зерна риса в зависимости от засоленности почвы и уровня азотного питания, г/сосуд

Засоление	Содержание азота в питательной смеси		
	2 дозы Пряниш-никова	4 дозы Пряниш-никова	6 доз Прянишни-кова
Без засоления	51,63	75,28	65,48
Засоленная почва	42,08	47,25	50,13

$HCP_{05}$  для сравнения частных средних =3,32

Или:

Вариант		Масса зерна с сосуда, г		
Уровень засо-ления (фактор А)	Доза азота (фактор В)	средняя	± к варианту без засоле-ния, 2 дозы	± к варианту засоленная почва +2 дозы Пря-нишника
Без засоления	2 дозы Прянишника	51,63	–	–
	4 дозы Прянишника	75,28	23,65	–
	6 доз Прянишника	65,48	13,85	–
Засоленная почва	2 дозы Прянишника	42,08	-9,55	–
	4 дозы Прянишника	47,25	-4,38	5,17
	6 доз Прянишника	50,13	-1,5	8,05

$HCP_{05}$  для сравнения частных средних =3,32

**Вывод.** Урожай зерна риса зависит от засоления почвы и обеспеченности азотом. Независимо от содержания в питательной смеси азота на засоленной почве урожайность зерна значительно ниже, чем на пресной. На засоленной почве необходимо вносить более высокие дозы азота.

В программе Microsoft Excel можно выполнить дисперсионный анализ не более чем двухфакторного вегетационного опыта. Запустите Microsoft Excel. В электронной таблице создайте входной интервал. Для этого запишите каждое наблюдение в отдельную ячейку, располагая наблюдения, относящиеся к одной группе в одном столбце. В главном меню выберите «Данные», вкладку «Анализ данных». В появившемся окне «Инструменты анализа» выбираем «Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями».

В окне «Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями» вводим входной интервал, число строк в выборке (соответствует числу наблюдений по каждому варианту), уровень значимости (Альфа) и выходной интервал. Обратите внимание, что входной интервал включает не только сами наблюдения, но и строку и столбец с обозначением градаций каждого фактора (рис. 97). И запускаем приложение (ОК). Результаты дисперсионного анализа выводятся на экран (рис. 98).

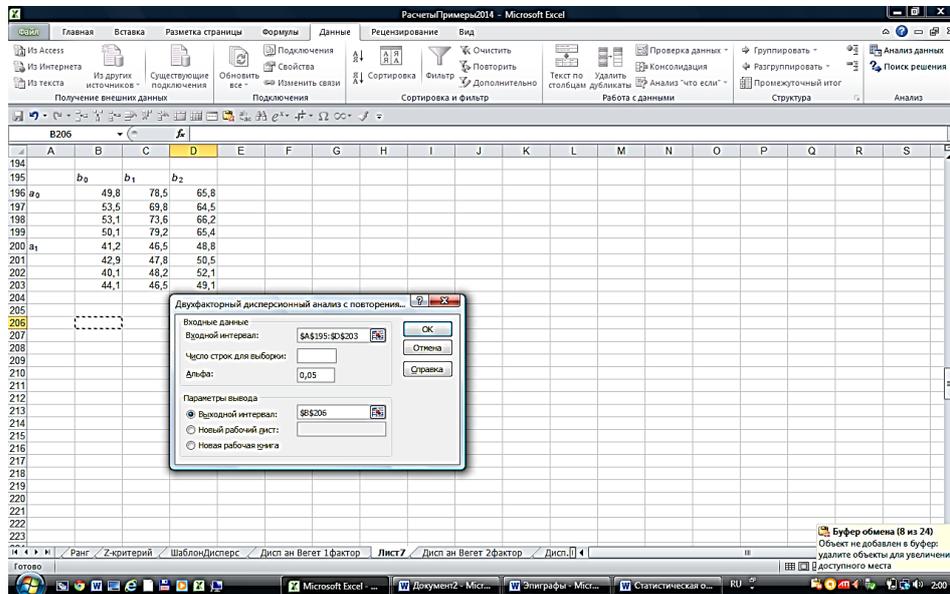


Рис. 97. Вид экрана монитора

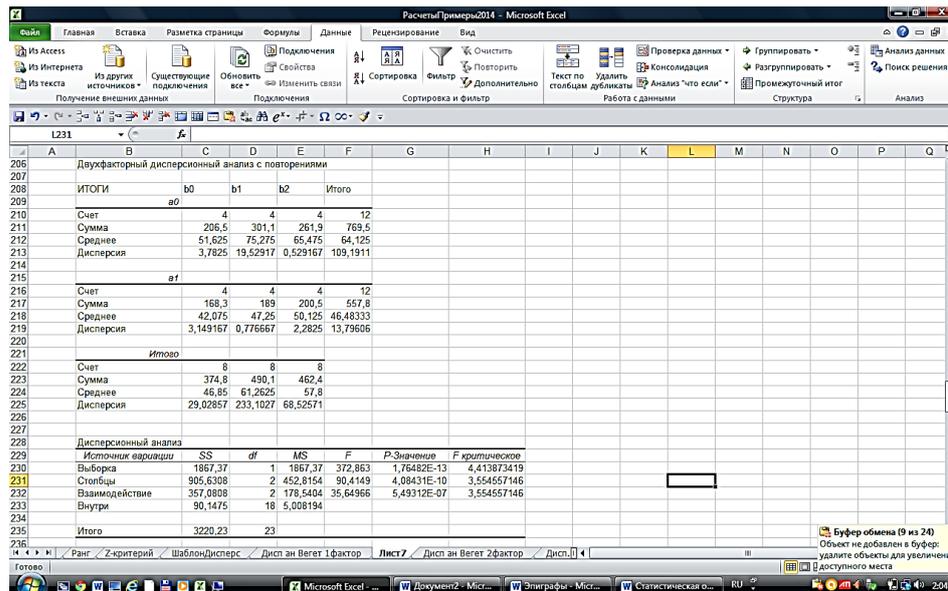


Рис. 98. Вид экрана монитора

Microsoft Excel выводит на экран следующую информацию для каждой группы и всего дисперсионного комплекса: объем выборки, сумму значений, среднее значение результативного признака, дисперсию. Эти данные представлены в таблице «ИТОГИ». В следующей таблице «Дисперсионный анализ» показаны: источники вариации, сумма квадратов ( $SS$ ) по каждому типу варьирования, число степеней свободы ( $df$ ), средний квадрат ( $MS$ ), фактическое и критическое значения  $F$ -критерия. Есть еще одна величина « $P$ -значение», показывающая вероятность неправильного вывода, т. е. вероятность того, что  $H_0$ -гипотеза подтверждается. Называются следующие источники вариации: «Выборка» – соответствует фактору, расположенному в первом столбце входного интервала (в нашем примере фактор А); «Столбцы» – соответствует фактору, расположенному в первой строке входного интервала (в нашем примере фактор В); «Взаимодействие»; «Внутри» – соответствует случайному варьированию (остаточная дисперсия) и «Итого» – иначе общая дисперсия.

Приложением Microsoft Excel не предусматривается анализ частных различий. Оценку частных различий можно провести, используя инструменты « $t$ -тест», « $z$ -тест» или соответствующие функции. Вычисление  $HSP$  следует провести самостоятельно на основании данных дисперсионного анализа, вводя в электронную таблицу операции последовательных расчетов в соответствии с формулами для их вычислений.

#### 5.8.4. Дисперсионный анализ результатов полевого эксперимента

*Статистические методы никогда нельзя применять механически, без предварительного анализа их пригодности для решения данной задачи; гораздо важнее научиться учитывать специфические особенности исследуемой проблемы, нежели овладеть навыками правильного применения выбранного метода.*

**Н. Бейли**

*Цель любого исследования – проверка определенных теоретических предположений – гипотез. ... При постановке, скажем, опытов с удобрениями проверяют гипотезу о преимуществе новых удобрений или новых доз.*

**В.Г. Вольф**

Как бы не были ценны результаты теоретических исследований, окончательные выводы, на основании которых можно сформировать заключение об изучаемых процессах и давать практические рекомендации для использования, могут быть сделаны только после их всесторонней проверки в условиях, когда можно учесть влияние на объект (процесс) практически всех экологических факторов. Эта проверка реализуется постановкой полевого эксперимента, являющегося важнейшим методом исследования в условиях сельскохозяйственного производства.

Полевой эксперимент связывает теоретические исследования с сельскохозяйственной практикой. Результаты полевых экспериментов могут быть достаточно убедительным основанием для широкого внедрения новых средств повышения урожайности – агротехнических приемов, новых сортов, удобрений. Такой эксперимент осуществляется в полевой обстановке на специально выделенном участке. Основными задачами полевого эксперимента являются установление различий между вариантами и количественная оценка действия различных факторов на резульативный признак.

#### 5.8.4.1. Однофакторный эксперимент

*Природа снова и снова оказывается гораздо богаче наших представлений о ней, а бесчисленные «сюрпризы», которые она преподносит исследователям, делают ее изучение захватывающе интересным.*

**В. Амбарцумян**

Разложение общего варьирования резульативного признака на составляющие определяется схемой размещения делянок.

##### 5.8.4.1.1. Эксперимент, поставленный методом рендомизированных повторений

*Лишь в конце работы мы обычно узнаем, с чего ее надо было начинать.*

**Паскаль**

*Экспериментатор обязан ставить такие опыты, которые бесят теоретиков.*

**П.Л. Капица**

В полевом эксперименте, поставленном методом рендомизированных повторений, возможна двойная группировка исходных данных: по повторениям и по вариантам. В отличие от вегетационного опыта, общая дисперсия значений резульативного признака разлагает не на два компонента, а на три – варьирование, вызванное действием регулируемого фактора (варьирование вариантов), варьирование, вызванное различным положением делянки в пространстве (варьирование повторений), и варьирование, вызванное действием нерегулируемых факторов (случайное варьирование):  $C_Y = C_V + C_P + C_Z$ .

Статистическую оценку результатов полевого опыта с однолетними культурами начинают с описания статистического (дисперсионного комплекса). Удобно занести исходные данные в расчетную таблицу (табл. 79). По этой таблице легко определить число вариантов  $l$  (число строк с исходными данными), повторений  $n$  и объем дисперсионного комплекса  $N = \sum n$ . Затем вычисляют суммы по повторениям и вариантам и средние значения.

По формулам, записанным в таблице 80, вычисляем суммы квадратов отклонений для всех источников варьирования, степени свободы, средний квадрат и  $F$ -критерий. Результаты вычислений записывают в эту же таблицу вместо формул.

Таблица 79 – Расположение данных в таблице предварительных расчетов

Вариант	Значение анализируемого признака по повторениям, X				Число наблюдений, n	Сумма по вариантам V	Среднее по вариантам
	1	2	...	n			
1	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	...	X <sub>1n</sub>	n <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	$\bar{x}_1$
2	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	...	X <sub>2n</sub>	n <sub>2</sub>	V <sub>2</sub>	$\bar{x}_2$
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
l	X <sub>l1</sub>	X <sub>l2</sub>	...	X <sub>ln</sub>	n <sub>l</sub>	V <sub>l</sub>	$\bar{x}_l$
Сумма по повторениям P	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	...	P <sub>n</sub>	N=Σn= l·n	ΣX=ΣP=ΣV	$\bar{x} = \Sigma X/N$

Таблица 80 – Формулы для вычисления

Дисперсия (источник варьирования)	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F <sub>факт.</sub>	F <sub>теор.</sub>
Общая C <sub>Y</sub>	$C_Y = \Sigma X^2 - C^*$	N-1	--	-	-
Повторений C <sub>P</sub>	$C_P = \Sigma P^2 : l - C$	n-1	-	-	-
Вариантов C <sub>V</sub>	$C_V = \Sigma V^2 : n - C$	l-1	$S_V^2 = \frac{C_V}{l-1}$	$S_V^2 : S_Z^2$	По таблице
Остаточная C <sub>Z</sub> (случайные отклонения, ошибки)	$C_Z = C_Y - C_P - C_V$	$(n-1) \times (l-1)$	$S_Z^2 = \frac{C_Z}{N-1}$	-	-

\* C – корректирующий фактор (поправка), вычисляют по формуле:  $C = (\Sigma X)^2 : N$  или  $C = \bar{x} \cdot \Sigma X$ . Существует достаточно много алгоритмов дисперсионного анализа, не использующих корректирующий фактор. Результат анализа не зависит от применяемого алгоритма вычислений.

$H_0$ -гипотезы проверяют по F-критерию, которая отвергается при  $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{теор.}}$ . Если она отвергается, переходят к оценке существенности частных различий и, если это необходимо, – силе влияния факторов. Если  $F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$ ,  $H_0$ -гипотеза не отвергается, а значит все различия между выборочными средними находятся в пределах случайных отклонений, и в этом случае вычисляют только обобщенную ошибку средней ( $s_{\bar{x}}$ ).

*Пример.* Изучалась реакция 7 сортов риса на подкормку растений сульфатом меди. Опыт закладывался в 4 повторениях при рендомизированном размещении делянок. Необходимо установить, существенно ли различаются сорта по реакции на агроприем.

Дисперсионный комплекс состоит из 7 вариантов ( $l=7$ ), 4 повторений ( $n=4$ ), общее число наблюдений  $N=\sum n=l \cdot n=7 \cdot 4=28$ . Разместим данные по урожайности во вспомогательной таблице (табл. 81).

Таблица 81 – Урожайность зерна риса, ц/га (таблица предварительных расчетов)

Вариант	Урожайность по повторениям, X				Сумма по вариантам V	Средние по вариантам
	1	2	3	4		
1 (стандарт)	50,6	54,7	53,2	51,9	210,4	52,60
2	55,8	54,8	50,7	53,5	214,8	53,70
3	54,5	49,8	50,2	48,5	203,0	50,75
4	64,8	64,5	67,8	67,0	264,1	66,03
5	49,6	47,8	50,8	49,4	197,6	49,40
6	61,5	58,1	58,4	55,8	233,8	58,45
7	68,9	67,5	69,8	71,4	277,6	69,40
Сумма по повторениям P	$P_1=405,7$	$P_2=397,2$	$P_3=400,9$	$P_4=397,5$	$1601,3=\sum X=$ $=\sum P=\sum V$	$57,19=$ $\bar{x}=\sum X/N$

Выполнив предварительные вычисления сумм значений по вариантам, повторениям и среднее по вариантам (правильность расчетов проверяют по равенству  $\sum X=\sum P=\sum V=1601,3$ ), переходим к вычислению корректирующего фактора, сумм квадратов, средних квадратов и  $F$ -критерия.

Произведем следующие вычисления:

Общее число наблюдений  $N = l \cdot n = 7 \cdot 4 = 28$ .

Корректирующий фактор  $C = (\sum X)^2 : N = (1601,3)^2 : 28 = 91577,2$ .

Общая сумма квадратов  $C_Y = \sum X^2 - C = (50,6^2 + 54,7^2 + \dots + 71,4^2) - 91577,2 = 1537,75$ .

Сумма квадратов для повторений  $C_P = \sum P^2 - C = (405,7^2 + 397,2^2 + 400,9^2 + 397,5^2) : 7 - 91577,2 = 6,71$ .

Сумма квадратов для вариантов  $C_V = \sum V^2 : n - C = (210,4^2 + 214,8^2 + \dots + 277,6^2) : 4 - 91577,2 = 1456,75$ .

Остаточную сумму квадратов  $C_Z = C_Y - C_P - C_V = 1537,75 - 6,71 - 1456,75 = 74,5$ .

Степени свободы для общей дисперсии  $N - 1 = 28 - 1 = 27$ , дисперсии повторений  $n - 1 = 4 - 1 = 3$ , дисперсии вариантов  $l - 1 = 7 - 1 = 6$ , остаточной дисперсии  $(n - 1) \cdot (l - 1) = 3 \cdot 6 = 18$ .

Средний квадрат вычисляют для варьирования по повторениям  $C_P : (n - 1) = 6,71 : 3 = 2,24$ , вариантам  $C_V : (l - 1) = 1456,75 : 6 = 242,76$  и остаточной дисперсии  $C_Z : [(n - 1) \cdot (l - 1)] = 74,5 : 18 = 4,14$

$F$ -критерий:

для повторений  $F_{\text{факт}} = S_P^2 : S_Z^2 = 2,24 : 4,14 = 0,54$

для вариантов  $F_{\text{факт}} = S_V^2 : S_Z^2 = 242,76 : 4,14 = 58,64$ .

По таблице приложения 5 или в Microsoft Excel с помощью функции «FРАСПОБР» находим критическое (теоретическое) значение  $F$ -критерия для выбранного уровня значимости, исходя из 6 степеней свободы для дисперсии вариантов (числитель) [или 3 степеней свободы для дисперсии повторений (числитель)] и 18 степеней свободы для остаточной дисперсии (знаменатель).

Полученные результаты заносим в таблицу дисперсионного анализа (табл. 82).

Таблица 82 – Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия (источник варьирования)	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	$F$ -критерий			
				$F_{\text{факт}}$	$F_{05}$	$F_{01}$	$F_{001}$
Общая $C_Y$	1537,75	27					
Повторений $C_P$	6,71	3	2,24	0,54	3,16	5,09	8,49
Вариантов $C_V$	1456,54	6	242,76	58,64	2,66	4,01	6,35
Остаточная $C_Z$ (случайные отклонения, ошибки)	74,50	18	4,14				

Нулевая гипотеза ( $H_0$ -гипотеза) отвергается при  $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{теор.}}$ . В данном примере существенных различий между повторениями нет даже на самом низком уровне значимости:  $0,54 < \{3,16; 5,09; 8,49\}$ . Напротив, различия между вариантами существенны даже на самом высоком уровне значимости  $58,64 > \{2,66; 4,01; 6,35\}$ . Следовательно, как минимум 2 варианта (одна пара сравнения) существенно отличаются друг от друга. Другими словами, т. е. обработка растений риса сульфатом меди существенно влияет на урожайность зерна.

Вычислим по методу Плохинского силу влияния фактора, т. е. долю в общей дисперсии урожайности, обусловленную влиянием:

вариантов, т. е. изучаемого фактора (сульфата меди) –

$$\eta_V^2 = \frac{C_V}{C_Y} = \frac{1456,54}{1537,75} = 0,947;$$

$$\text{повторений} - \eta_P^2 = \frac{C_P}{C_Y} = \frac{6,71}{1537,75} = 0,004 ;$$

$$\text{случайных факторов} - \eta_Z^2 = \frac{C_Z}{C_Y} = \frac{74,5}{1537,75} = 0,048 .$$

Как видим в приведенном примере, в формирование урожайности наиболее весомый вклад вносит сульфат меди, т. к. 95 % изменчивости признака в опыте обусловлено влиянием вариантов. Влияние повторений составляет всего лишь 0,4 %, что может служить показателем однородности опытного участка по плодородию. Вклад неучтенных факторов составляет 4,8 %.

Переходим к оценке частных различий по критерию *HCP*. По результатам дисперсионного анализа вычислим:

$$\text{обобщенную ошибку средней} \quad s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sigma_z^2}{n}} = \sqrt{\frac{4,14}{4}} = 1,02 \text{ ц/га}$$

$$\text{и ошибку разности средних} \quad s_d = \sqrt{\frac{2\sigma_z^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,14}{4}} = 1,44 \text{ ц/га}$$

Рассчитываем *HCP* для выбранного нами уровня значимости в абсолютных и относительных показателях:

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot s_d = 2,10 \cdot 1,44 = 3,02 \text{ ц/га}$$

$$HCP_{05\%} = \frac{t_{05} \cdot s_d}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{3,02}{57,19} \cdot 100 = 5,28\%$$

Значения *t*-критерия для выбранного уровня значимости ( $t_{05}$ ,  $t_{01}$  или  $t_{001}$ ) находят по таблице значений критерия Стьюдента (приложение 1) или в программе Microsoft Excel функция «СТЮДРАСПОБР» (СТЮДЕНТ.ОБР.2Х) для числа степеней свободы остаточной дисперсии 18.

Проведем парные сравнения вариантов (табл. 83).

Таблица 83 – Урожайность риса, ц/га

Вариант	Урожайность	Разность со стандартом		Группа
		ц/га	%	
1 (стандарт)	52,60	–	–	II
2	53,70	1,10	2,09	II
3	50,75	-1,85	-3,52	II
4	66,03	13,43	25,53	I
5	49,40	-3,20	-6,08	III
6	58,45	5,85	11,12	I
7	69,40	16,80	31,94	I
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	–	3,02	5,28	–

**Вывод.** Подкормка риса сульфатом меди влияет на урожайность риса. По реакции на подкормку сорта 2 и 3 не отличаются от стандарта, поэтому отнесем их к одной группе II; сорта 4, 6 и 7 под влиянием подкормки формируют значительно более высокую урожайность – отнесем их к группе I; сорт 5 – более низкую, отнесем его к группе III.

Чтобы выполнить дисперсионный анализ статистического комплекса, описанного в примере, в программе Microsoft Excel записывают каждое наблюдение в отдельную ячейку, располагая наблюдения, относящиеся к одной группе (повторности или варианты) в одной строке или столбце. Для примера варианты располагаем по строкам, повторения – по столбцам. В главном меню выбираем «Данные», вкладку «Анализ данных». В появившемся окне «Инструменты анализа» выбираем «Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений». В окне «Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений» введите входной интервал, уровень значимости (альфа) и выходной интервал (рис. 99). Запускаем приложение (ОК).

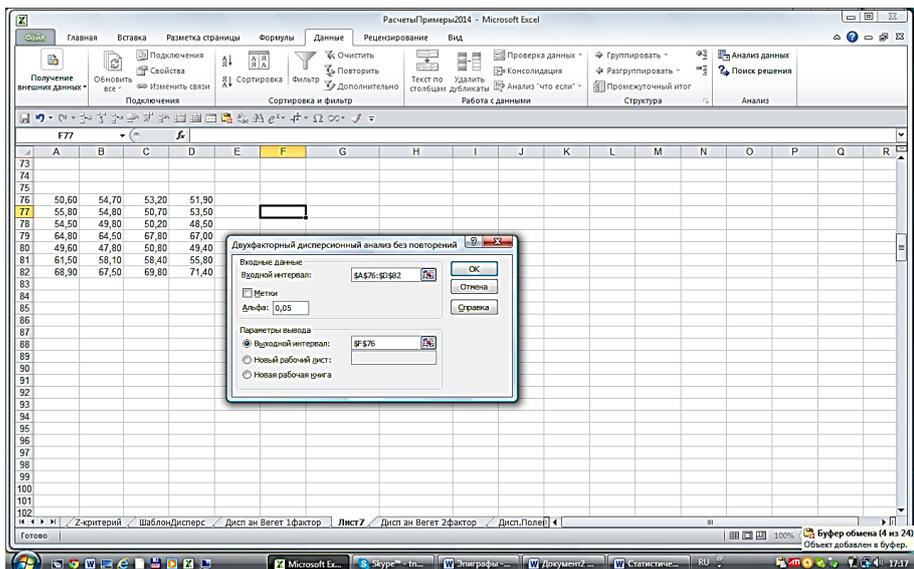


Рис. 99. Вид экрана монитора

Результаты дисперсионного анализа выводятся на экран следующим образом (рис. 100).

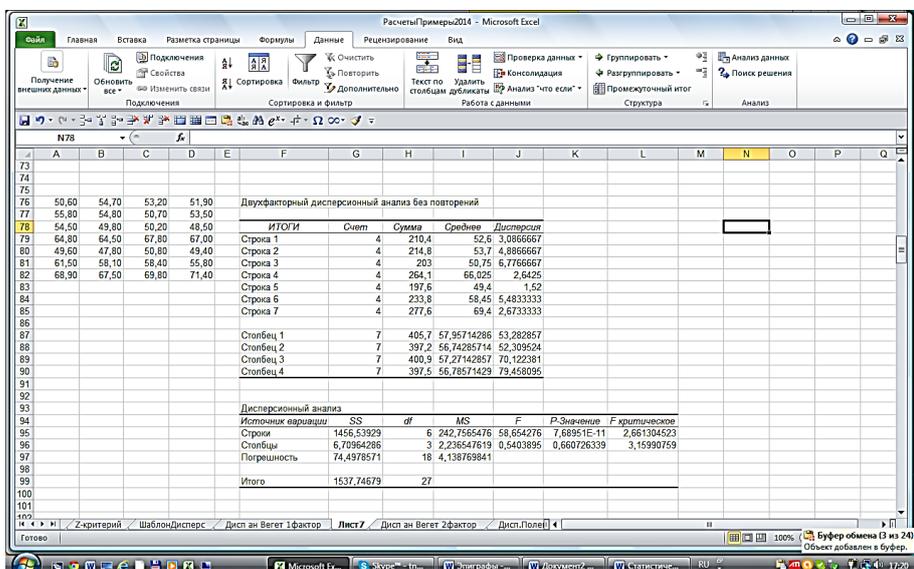


Рис. 100. Вид экрана монитора

Microsoft Excel по каждому варианту (Строка 1, Строка 2 и т.д.) и повторению (Столбец 1, Столбец 2 и т.д.) выводит на экран: объем выборки (Счет), сумму значений, среднее значение результативного признака, дисперсию. Эти данные представлены в таблице «ИТОГИ». В следующей таблице «Дисперсионный анализ» показаны: источники вариации, сумма квадратов (SS) по каждому типу варьирования, число степеней свободы (df),

средний квадрат ( $MS$ ), фактическое и критическое значения  $F$ -критерия. Для вариации по строкам (вариантам) фактическое значение  $F$ -критерия превосходит критическое, следовательно,  $H_0$ -гипотеза отвергается, что указывает на существенные различия между группами (вариантами) статистического (дисперсионного) комплекса. Для вариации по столбцам (повторениям) фактическое значение  $F$ -критерия меньше критического, следовательно,  $H_0$ -гипотеза не отвергается, что указывает на отсутствие существенных различий между повторениями. Для вариации по строкам (вариантам) фактическое значение  $F$ -критерия превосходит критическое, следовательно,  $H_0$ -гипотеза отвергается, что указывает на существенные различия между группами (вариантами) статистического (дисперсионного) комплекса.

Приложением Microsoft Excel не предусматривается анализ частных различий. Оценку частных различий можно провести, используя инструменты «t-тест», «z-тест» или соответствующие функции. Вычисление  $HSP$  следует провести самостоятельно на основании данных дисперсионного анализа, вводя в электронную таблицу операции последовательных расчетов в соответствии с формулами для их вычислений.

#### **5.8.4.1.2. Эксперимент, поставленный методом латинского квадрата или латинского прямоугольника**

*При решении любой задачи, относящейся к области статистических оценок, можно применять бесчисленное количество методов, каждый из которых имеет тенденцию дать правильные результаты по мере увеличения объема данных до бесконечности.*

**Р.А. Фишер**

*Ценность дисперсионного метода заключается в том, что он позволяет выявить и суммарное действие факторов, и действие каждого регулируемого в опыте фактора в отдельности, и действие различных сочетаний факторов друг с другом на результативный признак.*

**Г.Ф. Лакин**

При выполнении опыта с расположением вариантов методом латинского квадрата рендомизация дополнительно ограничивается группировкой вариантов не только по рядам, но и столбцам, т. е. полные наборы вариантов образуются не по одному направлению, а по двум, независимым друг от друга. Такое расположение вариантов позволяет устранить варибельность, связанную с эффектом столбцов и рядов, снизить экспериментальную ошибку. Каждый вариант встречается одинаковое число раз (обычно однажды) в каждом ряду и столбце. Эта схема будет обеспечивать бóльшую точность сравнения вариантов, чем схема рендомизированных блоков, лишь в случае значительной вариации по столбцам.

В схеме латинского квадрата экспериментальные единицы, кроме вариантов, сгруппированы еще по двум другим категориям. Эти две категории обычно обозначают как ряды и столбцы, согласно оформлению дан-

ных в таблице с двумя входами. Каждый вариант встречается одинаковое число раз (обычно однажды) внутри каждой категории, так что различия между категориями не могут быть обусловлены действием вариантов. Повторность должна, по меньшей мере, равняться числу вариантов. Схема латинского квадрата становится непрактичной для опытов с числом вариантов, превышающим восемь. Применять ее целесообразно только в случае значительной вариации по обеим категориям (рядам и столбцам). Схема латинского квадрата позволит вскрыть различия по вариантам, которые могут быть скрыты при закладке опыта по схеме рендомизированных блоков.

Дисперсионный анализ экспериментальных данных, полученных в опыте, заложенном методом латинского квадрата или латинского прямоугольника, ведут в следующей последовательности.

**Латинский квадрат.** Данные, полученные в опыте, заложенном методом латинского квадрата можно классифицировать (группировать) по трем группам: рядам, столбцам и вариантам. Их группируют и записывают в таблицу 84. Варианты обозначают латинскими буквами и для удобства записывают в ячейки таблицы. Дисперсионный комплекс состоит из 6-ти рядов ( $r=6$ ), 6-ти столбцов ( $c=6$ ) и 6-ти вариантов ( $l=6$ ) –  $n=r=c=l$ . Вычисляют суммы данных по рядам (строкам), столбцам, вариантам и сумму всех данных в опыте ( $\Sigma P$ ,  $\Sigma C$ ,  $\Sigma V$ ,  $\Sigma X$ ). Проверяют правильность вычислений  $\Sigma P = \Sigma C = \Sigma V = \Sigma X$ .

Таблица 84 – Исходные данные, полученные в опыте, заложенном по схеме латинского квадрата 6×6 (каждый вариант встречается один раз в ряду и в столбце), для установления влияния регуляторов роста на массу 1000 зерен яровой пшеницы; датами является масса 1000 зерен, г

Ряд	Столбец						Сумма по ряду, $\Sigma P$
	I	II	III	IV	V	VI	
I	A 28,2	D 29,1	F 32,1	B 33,1	E 31,1	C 32,4	186,0
II	E 31,0	B 29,5	C 29,4	A 24,8	D 33,0	F 30,6	178,2
III	D 30,6	E 28,8	A 21,7	C 30,8	F 31,9	B 30,1	173,9
IV	C 33,1	F 30,4	B 28,8	D 31,4	A 26,7	E 31,9	182,3
V	B 29,9	A 25,8	E 30,3	F 30,3	C 33,5	B 32,3	182,1
VI	F 30,8	C 29,7	D 27,4	E 29,1	B 30,7	A 21,4	169,1
Сумма по столбцу, $\Sigma C$	183,6	173,3	169,7	179,5	186,9	178,7	1071,7= $\Sigma X$
Вариант							
	A(1)	B(2)	C(3)	D(4)	E(5)	F(6)	
Сумма по вариантам $\Sigma V$	148,6	182,1	188,9	183,8	182,2	186,1	
Среднее по вариантам, $\bar{x}$	24,8	30,4	31,5	30,6	30,4	31,0	

Общая изменчивость ( $C_Y$ ) экспериментальных данных складывается из изменчивости, обусловленной различиями по рядам ( $C_P$ ), столбцам ( $C_C$ ), вариантам ( $C_V$ ) и случайными ошибками ( $C_Z$ ):

$$C_Y = C_P + C_C + C_V + C_Z.$$

Вычисляем суммы квадратов и средние квадраты для каждого источника варьирования в следующем порядке:

$$N = r \cdot c = 6 \cdot 6 = 36 \text{ (общее число наблюдений)}$$

$$\text{Корректирующий фактор: } C = (\sum X)^2 : N = 1071,7^2 : 36 = 31904,91.$$

Сумма квадратов для общей дисперсии:  $C_Y = \sum X^2 - C = (28,2^2 + 29,1^2 + \dots + 21,4^2) - 31904,91 = 281,88$ .

Сумма квадратов для столбцов:  $C_C = \sum C^2 : n - C = (183,6^2 + 173,3^3 + 169,7^2 + 179,5^2 + 186,9^2 + 178,7^2) : 6 - 31904,91 = 33,67$ .

Сумма квадратов для рядов:

$$C_P = \sum P^2 : n - C = (186,0^2 + 178,3^2 + 173,9^2 + 182,3^2 + 182,1^2 + 169,1^2) : 6 - 31904,91 = 31,19.$$

Сумма квадратов для вариантов:

$$C_V = \sum V^2 : n - C = (148,6^2 + 182,1^2 + 188,9^2 + 183,8^2 + 182,2^2 + 186,1^2) : 6 - 31904,91 = 185,77.$$

Сумма квадратов для остаточной дисперсии (ошибки):

$$C_Z = C_Y - C_C - C_P - C_V = 281,88 - 33,67 - 31,19 - 185,77 = 30,25.$$

Число степеней свободы, как обычно, на единицу меньше числа наблюдений для каждого источника вариации:

$$df_{\text{общее}} = r \cdot c - 1 = (6 \cdot 6) - 1 = 35;$$

$$df_{\text{рядов}} = r - 1 = 6 - 1 = 5;$$

$$df_{\text{столбцов}} = c - 1 = 6 - 1 = 5;$$

$$df_{\text{вариантов}} = l - 1 = 6 - 1 = 5;$$

$$df_{\text{ошибки}} = (r - 1)(c - 1) - (l - 1) = 5(5) - 5 = 20.$$

Средний квадрат для каждого вида дисперсии вычисляем путем деления суммы квадратов на число степеней свободы,  $F$ -критерий – как отношение дисперсии (среднего квадрата) столбцов, рядов и вариантов к остаточной дисперсии. Все три  $F$ -критерия базируются на 5 (для числителя) и 20 (для знаменателя) степенях свободы. Критические значения  $F$ -критерия находят по таблицам. Результаты дисперсионного анализа заносят в таблицу (табл. 85).

Таблица 85 – Итоги дисперсионного анализа данных опыта

Дисперсия (источник варьирования)	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	$F$ -критерий			
				$F_{\text{факт}}$	$F_{05}$	$F_{01}$	$F_{001}$
Общая $C_Y$	281,88	35,00					
Столбцов $C_C$	33,67	5,00	6,73	4,46	2,71	4,10	6,46
Рядов $C_P$	32,19	5,00	6,44	4,26	2,71	4,10	6,46
Вариантов $C_V$	185,77	5,00	37,15	24,60	2,71	4,10	6,46
Остаточная $C_Z$ (случайные отклонения, ошибки)	30,25	20,00	1,51				

Все три источника варьирования оказывают существенное влияние на результативный признак:  $H_0$ -гипотеза отвергается, т. к.  $F_{\text{факт.}} > F_{05}$  и  $F_{01}$ . Это свидетельствует о наличии существенных различий как между рядами и столбцами, так и между вариантами.

По итогам дисперсионного анализа определяем:

$$\text{ошибку средней (опыта): } s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sigma_z^2}{n}} = \sqrt{\frac{1,51}{6}} = 0,5 \text{ г.}$$

$$\text{ошибку разности средних } s_d = \sqrt{\frac{2\sigma_z^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,51}{6}} = 0,71 \text{ г}$$

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot s_d = 2,09 \cdot 0,71 = 1,48 \text{ г}$$

$$HCP_{05} \% = \frac{t_{05} \cdot s_d}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{2,09 \cdot 0,71}{29,8} \cdot 100 = 4,97\%.$$

Проведем парные сравнения вариантов (табл. 86).

Таблица 86 – Масса 1000 зерен яровой пшеницы, г

Вариант	Масса 1000 зерен	Разность со стандартом		Группа
		г	%	
A(1) (стандарт)	24,8	–	–	II
B(2)	30,4	5,6	22,6	III
C(3)	31,5	6,7	27,0	III
D(4)	30,6	5,8	23,4	III
E(5)	30,4	5,6	22,6	III
F(6)	31,0	6,2	25,0	III
$HCP_{05}$	–	1,48	4,97	–

**Вывод:** Все испытанные регуляторы роста способствуют повышению массы 1000 зерен. При этом достоверных различий по воздействию на массу 1000 зерен между регуляторами роста не выявлено.

**Латинский прямоугольник.** При оценке результатов опыта, проведенного по схеме латинского прямоугольника, дисперсионный анализ проводится в такой же последовательности, как и для опыта по схеме латинского квадрата. Рассмотрим последовательность расчетов на примере опыта по сравнительной оценке сортов риса, проведенного методом латинского прямоугольника  $4 \times 2 \times 2$ . Экспериментальные данные по урожайности зерна риса записывают в таблицу 87. Дисперсионный комплекс состоит из 4-х рядов ( $r=4$ ), 4-х столбцов ( $c=4$ ) и 6-ти вариантов ( $l=6$ ). Вычисляют суммы данных по рядам (строкам), столбцам, вариантам и сумму всех данных в опыте ( $\Sigma P$ ,  $\Sigma C$ ,  $\Sigma V$ ,  $\Sigma X$ ), а также среднее значение признака, в нашем примере урожайности, в опыте ( $\bar{x}$ ). Проверяют правильность вычислений  $\Sigma P = \Sigma C = \Sigma V = \Sigma X$ .

Таблица 87 – Исходные данные, полученные в опыте, заложенном по схеме латинского прямоугольника  $4 \times 4 \times 2$  (каждый вариант встречается один раз в ряду и в столбце), для сравнительной оценки урожайности сортов риса; датами является урожайность, ц/га

Ряд	Столбец				Сумма по		Среднее по варианту, $\bar{x}$
	1	2	3	4	ряду, $\sum P$	варианту, $\sum V$	
1	Е	Г	В	Д	535,9	229,4 А	57,4 А
	64,2	79,3	50,5	65,2		208,6 В	52,2 В
2	А	С	Ф	Н	516,3	311,0 С	77,8 С
	58,6	80,5	62,5	75,1		275,5 Д	68,9 Д
3	Г	Е	Д	В	487,6	223,4 Е	55,9 Е
	79,5	57,6	70,0	50,5		228,9 Ф	57,2 Ф
4	С	А	Н	Ф	507,9	293,5 Г	73,4 Г
	81,4	57,7	69,1	50,5		277,4 Н	69,4 Н
Сумма по столбцу, $\sum C$	539,8	516,0	501,9	490,0	2047,1 = $\sum C = \sum P = \sum V = \sum X$		64,0 = $\bar{x}$

Далее, обычным образом, вычисляем суммы квадратов, число степеней свободы, средний квадрат и  $F$ -критерий.

Вычисляем суммы квадратов и средние квадраты для каждого источника варьирования в следующем порядке:

$$N=4 \cdot 4 \cdot 2=32 \text{ (общее число наблюдений)}$$

Корректирующий фактор:

$$C=(\sum X)^2:N = 2047,1^2 : 32 = 131033,6.$$

Сумма квадратов для общей дисперсии:

$$C_Y = \sum X^2 - C = (64,2^2 + 79,3^2 + \dots + 61,5^2) - 131033,6 = 3187,53.$$

Сумма квадратов для столбцов:

$$C_C = \sum C^2 : l - C = (539,8^2 + 516,0^2 + 501,9^2 + 490,0^2) : 8 - 131033,61 = 171,86.$$

Сумма квадратов для рядов:

$$C_P = \sum P^2 : l - C = (535,9^2 + 516,3^2 + 487,6^2 + 507,9^2) : 8 - 131033,6 = 150,23.$$

Сумма квадратов для вариантов:

$$C_V = \sum V^2 : n - C = (229,4^2 + 208,6^2 + 311,0^2 + 275,5^2 + 223,4^2 + 228,9^2 + 293,5^2 + 277,4^2) : 4 - 131033,6 = 2505,24.$$

Сумма квадратов для остаточной дисперсии (ошибки):

$$C_Z = C_Y - C_C - C_P - C_V = 3187,53 - 171,86 - 150,23 - 2505,24 = 360,2.$$

Число степеней свободы, как обычно, на единицу меньше числа наблюдений для каждого источника вариации:

$$df_{\text{общее}} = N - 1 = 32 - 1 = 31;$$

$$df_{\text{рядов}} = r - 1 = 4 - 1 = 3;$$

$$df_{\text{столбцов}} = c - 1 = 4 - 1 = 3;$$

$$df_{\text{вариантов}} = l - 1 = 8 - 1 = 7;$$

$$df_{\text{ошибки}} = N - (r - 1) - (c - 1) - (l - 1) = 31 - 3 - 3 - 7 = 18.$$

Средний квадрат для каждого вида дисперсии вычисляем путем деления суммы квадратов на число степеней свободы,  $F$ -критерий – как отношение дисперсии (среднего квадрата) столбцов, рядов и вариантов к остаточной дисперсии. Критические значения  $F$ -критерия находят по таблицам. Результаты дисперсионного анализа заносят в таблицу (табл. 88).

Таблица 88 – Итоги дисперсионного анализа данных опыта

Дисперсия (источник варьирования)	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	$F$ -критерий			
				$F_{\text{факт}}$	$F_{05}$	$F_{01}$	$F_{001}$
Общая $S_y$	3187,53	31,00					
Столбцов $S_C$	171,86	3,00	57,29	2,86	3,16	5,09	8,49
Рядов $S_P$	150,23	3,00	50,08	2,50	3,16	5,09	8,49
Вариантов $S_V$	2505,24	7,00	357,89	17,89	2,58	3,84	6,02
Остаточная $S_Z$ (случайные отклонения, ошибки)	360,20	18,00	20,01				

Существенное влияние на результативный признак оказывает лишь варьирование по вариантам:  $H_0$ -гипотеза отвергается, т. к.  $F_{\text{факт.}} > \{F_{05}, F_{01} \text{ и } F_{001}\}$   $17,98 > \{2,58, 3,84 \text{ и } 6,02\}$ . Изменчивость по рядам и столбцам не существенна.

По итогам дисперсионного анализа определяем:

$$\text{ошибку средней (опыта): } s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sigma_z^2}{n}} = \sqrt{\frac{20,1}{4}} = 2,24 \text{ ц/га}$$

$$\text{ошибку разности средних } s_d = \sqrt{\frac{2\sigma_z^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20,1}{4}} = 3,16 \text{ ц/га}$$

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot s_d = 2,10 \cdot 3,16 = 6,64 \text{ ц/га}$$

$$HCP_{05\%} = \frac{t_{05} \cdot s_d}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{2,10 \cdot 3,16}{64,0} \cdot 100 = 10,38\% = .$$

Проведем парные сравнения вариантов (табл. 89).

Таблица 89 – Урожайность сортов риса в конкурсном сортоиспытании, ц/га

Вариант	Урожайность	Разность со стандартом,		Группа
		г	%	
A(1) (стандарт)	57,4	–	–	II
B(2)	52,2	-5,2	-9,1	II
C(3)	77,8	20,4	35,5	I
D(4)	68,9	11,5	20,0	I
E(5)	55,9	-1,5	-2,6	III
F(6)	57,2	-0,2	-0,3	II
G(7)	73,4	16,0	27,9	I
H(8)	69,4	12,0	20,9	I
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	–	6,64	10,38	–

*Вывод:* Сорты риса C, D, G и H продуктивнее стандарта, т. е. их урожайность достоверно выше на 0,001 уровне значимости. Сорты B, E и F по урожайности зерна достоверно не отличаются от контроля.

### 5.8.4.1.3. Эксперимент с большим числом вариантов

*Жизни человека едва хватает, чтобы совершить все ошибки, а повторять их уже не позволительная роскошь.*

#### Житейская мудрость

*Статистическая обработка цифрового материала, полученного путем опытов, учетов и наблюдений при биологических исследованиях, необходима для проверки степени достоверности результатов и правильного их обобщения.*

**К.Н. Зайцев**

В ситуациях, когда испытывается большое количество вариантов или при значительной пестроте почвенного плодородия опытного участка, сравнение вариантов, пространственно удаленных друг от друга, дает искаженную оценку. Чтобы избежать ошибки, такие опыты целесообразно закладывать с частым расположением контроля или блоками. Это дает возможность повысить точность сравнения путем приведения изучаемого признака (например, урожайность и элементы ее структуры и другие, тесно связанные с плодородием почвы) по вариантам к среднему плодородию поля, в первом случае по показателям стандарта (контроля), во втором – среднем значении в блоке.

**Дисперсионный анализ результатов полевого опыта, поставленного стандартным методом.** В опытах, проведенных стандартными методами, нельзя непосредственно сравнивать опытные делянки между собой, так как нередко они сильно удалены пространственно, особенно при длинных схемах, и, следовательно, могут быть расположены на различных по плодородию участках. Сравнение вариантов между собой ведут через контроль (стандарт), для чего необходимо все значения привести к общему среднему контролю.

Особенностью статистической оценки результатов опыта, заложенного стандартным методом, является сравнение экспериментальных данных с ближайшим контролем. Существует несколько методов приведения значения варианта к среднему стандарту:

1. *Отношений (процентный)*. Основан на предположении, что изменение плодородия почвы вызывает одинаково пропорциональное изменение признака (в частности урожайности) в варианте и соседнем стандарте (контроле).

2. *Разностный*. В основу положено предположение, что изменение плодородия почвы вызывает изменение признака (в частности урожайности) в варианте и соседнем стандарте (контроле) на одинаковую величину.

3. *Регрессии*. Приведение значений признака в каждом варианте к среднему стандарту проводят на основании общего для опыта коэффициента регрессии, показывающего на какую величину в среднем изменяется значение признака в варианте при его изменении у стандарта на определенную величину.

4. *Частных регрессий*. Вычисляют коэффициенты регрессии для каждого варианта и используют их для приведения средних.

По эффективности эти методы можно расположить в следующий ряд: отношений, разностный, по общему коэффициенту регрессии, по частным коэффициентам регрессии. Эффективность метода отношений и разностного практически одинаковая, с несущественным преимуществом последнего. При этом вычисления с использованием метода отношений более трудоемки. В связи с этим начнем рассматривать технику расчетов с разностного метода.

*Пример*. Конкурсное сортоиспытание 20 сортов риса проводилось в опыте, заложенном в 4 ярусах, стандарт располагался через каждые 2 опытные делянки. Результаты учета урожайности приведены в таблице 90.

*Разностный метод* приведения значения признака к среднему стандарту основан на предположении о параллельном варьировании величины признака у стандарта и в контроле. Существует несколько способов вычисления показателя контроля для каждой отдельной делянки опытного варианта:

1. Берётся значение ближайшего контроля. При этом подразумевается, что плодородие изменяется скачкообразно, что практически никогда не наблюдается в природе.

2. В качестве показателя контроля принимается среднее арифметическое двух ближайших (окаймляющих) к делянке.

Сравнение опытных вариантов только с парным, ближайшим контролем обычно дает большую ошибку, чем сравнение их со средним арифметическим двух ближайших контрольных делянок, которые правильнее отражают исходное плодородие опытных делянок и более устойчивы для сравнения. Это связано тем, что в основе вычисления интерполированного и среднего арифметического показателя контроля лежит не один, а два поделяночных урожая.

Вычисления ведут в следующем порядке.

1. Вычисляем разность между значением признака на опытных делянках и средним его значением у двух окаймляющих стандартов и записываем их соответственно в графы 7–10. Для первой повторности сорта 1 разность будет  $62,1 - (62,3 + 57,6) : 2 = 2,2$ , для второй –  $59,2 - (53,4 + 54,9) : 2 = 5,1$ <sup>35</sup>, третьей –  $64,4 - (64,8 + 56,5) : 2 = 4,8$ , четвертой –  $61,8 - (57,7 + 55,6) : 2 = 5,1$  и т. д. для всех сортов.

---

<sup>35</sup> Если опыт заложен в один ярус, при вычислении среднего урожая контроля для сортов, находящихся на стыках повторений, учитывают фактическое расположение стандартных делянок в опыте.

Таблица 90 – Корректировка урожайности риса путем приведения к среднему стандарту разностным методом

Вариант	Фактическая урожайность, ц/га					Отклонение от средней урожайности окаймляющих стандартов, т/га						Урожайность, приведенная к среднему стандарту, т/га
	по повторениям X				средние	по повторениям d				сумма V	средние	
	I	II	III	IV		I	II	III	IV			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Стандарт 1	62,3	53,4	64,8	57,7	59,6							
1	62,1	59,2	65,4	61,8	62,1	2,2	5,1	4,8	5,1	17,2	4,3	62,1
2	65,9	60,5	63,1	60,0	62,4	6,0	6,4	2,5	3,3	18,2	4,6	62,4
Стандарт 3	57,6	54,9	56,5	55,6	56,2							
3	60,1	63,8	58,6	59,5	60,5	4,9	4,4	3,7	3,1	16,1	4,0	61,8
4	64,3	65,8	70,7	62,1	65,7	9,1	6,4	15,8	5,7	37,0	9,3	67,1
Стандарт 5	52,8	63,9	53,4	57,2	56,8							
5	61,7	63,4	70,4	64,6	65,0	5,9	1,3	13,6	9,6	30,4	7,6	65,4
6	63,7	63,0	66,8	65,9	64,9	7,9	0,9	10,0	10,9	29,7	7,4	65,2
Стандарт 7	58,9	60,4	60,2	52,8	58,1							
7	56,0	54,5	58,1	50,2	54,7	-1,0	-6,2	-1,5	-4,5	-13,2	-3,3	54,5
8	60,3	62,6	62,4	56,8	60,5	3,3	2,0	2,8	2,1	10,2	2,6	60,4
Стандарт 9	55,1	60,9	59,0	56,6	57,9							
9	57,4	63,6	64,7	58,4	61,0	3,1	4,3	4,0	4,2	15,6	3,9	61,7
10	60,9	63,3	62,4	58,9	61,4	6,6	4,0	1,7	4,7	17,0	4,3	62,1
Стандарт 11	53,6	57,7	62,5	51,8	56,4							
11	63,7	64,3	62,1	58,9	62,3	5,6	6,6	2,6	8,5	23,3	5,8	63,6
12	68,1	63,4	66,8	60,1	64,6	10,0	5,7	7,3	9,7	32,7	8,2	66,0
Стандарт 13	62,6	57,6	56,5	49,1	56,5							
13	58,7	50,5	51,1	46,3	51,7	-2,3	-5,2	-8,2	-5,0	-20,7	-5,2	52,6
14	67,4	66,0	65,5	58,2	64,3	6,4	10,4	6,2	7,0	30,0	7,5	65,3
Стандарт 15	59,4	53,7	62,1	53,4	57,2							
15	58,6	64,2	65,6	61,4	62,5	0,4	6,3	7,6	5,7	20,0	5,0	62,8
16	58,3	67,3	68,0	60,8	63,6	0,0	9,3	10,1	5,1	24,5	6,1	63,9
Стандарт 17	57,1	62,2	53,8	58,0	57,8							
17	57,4	60,9	52,9	54,5	56,4	1,2	-3,6	-4,1	-3,1	-9,6	-2,4	55,4
18	61,1	67,2	61,6	63,8	63,4	5,0	2,7	4,6	6,3	18,6	4,7	62,5
Стандарт 19	55,2	66,8	60,2	57,1	59,8							
19	50,0	66,3	63,9	59,6	60,0	-5,8	3,1	2,2	1,9	1,4	0,4	58,2
20	54,5	62,2	62,9	60,3	60,0	-1,3	-1,1	1,2	2,6	1,4	0,4	58,2
Стандарт Р	56,4	59,7	63,1	58,4	59,4							
Суммы Р						67,2	62,8	86,9	82,9	299,8		

2. Вычисляем среднее значение стандарта в опыте:

$$\bar{x}_{ст} = (62,3 + 53,4 + 64,8 + \dots + 58,4 + 59,5) = 57,8$$

3. Вычисляем суммы отклонений по вариантам (в данном примере – сортам) V, повторениям P, общую сумму всех разностей  $\sum d$  и среднюю разность для каждого варианта d. Правильность вычислений проверяют по соотношению  $\sum P = \sum V = \sum d$ , в нашем примере это 299,8.

4. Приводим фактические значения признака к среднему стандарту. Для этого к среднему значению признака у стандарта (у нас 57,8) прибавляют среднюю разность  $d$  для варианта (обязательно учитывая знак разности) и записывают в графу 13: для варианта 1 –  $57,8+4,3=62,1$ ; 7 –  $57,8+(-3,3)=54,5$  и т. д.

Эти приведенные к среднему стандарту значения признака теперь можно сравнивать со стандартом.

5. Далее проводится дисперсионный анализ результатов опыта. Для расчетов используют отклонения от среднего стандарта.

Произведем следующие вычисления:

$$\text{Общее число наблюдений-разностей } N = l \cdot n = 20 \cdot 4 = 80.$$

$$\text{Корректирующий фактор } C = (\sum d)^2 : N = (299,8)^2 : 80 = 1123,5.$$

$$\text{Общая сумма квадратов } C_Y = \sum d^2 - C = (2,2^2 + 5,1^2 + 4,8^2 + \dots + 2,6^2) - 1123,5 = 1690,38.$$

$$\text{Сумма квадратов для повторений } C_P = \sum P^2 : l - C = (67,2^2 + 62,8^2 + 86,9^2 + 82,9^2) : 20 - 1123,5 = 20,68.$$

$$\text{Сумма квадратов для вариантов } C_V = \sum V^2 : n - C = (17,2^2 + 18,2^2 + \dots + 1,4^2) : 4 - 1123,5 = 1190,29.$$

$$\text{Остаточную сумму квадратов } C_Z = C_Y - C_P - C_V = 1690,38 - 20,68 - 1190,29 = 479,41.$$

Степени свободы для общей дисперсии  $N - 1 = 80 - 1 = 79$ , дисперсии повторений  $n - 1 = 4 - 1 = 3$ , дисперсии вариантов  $l - 1 = 20 - 1 = 19$ , остаточной дисперсии  $(n - 1) \cdot (l - 1) = 3 \cdot 19 = 57$ .

Средний квадрат вычисляют для варьирования по вариантам<sup>36</sup>  $C_V : (l - 1) = 1190,29 : 19 = 62,65$  и остаточной дисперсии  $C_Z : [(n - 1) \cdot (l - 1)] = 479,41 : 57 = 8,41$

$$F\text{-критерий для вариантов: } F_{\text{факт}} = S_V^2 : S_Z^2 = 62,65 : 8,41 = 7,45$$

По таблице приложения или в Microsoft Excel с помощью функции «ГРАСПОБР» находим критическое (теоретическое) значение  $F$ -критерия для выбранного уровня значимости, исходя из 19 степеней свободы для дисперсии вариантов (числитель) и 57 степеней свободы для остаточной дисперсии (знаменатель). Полученные результаты заносим в таблицу дисперсионного анализа (табл. 91).

Таблица 91 – Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия (источник варьирования)	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F-критерий			
				$F_{\text{факт}}$	$F_{05}$	$F_{01}$	$F_{001}$
Общая $C_Y$	1690,38	79					
Повторений $C_P$	20,68	3					
Вариантов $C_V$	1190,29	19	62,65	7,45	1,77	2,24	2,90
Остаточная $C_Z$ (случайные отклонения, ошибки)	479,41	57	8,41				

<sup>36</sup> Средний квадрат для варьирования по повторениям при оценке результатов опыта поставленного стандартным методом не вычисляют.

Нулевая гипотеза ( $H_0$ -гипотеза) отвергается при  $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{теор.}}$ . В данном примере различия между вариантами существенны даже на самом высоком уровне значимости  $7,45 > \{1,77; 2,24; 2,90\}$ . Следовательно, как минимум 2 варианта (одна пара сравнения) существенно отличаются друг от друга.

Переходим к оценке частных различий по критерию  $HCP$ . Так как для статистического анализа использовались не фактические урожаи, а отклонения их от стандарта, т. е. разности  $d$ , то по формуле ошибки средней сразу находят ошибку средней разности  $s_d$ , которая и используется для расчета существенной разности:

$$\text{ошибка разности средних} \quad s_d = \sqrt{\frac{s_z^2}{n}} = \sqrt{\frac{8,41}{4}} = 1,45 \text{ ц/га.}$$

Рассчитываем  $HCP$  для выбранного нами уровня (5 %) значимости в абсолютных и относительных показателях:

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot s_d = 2,00 \cdot 1,44 = 2,90 \text{ ц/га;}$$

$$HCP_{05} \% = \frac{t_{05} \cdot s_d}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{2,90}{57,8} \cdot 100 = 5,02\% .$$

Значения  $t$ -критерия для выбранного уровня значимости ( $t_{05}$ ,  $t_{01}$  или  $t_{001}$ ) находят по таблице значений критерия Стьюдента или в программе Microsoft Excel функция «СТЮДРАСПОБР» для числа степеней свободы остаточной дисперсии ( $df=57$ ).

Проведем сравнения вариантов (табл. 92).

Таблица 92 – Урожайность риса, ц/га

Вариант	Урожайность	Разность со стандартом,		Группа
		ц/га	%	
Стандарт	57,8	-		II(st)
1	62,1	4,3	7,4	I
2	62,4	4,6	8,0	I
3	61,8	4,0	6,9	I
4	67,1	9,3	16,1	I
5	65,4	7,6	13,1	I
6	65,2	7,4	12,8	I
7	54,5	-3,3	-5,7	III
8	60,4	2,6	4,5	II
9	61,7	3,9	6,7	I
10	62,1	4,3	7,4	I
11	63,6	5,8	10,0	I
12	66,0	8,2	14,2	I
13	52,6	-5,2	-9,0	III
14	65,3	7,5	13,0	I
15	62,8	5,0	8,7	I
16	63,9	6,1	10,6	I
17	55,4	-2,4	-4,2	II
18	62,5	4,7	8,1	I
19	58,2	0,4	0,7	II
20	58,2	0,4	0,7	II
$HCP_{05}$	-	2,90	5,02	-

*Вывод.* Изучаемые сорта риса различаются по урожайности. Сорта под номерами 8, 17, 19 и 20 не отличаются от стандарта, поэтому отнесем их к одной группе II; сорта 1–6, 9–12, 14–16 и 18 по урожайности превосходят стандарт, отнесем их к группе I; сорта 7 и 13 – формируют урожайность существенно более низкую, чем стандарт, отнесем их к группе III.

*Метод регрессии.* Этот метод приведения значения признака к среднему стандарту основан на предположении, что, как правило, наблюдается более или менее значительная корреляция между значением признака на опытных делянках и соседнего с ними стандарта. Эта сопряженность оказывает определенное влияние на варьирование поделяночных значений и является фактором, контролируемым исследователем, что дает возможность разложить дисперсию поделяночных значений признака не на три: дисперсию по повторениям, дисперсию по сортам, остаточную дисперсию, а на четыре составные части, добавив к трем названным ранее дисперсию, обусловленную сопряжением между значениями признака на опытных делянках и стандартами. Остаточная дисперсия при этом будет характеризовать ошибку опыта после приведения к среднему плодородию. Сопряженность варьирования значений признака в опытных вариантах и у стандарта оценивается путем проведения *ковариационного анализа*, заключающегося в одновременном разложении дисперсии факторального и результативного признаков и их ковариаций (см. раздел «Ковариация и ковариационный анализ»).

Для корректировки значений признака на опытных делянках пользуются следующим уравнением:

$$\bar{x}'_i = \bar{x}_i + b(\bar{y}_i - \bar{y}_0),$$

где:  $\bar{x}'_i$  – приведенное среднее значение признака в варианте опыта;  
 $\bar{x}_i$  – фактическое среднее значение признака в варианте опыта;  
 $b$  – коэффициент регрессии;  
 $\bar{y}_i$  – значение признака у соседнего стандарта;  
 $\bar{y}_0$  – среднее значение признака у стандарта в опыте.

Рассмотрим технику вычисления ковариаций значений признака по вариантам и соседних с ними стандартов. Сформируем исходные данные. Для этого запишем в таблицу значения признака (в нашем примере урожайность) на делянках стандартов из примера, приведенного в таблице 93, вычислим среднее значение.

Составим вспомогательную таблицу. Запишем в нее полученные экспериментальные данные и к каждому варианту среднее значение признака у двух окаймляющих стандартов. В нашем примере стандарт расположен через 2 опытные делянки, поэтому у двух делянок будут одинаковые величины среднего стандарта (табл. 94).

Таблица 93 – Расчет среднего значения признака у двух ближайших стандартов

Стандарт/среднее	Повторение			
	I	II	III	IV
Стандарт	5,2	5,3	6,5	5,8
<i>Среднее</i>	5,5	5,4	6,1	5,7
Стандарт	5,8	5,5	5,7	5,6
<i>Среднее</i>	5,6	6,0	5,5	5,7
Стандарт	5,3	6,4	5,3	5,7
<i>Среднее</i>	5,6	6,2	5,7	5,5
Стандарт	5,9	6,0	6,0	5,3
<i>Среднее</i>	5,7	6,1	6,0	5,5
Стандарт	5,5	6,1	5,9	5,7
<i>Среднее</i>	5,5	6,0	6,1	5,5
Стандарт	5,4	5,8	6,3	5,2
<i>Среднее</i>	5,9	5,8	6,0	5,1
Стандарт	6,3	5,8	5,7	4,9
<i>Среднее</i>	6,1	5,6	6,0	5,1
Стандарт	5,9	5,4	6,2	5,3
<i>Среднее</i>	5,8	5,8	5,8	5,6
Стандарт	5,7	6,2	5,4	5,8
<i>Среднее</i>	5,6	6,5	5,7	5,8
Стандарт	5,5	6,7	6,0	5,7
<i>Среднее</i>	5,6	6,4	6,2	5,8
Стандарт	5,6	6,0	6,3	5,8

Таблица 94 – Исходные данные для расчета ковариации урожаев опытных делянок и соседних с ними стандартов

Вариант	Фактическое значение признака по повторениям, X					Значение признака у стандарта по повторениям, Y				
	I	II	III	IV	$V_x$	I	II	III	IV	$V_y$
1	6,2	5,9	6,5	6,2	24,8	5,5	5,4	6,1	5,7	22,7
2	6,6	6,1	6,3	6,0	25,0	5,5	5,4	6,1	5,7	22,7
3	6,0	6,4	5,9	6,0	24,3	5,6	6,0	5,5	5,7	22,8
4	6,4	6,6	7,1	6,2	26,3	5,6	6,0	5,5	5,7	22,8
5	6,2	6,3	7,0	6,5	26,0	5,6	6,2	5,7	5,5	23,0
6	6,4	6,3	6,7	6,6	26,0	5,6	6,2	5,7	5,5	23,0
7	5,6	5,5	5,8	5,0	21,9	5,7	6,1	6,0	5,5	23,3
8	6,0	6,3	6,2	5,7	24,2	5,7	6,1	6,0	5,5	23,3
9	5,7	6,4	6,5	5,8	24,4	5,5	6,0	6,1	5,5	23,1
10	6,1	6,3	6,2	5,9	24,5	5,5	6,0	6,1	5,5	23,1
11	6,4	6,4	6,2	5,9	24,9	5,9	5,8	6,0	5,1	22,8
12	6,8	6,3	6,7	6,0	25,8	5,9	5,8	6,0	5,1	22,8
13	5,9	5,1	5,1	4,6	20,7	6,1	5,6	6,0	5,1	22,8
14	6,7	6,6	6,6	5,8	25,7	6,1	5,6	6,0	5,1	22,8
15	5,9	6,4	6,6	6,1	25,0	5,8	5,8	5,8	5,6	23,0
16	5,8	6,7	6,8	6,1	25,4	5,8	5,8	5,8	5,6	23,0
17	5,7	6,1	5,3	5,5	22,6	5,6	6,5	5,7	5,8	23,6
18	6,1	6,7	6,2	6,4	25,4	5,6	6,5	5,7	5,8	23,6
19	5,0	6,6	6,4	6,0	24,0	5,6	6,4	6,2	5,8	24,0
20	5,5	6,2	6,3	6,0	24,0	5,6	6,4	6,2	5,8	24,0
Сумма	121,0	125,2	126,4	118,3	490,9	113,8	119,6	118,2	110,6	462,2

Техника вычислений следующая. Суммы квадратов и числа степеней вычисляют по обычным формулам.

Число вариантов  $l=20$ , повторений  $n=4$ ,  $N=l \cdot n=20 \times 4=80$ .

Для рядов  $X$  (урожай сортов) и  $Y$  (урожай стандартов) вычисляют суммы квадратов и суммы произведений  $XY$  (ковариация):

1. Для ряда  $X$ :

Корректирующий фактор  $C=(\sum X)^2 : N = (6,2+5,9+ 6,5+ 6,2+ \dots +5,5+ 6,2+6,3+6,0)^2:80= 490,9^2:80 = 3012,29$ .

$C_Y = \sum X^2 - C = (6,2^2+5,9^2+ 6,5^2+ 6,2^2+ \dots +5,5^2+ 6,2^2+6,3^2+6,0^2) - 3012,29 = 17,68$ ;

$C_P = \sum P_x^2 : l - C = (121,0^2 +125,2^2 +126,4^2 +118,3^2):20 - 3012,29 = 2,10$ ;

$C_V = \sum V_x^2 : n - C = (24,8^2 +25,0^2 +24,3^2 + \dots + 25,4^2 + 24,0^2 + 24,0^2) : 4 - 3012,29 = 9,66$ ;

$C_Z = C_Y - C_P - C_V = 17,68 - 2,10 - 9,66 = 5,92$ .

2. Для ряда  $Y$ :

$C=(\sum Y)^2:N=(5,5+5,4+6,1+5,7+\dots+5,6+6,4+6,2+5,8)^2:80=2670,36$ ;

$C_Y = \sum Y^2 - C = (5,5^2+5,4^2+6,1^2+5,7^2+ \dots +5,6^2+6,4^2+6,2^2+5,8^2) - 2670,36 = 2677,74 - 2670,36 = 7,38$ ;

$C_P = \sum P_y^2:l-C=(113,8^2+119,6^2+118,2^2+110,6^2):20-2670,36=2,55$ ;

$C_V = \sum V_y^2 : n - C = (22,7^2 + 22,7^2 + 22,8^2 + \dots + 23,6^2 + 24,0^2 + 24,0^2) : 4 - 2670,36 = 0,77$ ;

$C_Z = C_Y - C_P - C_V = 7,38 - 2,55 - 0,77 = 4,06$ .

3. Суммы произведений  $XY$ :

$C=(\sum X) \times (\sum Y) : N = (6,2+5,9 + 6,5 + 6,2 + \dots +5,5 + 6,2 + 6,3 + 6,0) \times (5,5 +5,4 +6,1 +5,7 + \dots +5,6 +6,4 +6,2 +5,8) : 80 = 2836,17$ ;

$C_Y = \sum XY - C = [(6,2 \times 5,5) + (5,9 \times 5,4) + (6,5 \times 6,1) + (6,2 \times 5,7) + \dots + (5,5 \times 5,6) + (6,2 \times 6,4) + (6,3 \times 6,2) + (6,0 \times 5,8)] - 2836,17 = 3,86$ ;

$C_P = \sum P_x P_y : l - C = [(121,0 \times 113,8) + (125,2 \times 119,6) + (126,4 \times 118,2) + (118,3 \times 110,6)] : 20 - 2836,17 = 2,24$ ;

$C_V = \sum V_x V_y : n - C = [(24,8 \times 22,7) + (25,0 \times 22,7) + \dots + (24,0 \times 24,0) + (24,0 \times 24,0)] : 4 - 2836,17 = -0,73$ ;

$C_Z = C_Y - C_P - C_V = 3,86 - 2,24 - (-0,73) = 2,35$ .

Для дальнейших расчетов запишем полученные значения в таблицу ковариационного анализа (табл. 95).

Остаток I позволяет вычислить два показателя:

1) коэффициент регрессии:

$$b_{xy} = \frac{\sum xy}{\sum y^2} = \frac{2,35}{4,06} = 0,58.$$

2) сумма квадратов для регрессии:

$$C_b = \frac{(\sum xy)^2}{\sum y^2} = \frac{2,35^2}{4,06} = 1,36.$$

Таблица 95 – Результаты ковариационного анализа

Дисперсия (источник варьирования)	Число степеней свободы	Сумма квадратов и произведений			Средний квадрат	$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$	$F_{01}$
		ряд X	ряд XY	ряд Y				
Общая	79	17,68	3,86	7,38				
Повторений	3	2,10	2,24	2,55				
Сортов	19	9,66	-0,73	0,77	0,51	6,375	1,775	
Остаток 1	57	5,92	2,35	4,06	0,10		2,247	
По линии регрессии	1	1,36			1,36	17,000	4,013	
Остаток 2	56	4,56			0,08		7,110	

3) остаточная сумма квадратов после корректировки:

Остаток 2 = остаток 1 –  $C_b = 5,92 - 1,36 = 4,56$  при 56 (5–1) степенях свободы.

Используя обычные формулы, вычисляем средние квадраты и  $F_{\text{факт.}}$ .  $F_{\text{теор.}}$  находим, используя функцию ФРАСПОБР в Microsoft Excel. В нашем примере коэффициент регрессии значим ( $F_{\text{факт.}} > F_{05}$  и  $F_{01}$   $17,00 > 4,13$  и  $> 12,061$ ), в связи с чем целесообразно провести корректировку урожая сортов (табл. 96).

Таблица 96 – Внесение поправок в средний урожай

Сорт	Средний урожай, т/га		Урожай после корректировки $x_i = x_i - b(y_i - y_0)$
	сорта $x_i$	стандарта $y_i$	
1	6,20	5,68	6,26
2	6,25	5,68	6,31
3	6,08	5,70	6,13
4	6,58	5,70	6,63
5	6,50	5,75	6,52
6	6,50	5,75	6,52
7	5,48	5,83	5,45
8	6,05	5,83	6,02
9	6,10	5,78	6,10
10	6,13	5,78	6,13
11	6,23	5,70	6,28
12	6,45	5,70	6,50
13	5,18	5,70	5,23
14	6,43	5,70	6,48
15	6,25	5,75	6,27
16	6,35	5,75	6,37
17	5,65	5,90	5,58
18	6,35	5,90	6,28
19	6,00	6,00	5,87
20	6,00	6,00	5,87
Среднее по опыту	$x_i = 6,14$	5,78	6,14

Для анализа частных различий вычисляют:

– ошибку средней разности

$$s_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{s_{II}^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,08}{4}} = 0,14 \text{ т};$$

– ошибку разности средних  $s_d$  не вычисляют, т. к. сравнение ведется со стандартом.

– наименьшую существенную разность

$$HCP_{05} = t_{05}s_{\bar{y}} = 2,00 \times 0,14 = 0,28 \text{ т.}$$

Для ускорения работы по статистической оценке результатов исследований целесообразно в Microsoft Excel создавать «шаблон», т. е. электронную таблицу, в которую вписаны формулы для вычислений со ссылкой на ячейки с исходными данными. После внесения в таблицу результатов нового эксперимента, вычисления будут выполнены автоматически.

#### 5.8.4.2. Многофакторный эксперимент

*Исследователи, которые при изучении дисперсионного анализа ограничиваются знакомством с его «рецептами» и не проявляют попытки понять его основополагающие принципы, могут столкнуться с серьезными недоразумениями. Осознавая это или нет, они строят определенные предположения о получаемых данных, выполняя дисперсионный анализ. Если данные не подчиняются этим предположениям, то дисперсионный анализ может привести к ошибочному заключению. Они могут также не учесть важные дополнения к выводам, чего не бывает при надлежащем анализе данных.*

**Т. Литтл, Ф. Хиллз**

Многофакторный дисперсионный комплекс – это совокупность исходных наблюдений (дат), позволяющих статистически оценить действие и взаимодействие изучаемых факторов на изменчивость результативного признака. Взаимодействие факторов означает, что влияние одного из них проявляется по-разному на разных уровнях другого фактора. Совместное влияние изучаемых факторов может быть больше (синергизм) или меньше (антагонизм) суммы эффектов каждого в отдельности. Когда факторы не взаимодействуют, изменение результирующего признака от совместного воздействия их равно сумме изменений от раздельного воздействия (аддитивизм). Этот комплекс включает как минимум два фактора, каждый из которых имеет не менее двух градаций.

Под *фактором* понимается физическая величина, способная под управлением исследователя принимать предусмотренные планом эксперимента значения и обладающая определенными способами воздействия на объект исследования. В качестве факторов можно назвать глубину обработки почвы и срок ее проведения, глубину высева семян, норму внесения удобрений, вид удобрений, способы их внесения, сорт культуры, и т. д.

Факторы могут быть качественными и количественными. Количественные факторы можно оценивать количественно, т. е. измерять, взвешивать, подсчитывать. Качественные факторы характеризуют качество: устойчивость к болезням, вид удобрения, тип севооборота, срок посева. Для качественных факторов обычно строят условно-порядковую шкалу, посредством которой устанавливается соответствие между уровнями качественного фактора и числами натурального ряда. Факторы, включаемые в дисперсионный комплекс, должны быть независимыми, измеряемыми, управляемыми и независимыми друг от друга, т. е. между ними должна отсутствовать корреляционная связь. Совокупность факторов должна быть совместимой.

Требование независимого воздействия на объект возникает в связи с тем, что трудно управлять фактором, если он является функцией других. Под управляемостью фактора понимается возможность установки и поддержания нужного уровня фактора постоянным в выбранном диапазоне в течение всего опыта (варианта). Наконец, совместимость означает реальное и безопасное осуществление всех запланированных комбинаций уровней факторов.

При изучении действия и взаимодействия нескольких факторов осуществляют многофакторный полевой эксперимент. При дисперсионном анализе данных многофакторного опыта используются те же принципы и расчеты дисперсий, что и при однофакторном. Однако при этом несколько усложняется математическая модель анализа.

При оценке данных двухфакторного опыта сумма квадратов расчленяется на следующие компоненты:  $C_Y = (C_A + C_B + C_{AB}) + C_P + C_Z$ ; для трехфакторного опыта общая сумма квадратов (математическая модель анализа данных) будет еще сложнее:  $C_Y = (C_A + C_B + C_C + C_{AB} + C_{AC} + C_{BC} + C_{ABC}) + C_P + C_Z$ . В скобках указаны суммы квадратов для изучаемых факторов  $A$  и  $B$ , а для трехфакторного опыта –  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и их взаимодействия.

Соответственно, с указанными компонентами расчленяется и общее число степеней свободы. Для двухфакторного опыта оно будет  $v = N - 1 = v_P + v_A + v_B + v_{AB} + v_Z$ .

Порядок оценки данных двухфакторного опыта следующий:

1. Составляется таблица исходных данных, в которой определяются суммы и средние (табл. 97).

Таблица 97 – Исходные данные

Фактор А	Фактор В				Сумма А
	$b_1$	$b_2$	...	$b_{l_B}$	
$a_1$	$V_1$	$V_2$	...	$V_{l_B}$	$\sum V_{a_1}$
$a_2$	$V_{l_{B+1}}$	$V_{l_{B+2}}$	...	$V_{2l_B}$	$\sum V_{a_2}$
...	...	...	...	...	...
$a_{l_A}$	$V_{(l_A-1)(l_B+1)}$	$V_{(l_A-1)(l_B+2)}$	...	$V_{l_A l_B}$	$\sum V_{a_{l_A}}$
Сумма В	$\sum V_{b_1}$	$\sum V_{b_2}$	...	$\sum V_{b_{l_B}}$	$\sum V$

2. Определяется общее число наблюдений ( $N$ ), корректирующий фактор ( $C$ ), суммы квадратов отклонений: общая ( $C_Y$ ), по повторениям ( $C_P$ ), по вариантам ( $C_V$ ) и остаточная ( $C_Z$ ). Суммы квадратов отклонений вычисляют так же и по тем же формулам, как и при анализе результатов однофакторного полевого опыта. Только при вычислении общего числа наблюдений следует учитывать число градаций всех факторов и число повторений:  $N=l_A l_B n$ , где  $l_A$  – число градаций фактора  $A$ ;  $l_B$  – число градаций фактора  $B$ ;  $n$  – число повторений.

3. В отличие от однофакторного дисперсионного анализа, для определения сумм квадратов отклонений для факторов  $A$  и  $B$  и их взаимодействия  $AB$  составляется специальная таблица, в которой градации фактора  $A$  указываются в левом крайнем столбце, а фактора  $B$  – в заглавной горизонтальной строке. В этой таблице вычисляются суммы по факторам  $A$  и  $B$  и суммы квадратов по соответствующим формулам:

$$C_A = \sum A^2 : l_B \cdot n - C \quad \text{при степенях свободы } \nu_A = l_A - 1;$$

$$C_B = \sum B^2 : l_A \cdot n - C \quad \text{при } \nu_B = l_B - 1;$$

$$C_{AB} = C_V - C_A - C_B \quad \text{при } \nu_{AB} = (l_A - 1)(l_B - 1).$$

Результаты заносят в таблицу дисперсионного анализа (табл. 98) и определяют фактическое значение критерия  $F$ .

Таблица 98 – Таблица дисперсионного анализа

Дисперсия (источник варьирования)	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	$F_{\text{факт.}}$	$F_{\text{теор.}}$
Общая	$C_Y$	$N-1$	–	–	–
Повторений	$C_P$	$n-1$	–	–	–
Фактора $A$	$C_A$	$l_A-1$	$S_A^2 = \frac{C_A}{\nu_A}$	$\frac{S_A^2}{S_Z^2}$	По таблице значений критерия $F$
Фактора $B$	$C_B$	$l_B-1$	$S_B^2 = \frac{C_B}{\nu_B}$	$\frac{S_B^2}{S_Z^2}$	
Взаимодействия	$C_{AB}$	$(l_A-1)(l_B-1)$	$S_{AB}^2 = \frac{C_{AB}}{\nu_{AB}}$	$\frac{S_{AB}^2}{S_Z^2}$	
Остаток (ошибки)	$C_Z$	$(N-1)-(n-1)-$ $(l_A-1)-(l_B-1)-$ $[(l_A-1)(l_B-1)]$	$S_Z^2 = \frac{C_Z}{\nu_Z}$	–	

Теоретическое значение  $F_{05}$  находят по таблице критерия  $F$  на 5 %-ном уровне значимости, исходя из степени свободы для дисперсии главных эффектов  $A$ ,  $B$  и взаимодействия  $AB$  (числитель) и из степеней свободы остатка (знаменатель). При выполнении условия  $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$  нуле-

вая гипотеза  $H_0$  отвергается. Оценка существенности частных различий, а также существенности различий главных эффектов и взаимодействия производится по следующим показателям:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S_Z^2}{n}}; \quad s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{n}}; \quad HCP_{05} = t_{05} s_d;$$

$$s_{d_A} = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{nl_B}}; \quad HCP_{05} = t_{05} \cdot s_{d_A};$$

$$s_{d_B} = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{nl_A}}; \quad HCP_{05} = t_{05} \cdot s_{d_B}$$

При этом теоретическое значение критерия  $t_{05}$  находят по таблице критерия Стьюдента на 5 %-ном уровне значимости.

Алгоритм статистической оценки результатов полевого опыта определяется схемой расположения вариантов.

При планировании многофакторного эксперимента для корректного применения дисперсионного анализа для статистической оценки результатов необходимо учитывать все налагаемые ограничения.

#### 5.8.4.2.1. Двухфакторный эксперимент, проведенный методом рандомизированных повторений

*Статистическую обработку данных двухфакторного опыта осуществляют методом дисперсионного анализа, поэтапно. На первом этапе обработку ведут аналогично обработке результатов однофакторного опыта, определяя общее рассеивание, рассеивание вариантов, повторений и ошибки. Это дает возможность определить критерий Фишера, ошибку опыта и существенность разности между вариантами... На втором этапе ... определяют так называемые главные эффекты изучаемых факторов и их взаимодействие.*

**В.Е. Ещенко**

*Рандомизацию можно рассматривать как аналог страхования, защиты от зла, которое, по-видимому, не может возникнуть, но имело бы серьезные последствия, если бы оно появилось.*

**Д. Финни**

Изучалось влияние уровня минерального питания и нормы высева семян на урожайность риса в двухфакторном опыте  $3 \times 4$ , проведенном в 4-х рандомизированных повторениях. Фактор  $A$  – уровень минерального питания, имеет 3 градации ( $l_A=3$ ): 0 – без удобрений, 1 – оптимальный, 2 – повышенный. Фактор  $B$  – норма высева семян представлен 4 градациями ( $l_B=4$ ): 4, 6, 8 и 10 млн. зерен на 1 га. Число повторений – 4 ( $n=4$ ). Общее число наблюдений  $N=l_A l_B n=3 \times 4 \times 4=48$ . Экспериментальные данные занесем в таблицу (табл. 99):

Таблица 99 - Урожайность риса при различных нормах высева и уровне минерального питания, т/га

Доза удобрений (А)	Норма высева (В), тыс. шт./га	Повторения X				Суммы V
		1	2	3	4	
0	4	3,8	4,0	3,0	3,0	13,8
	6	4,0	4,0	4,0	3,6	15,6
	8	3,6	4,0	3,6	3,6	14,8
	10	4,0	3,8	3,6	3,8	15,2
1	4	6,4	5,8	3,6	4,2	20,0
	6	8,0	7,8	6,6	6,8	29,2
	8	7,8	7,6	8,0	7,4	30,8
	10	8,8	8,4	8,0	7,8	33
2	4	6,0	6,2	4,2	3,4	19,8
	6	8,4	7,0	5,6	6,6	27,6
	8	7,6	7,6	7,2	7,0	29,4
	10	9,6	10,2	10,0	9,6	39,4
Суммы P		78	76,4	67,4	66,8	288,6

Вычисляем суммы квадратов общую, повторений, вариантов и остаточную:

$$C = (\sum X)^2 : N = (3,8+4,0+3,0+3,0+ \dots + 9,6+10,2+10,0+9,6)^2 : 48 = 1735,2$$

$$C_Y = \sum X^2 - C = (3,8^2+4,0^2+3,0^2+3,0^2+ \dots + 9,6^2+10,2^2+10,0^2+9,6^2) - 1735,2 = 219,8$$

$$C_P = \sum P^2 : l_A \times l_B - C = (78,0^2+76,4^2+67,4^2+66,8^2) : 3 \times 4 - 1735,2 = 8,6$$

$$C_V = \sum V^2 : n - C = (13,8^2+15,6^2+ \dots + 29,4^2+39,4^2) : 4 - 1735,2 = 201,1$$

$$C_Z = C_Y - C_V - C_P = 219,8 - 201,1 - 8,6 = 10,2$$

Для вычисления сумм квадратов для факторов A, B и взаимодействия AB составляют таблицу (табл. 100) в которую вписывают суммы по вариантам.

Таблица 100 - Определение сумм квадратов для факторов A, B и взаимодействия AB

Фактор А	Фактор В				Суммы А
	4	6	8	10	
0	13,8	15,6	14,8	15,2	59,4
1	20,0	29,2	30,8	33,0	113,0
2	19,8	27,6	29,4	39,4	116,2
Суммы В	53,6	72,4	75,0	87,6	288,6

$$C_A = \sum A^2 : l_B \times n - C = (59,4^2+113,0^2+116,2^2) : 4 \times 4 - 1735,2 = 127,3$$

при  $l_A - 1 = (3-1) = 2$  степенях свободы;

$$C_B = \sum B^2 : l_A \times n - C = (53,6^2+72,4^2+75,0^2+87,6^2) : 3 \times 4 - 1735,2 = 49,3$$

при  $l_B - 1 = (4-1) = 3$  степенях свободы;

$C_{AB} = C_V - C_A - C_B = (\sum V^2 : n - C) - C_A - C_B = [(13,8^2 + 15,6^2 + \dots + 29,4^2 + 39,4^2) : 4 - 1735,2] - 127,3 - 49,3 = 24,4$  при  $(l_A - 1) \times (l_B - 1) = (3 - 1) \times (4 - 1) = 6$  степенях свободы.

$C_Z = C_Y - C_P - C_A - C_B - C_{AB} = 219,8 - 8,6 - 127,3 - 24,4 = 10,2$ ; число степеней свободы для остаточной дисперсии (ошибки) находят как разность числа степеней свободы для общей дисперсии и ее составляющих:  $47 - 3 - 2 - 3 - 6 = 33$ .

Делением суммы квадратов на число степеней свободы находим средний квадрат. Для фактора  $A$ ,  $B$  и взаимодействия  $A \times B$  вычисляем  $F$ -критерий ( $F_{\text{факт.}} = \text{средний квадрат источника дисперсии} / \text{средний квадрат ошибки}$ ). Результаты записываем в таблицу 101.

Таблица 101 - Результаты дисперсионного анализа двухфакторного опыта  $3 \times 4$

Дисперсия (источник варьирования)	Сумма квадратов ( $SS$ )	Степени свободы ( $\nu$ )	Средний квадрат ( $MS$ )	$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$	$F_{01}$
Общая	219,8	47	-	-	-	-
Повторений	8,6	3	-	-	-	-
Фактор А	127,3	2	63,7	205,5	3,28	5,31
Фактор В	49,3	3	16,4	52,9	2,89	4,44
Взаимодействия АВ	24,4	6	4,1	13,2	2,39	3,41
Остаток	10,2	33	0,31	-	-	-

Теоретические значения  $F$ -критерия находим с помощью функции ФРАСПОБР(вероятность; степени\_свободы1; степени\_свободы2), исходя из числа степеней свободы для главных эффектов и взаимодействия (числитель  $\rightarrow$  степени\_свободы1) и остатка (знаменатель  $\rightarrow$  степени\_свободы2), например, для эффекта  $A \rightarrow$  ФРАСПОБР(0,05; 2; 33) и т. д. В нашем примере влияние дозы удобрений, нормы высева и их взаимодействия на изменчивость (дисперсию) урожайности значимы на 5 % и 1 % уровне. Достоверность взаимодействия  $AB$  указывает на то, что действие фактора  $A$  различно на разных уровнях фактора  $B$  и наоборот.

Вычисляем  $HCP$  для:

1) оценки частных различий:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S_Z^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,31}{4}} = 0,28 \text{ т};$$

$$s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,31}{4}} = 0,39 \text{ т};$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 2,03 \cdot 0,39 = 0,79 \text{ т};$$

3) оценки существенности главных эффектов и взаимодействия:

- для фактора  $A$ :

$$s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{n \cdot l_B}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,31}{4 \cdot 4}} = 0,20 \text{ т};$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 2,03 \cdot 0,20 = 0,41 \text{ т};$$

- для фактора  $B$  и взаимодействия  $AB$ :

$$s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{n \cdot l_A}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,31}{4 \cdot 3}} = 0,23 \text{ т};$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 2,03 \cdot 0,23 = 0,47 \text{ т};$$

В заключение составляем итоговую таблицу (табл. 102).

Таблица 102 – Влияние доз удобрения и норм высева семян на урожайность риса

Фактор $A$	Фактор $B$				Среднее по фактору $A$ $HCP_{05}=0,41$
	4	6	8	10	
0	3,5	3,9	3,7	3,8	3,7
1	5,0	7,3	7,7	8,3	7,1
2	5,0	6,9	7,4	9,9	7,3
Среднее по фактору $B$ $HCP_{05}$ по фактору $B=0,47$	4,5	6,0	6,3	7,3	6,0

$HCP_{05}$  для сравнения частных различий=0,79

Для оценки различий используют три значения  $HCP_{05}$ : одно для оценки существенности частных различий между средними ( $HCP_{05} = 0,79$ ) и два других для оценки существенности разности по фактору  $A$  ( $HCP_{05}=0,41$ ) и фактору  $B$  ( $HCP_{05} = 0,47$ ).

Зависимость урожайности от доз удобрений и норм высева семян можно представить в виде графика (рис. 101).

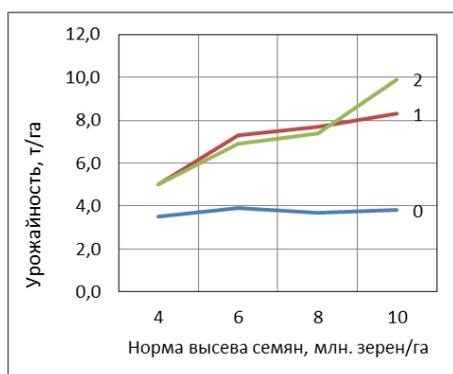


Рис. 101. Урожайность риса в зависимости от доз удобрений и норм высева семян.

0, 1, 2 – уровень минерального питания.

**Заключение.** Дисперсия урожайности зерна риса обусловлена изменением норм высева и доз удобрений, а также их совместным влиянием. При выращивании риса без удобрений увеличение нормы высева семян не оказывает существенного влияния на урожайность. В интервале норм высева от 4 до 8 млн. семян оптимальным является 1-й уровень минерального питания (1 – оптимальный), а при дальнейшем увеличении нормы высева – 2-й (2 – повышенный).

### 5.8.4.2.2. Трехфакторный эксперимент, проведенный методом рендомизированных повторений

*Схема полной рендомизации заслуживает внимания для тех условий, когда в эксперименте нет дополнительной вариативности среди экспериментальных единиц, кроме вариации, обусловленной действием вариантов.*

Т. Литтл, Ф. Хиллз

Если необходимо изучить действие трех факторов на результирующий признак (чаще всего в агробиологических исследованиях это урожайность), проводят трехфакторные эксперименты. Методология применения метода не отличается от одно- и двухфакторных экспериментов, усложняются только расчеты. Ниже приводим пример расчетов статистической оценки результатов трехфакторного эксперимента  $2 \times 2 \times 2$ , опуская теоретические аспекты.

*Пример 1.* Необходимо оценить влияние норм высева и доз удобрений на урожайность сортов Лиман и Регул. Имеем три фактора –  $A$ ,  $B$  и  $C$ , каждый по две градации ( $l_A = l_B = l_C = 2$ . Повторностей 3 ( $n=3$ ). Для облегчения формирования исходных данных для расчетов факторы целесообразно кодировать. Каждый вариант в кодированном виде представляет комбинацию трех цифр: 000, 001, ... 100, 101, ... 111, где первая – уровень первого фактора, вторая – второго и третья – третьего (табл. 103).

Таблица 103 – Урожайность риса в трехфакторном опыте  $2 \times 2 \times 2$ , ц/га

Норма высева (фактор $A$ )	Удобрение (фактор $B$ )	Сорт (фактор $C$ )	Повторения, $X$			Суммы, $V$	Среднее	Код варианта
			1	2	3			
4 млн. зерен/га (0)	N <sub>90</sub> (0)	Лиман (0)	5,2	5,0	5,4	15,6	5,2	000
		Регул (1)	6,2	6,1	5,5	17,8	5,9	001
	N <sub>180</sub> (1)	Лиман (0)	5,7	5,4	5,9	17,0	5,7	010
		Регул (1)	6,6	6,4	6,2	19,2	6,4	011
8 млн. зерен/га (1)	N <sub>90</sub> (0)	Лиман (0)	6,4	6,2	6,0	18,6	6,2	100
		Регул (1)	7,2	7,0	7,0	21,2	7,1	101
	N <sub>180</sub> (1)	Лиман (0)	7,0	7,4	7,5	21,9	7,3	110
		Регул (1)	7,8	7,8	7,7	23,3	7,8	111
Суммы $P$			52,1	51,3	51,2	154,6	6,4	

Экспериментальные данные записываем в таблицу и вычисляем суммы по повторениям и вариантам. Правильность произведенных вычислений проверяем по равенству  $\Sigma P = \Sigma V = \Sigma X$ . В нашем примере  $\Sigma P = \Sigma V = \Sigma X = 154,6$ .

Вычисляем суммы квадратов общую, повторений, вариантов и остатка:

$$N = l_A \times l_B \times l_C \times n = 2 \times 2 \times 2 \times 3 = 24.$$

$$C = (\sum X)^2 : N = (5,2+5,0+5,4+ \dots + 7,8+7,8+7,7)^2 : 24 = 995,88.$$

$$C_Y = \sum X^2 - C = (5,2^2+5,0^2+5,4^2+ \dots + 7,8^2+7,8^2+7,7^2) - 995,88 = 16,86.$$

$$C_P = \sum P^2 : (l_A \times l_B \times l_C) - C = (52,1^2+51,3^2+51,2^2) : (2 \times 2 \times 2) - 995,88 = 0,06.$$

$$C_V = \sum V^2 : n - C = (15,6^2+17,8^2+ \dots + 21,9^2+23,3^2) : 3 - 995,88 = 16,03.$$

$$C_Z = C_Y - C_V - C_P = 16,86 - 16,03 - 0,06 = 0,77.$$

Для вычисления сумм квадратов для факторов  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и взаимодействий  $AB$ ,  $AC$ ,  $BC$  и  $ABC$  составляют таблицу (табл. 104) в которую вписывают суммы по вариантам.

Таблица 104 – Суммы урожаев для определения главных эффектов и взаимодействий ( $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $AB$ ,  $AC$ ,  $BC$  и  $ABC$ )

Фактор $A$	Фактор $B$	Фактор $C$		Суммы сумм по факторам и взаимодействиям				
		0	1	$A$	$B$	$AB$	$AC$	$BC$
0	0	15,6	17,8	69,6	73,2	33,4	32,6	34,2
	1	17,0	19,2					
1	0	18,6	21,2	85,0	81,4	39,8	40,5	38,9
	1	21,9	23,3					
Суммы сумм $B$		73,1	81,5					

Чтобы заполнить таблицу без ошибок, рекомендуется предварительно составить матрицу:

Фактор $A$	Фактор $B$	Фактор $C$		Суммы сумм по факторам и взаимодействиям				
		0	1	$A$	$B$	$AB$	$AC$	$BC$
0	0	000	001	$A_0$	$B_0$	$A_0B_0$	$A_0C_0$	$B_0C_0$
	1	010	011					
1	0	100	101	$A_1$	$B_1$	$A_1B_0$	$A_1C_0$	$B_1C_0$
	1	110	111					

$$C_A = \sum A^2 : l_B \times l_C \times n - C = (69,6^2+85,0^2) : (2 \times 2 \times 3) - 995,88 = 9,88 \text{ при } (l_A - 1) = (2 - 1) = 1 \text{ степени свободы;}$$

$$C_B = \sum B^2 : l_A \times l_C \times n - C = (73,2^2+81,4^2) : (2 \times 2 \times 3) - 995,88 = 2,80 \text{ при } (l_B - 1) = (2 - 1) = 1 \text{ степени свободы;}$$

$$C_C = \sum C^2 : l_A \times l_B \times n - C = (73,1^2+81,5^2) : (2 \times 2 \times 3) - 995,88 = 2,94 \text{ при } (l_C - 1) = (2 - 1) = 1 \text{ степени свободы;}$$

$$C_{AB} = \sum AB^2 : l_C \times n - C_A - C_B - C = [(33,4^2+36,2^2+39,8^2+45,2^2) : (2 \times 3)] - 9,88 - 2,80 - 995,88 = 0,29 \text{ при } (l_A - 1) \times (l_B - 1) = (2 - 1) \times (2 - 1) = 1 \text{ степени свободы;}$$

$$C_{AC} = \sum AC^2 : l_B \times n - C_A - C_C - C = [(32,6^2+37,0^2+40,5^2+44,5^2) : (2 \times 3)] - 9,88 - 2,94 - 995,88 = 0,01 \text{ при } (l_A - 1) \times (l_C - 1) = (2 - 1) \times (2 - 1) = 1 \text{ степени свободы;}$$

$C_{BC} = \Sigma BC^2 : l_A \times n - C_B - C_C - C = [(34,2^2 + 39,0^2 + 38,9^2 + 42,5^2) : (2 \times 3)] - 2,80 - 2,94 - 995,88 = 0,06$  при  $(l_B - 1) \times (l_C - 1) = (2 - 1) \times (2 - 1) = 1$  степени свободы.

Сумму квадратов взаимодействия  $ABC$  находят по разности:

$C_{ABC} = C_V - (C_A + C_B + C_C + C_{AB} + C_{AC} + C_{BC}) = 16,03 - (9,88 + 2,80 + 2,94 + 0,29 + 0,01 + 0,06) = 0,05$  при  $(l_A - 1) \times (l_B - 1) \times (l_C - 1) = (2 - 1) \times (2 - 1) \times (2 - 1) = 1$  степени свободы.

Результаты расчетов сумм квадратов записывают в таблицу 105. Делением суммы квадратов на число степеней свободы находим средний квадрат. Для факторов  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и взаимодействий  $AB$ ,  $AC$ ,  $BC$  и  $ABC$  вычисляем  $F$ -критерий ( $F_{\text{факт.}} = \text{средний квадрат источника дисперсии} / \text{средний квадрат ошибки}$ ).

Таблица 105 - Результаты дисперсионного анализа трехфакторного опыта  $2 \times 2 \times 2$

Дисперсия (источник варьирования)	Сумма квадратов ( $SS$ )	Степени свободы ( $\nu$ )	Средний квадрат ( $MS$ )	$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$	$F_{01}$
Общая	16,86	23	-	-	-	-
Повторений	0,06	2	-	-	-	-
Фактор $A$	9,88	1	9,88	164,67	4,60	8,86
Фактор $B$	2,80	1	2,80	46,67	4,60	8,86
Фактор $C$	2,94	1	2,94	49,00	4,60	8,86
Взаимодействия $AB$	0,29	1	0,29	4,83	4,60	8,86
Взаимодействия $AC$	0,01	1	0,01	0,17	4,60	8,86
Взаимодействия $BC$	0,06	1	0,06	1,00	4,60	8,86
Взаимодействия $ABC$	0,05	1	0,05	0,83	4,60	-
Остаток	0,77	14	0,06	-	-	-

Теоретические значения  $F$ -критерия находим с помощью функции ГРАСПОБР(вероятность; степени\_свободы1; степени\_свободы2), исходя из числа степеней свободы для главных эффектов и взаимодействия (числитель  $\rightarrow$  степени\_свободы1) и остатка (знаменатель  $\rightarrow$  степени\_свободы2), например, для эффекта  $A \rightarrow$  ГРАСПОБР(0,05; 1; 14) и т. д. В нашем примере влияние нормы высева, дозы удобрений, сорта и взаимодействия нормы высева и дозы удобрений на изменчивость (дисперсию) в опыте урожайности значимы на 5 % уровне.

Вычисляем  $HCP$  для:

1) оценки существенности частных различий:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S_Z^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,06}{3}} = 0,14 \text{ т};$$

$$s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,06}{3}} = 0,20 \text{ т};$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 2,14 \cdot 0,20 = 0,43 \text{ т};$$

2) оценки существенности главных эффектов и взаимодействия:  
 - для главных эффектов (средние для главных эффектов  $A$ ,  $B$  и  $C$  опираются на  $l_B l_C n$ ,  $l_A l_C n$  и  $l_A l_B n$  наблюдений соответственно, т. е.  $2 \times 2 \times 3 = 12$ ):

$$s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{l_A \cdot l_B \cdot n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,06}{2 \cdot 2 \cdot 3}} = 0,10 \text{ т};$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 2,14 \cdot 0,10 = 0,21 \text{ т};$$

- для парных взаимодействий  $AB$ ,  $AC$  и  $BC$  (средние для парных взаимодействий опираются на  $l_A \cdot n$ ,  $l_B \cdot n$  и  $l_C \cdot n$  наблюдений соответственно, т. е.  $2 \times 3 = 6$ ):

$$s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{l_A \cdot n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,06}{2 \cdot 3}} = 0,14 \text{ т};$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 2,14 \cdot 0,14 = 0,30 \text{ т}.$$

На следующем этапе вычисляем главные эффекты и взаимодействия. Наиболее распространенный способ их вычисления – метод контрастов. Для расчетов составляют вспомогательную таблицу (табл. 106). В шапке записывают комбинации вариантов (0 (контроль), а, в, с, ав, ас, вс и авс). Чтобы не ошибиться, следует ориентироваться на коды вариантов. В 1-й столбец вписывают обозначение эффекта и среднее значение признака по каждому варианту.

Таблица 106 – Вычисление главных эффектов и взаимодействий в трехфакторном опыте  $2 \times 2 \times 2$

Эффект	Комбинация вариантов								Сумма	Главные эффекты и взаимодействия
	0 (000)	а (100)	в (010)	с (001)	ав (110)	ас (101)	вс (011)	авс (111)		
Итог	5,2	6,2	5,7	5,9	7,3	7,1	6,4	7,8	51,6	$6,5 = \bar{x}$
$A$	-1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	+1	5,2	$1,3^* = A$
$B$	-1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	2,8	$0,7^* = B$
$C$	-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	2,8	$0,7^* = C$
$AB$	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	0,8	$0,2^* = AB$
$AC$	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	0,0	$0,0 = AC$
$BC$	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	-0,4	$-0,1 = BC$
$ABC$	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	-0,4	$-0,1 = ABC$

Расставляют коэффициенты для главных ( $A$ ,  $B$  и  $C$ ) эффектов. Если в варианте вычисляемый эффект отсутствует (0), – ставят коэффициент – 1, присутствует (1) – +1. Коэффициенты для взаимодействий вычисляют как произведение (с учетом знаков) коэффициентов для главных эффектов. Например, для взаимодействия  $AB$  –  $(-1) (-1) = +1$ ;  $(+1) (-1) = -1$  и т. д. Сумма коэффициентов для каждого эффекта всегда равна 0 (ноль).

Вычислив все коэффициенты, определяют суммы, которые вычисляют как сумму произведений значения признака (в нашем примере – урожайность) на соответствующие коэффициенты:  $[5,2 (-1)] + [6,2 (+1)] + [5,7 (-1)] + [5,9 (-1)] + [7,3 (+1)] + [7,1 (+1)] + [6,4 (-1)] + [7,8 (+1)] = 5,2$  и т. д. Эффекты вычисляют делением суммы на количество вариантов, на основании которых определялось действие фактора, т. е. на количество комбинаций с эффектом +1 (в нашем примере – на 4).

Величины главных эффектов и взаимодействий показывают, что наибольшее влияние на дисперсию по вариантам урожайности оказывает норма высева семян. Влияние доз удобрений и сортов равное и существенно меньше, чем норм высева. Из значимых эффектов наименьшее действие оказывает взаимодействие АВ (норма высева  $\times$  доза удобрений).

*Заключение.* Дисперсия урожайности риса обусловлена изменением норм высева и доз удобрений, а также их совместным влиянием. Увеличение нормы высева семян с 4 до 8 млн. зерен на 1 га сопровождается увеличением урожайности. Значимость взаимодействия АВ указывает, что действие удобрений зависит от нормы высева семян. В нашем примере – эффективность высоких доз удобрений выше при высоких нормах высева; на посевах с меньшей густотой стояния растений (норма высева 4 млн. зерен) высокие дозы удобрений менее эффективны.

*Пример 2.* В этом примере разберем алгоритм расчетов неравномерного дисперсионного комплекса (числовой пример заимствован из книги В.А. Дзюбы, 2010). Необходимо оценить влияние норм высева и доз удобрений на урожайность 5 сортов. Имеем три фактора – А – норма высева семян, с 3 градациями ( $l_A=3$ ), В – уровень минерального питания, с 3 градациями ( $l_B=3$ ) и С – сорт, с 5 градациями ( $l_C=5$ ). Повторностей – 4 ( $n=4$ ). Для облегчения формирования исходных данных для расчетов факторы целесообразно кодировать. Каждый вариант в кодированном виде представляет комбинацию трех цифр: 000, 001, ... 100, 101, ... 111, где первая – уровень первого фактора, вторая – второго и третья – третьего (табл. 107).

Экспериментальные данные записываем в таблицу и вычисляем суммы по повторениям и вариантам. Правильность произведенных вычислений проверяем по равенству  $\Sigma P = \Sigma V = \Sigma X$ . В нашем примере  $\Sigma P = \Sigma V = \Sigma X = 1138$ .

Вычисляем суммы квадратов общую, повторений, вариантов и остатка:

$$N = l_A \times l_B \times l_C \times n = 3 \times 3 \times 5 \times 4 = 180;$$

$$C = (\Sigma X)^2 : N = (5,6 + 5,6 + 5,3 + 5,7 \dots + 6,8 + 6,6 + 6,7 + 6,9)^2 : 180 = 7194,69;$$

$$C_Y = \Sigma X^2 - C = (5,6^2 + 5,6^2 + 5,3^2 + 5,7^2 \dots + 6,8^2 + 6,6^2 + 6,7^2 + 6,9^2) - 7194,69 = 33,15;$$

$$C_P = \Sigma P^2 : (l_A \times l_B \times l_C) - C = (282,0^2 + 284,7^2 + 286,5^2 + 284,8) : (3 \times 3 \times 5) - 7194,69 = 0,23;$$

$$C_V = \Sigma V^2 : n - C = (22,2^2 + 21,6^2 + \dots + 28,7^2 + 27,1^2) : 4 - 7194,69 = 30,18;$$

$$C_Z = C_Y - C_V - C_P = 33,1 - 0,2 - 30,2 = 2,74.$$

Таблица 107 – Урожайность риса в трехфакторном опыте 3×3×5, т/га

Норма высева, млн. зерен (фактор А)	Доза ми- неральных удобрений (фактор В)	Сорт (фактор С)	Повторения X				Сумма V	Среднее	Код
			1	2	3	4			
3 (0)	без удоб- рений (0)	Лиман (0)	5,6	5,6	5,3	5,7	22,2	5,6	000
		Жемчужный (1)	5,2	5,4	5,7	5,3	21,6	5,4	001
		Регул (2)	6,1	6,0	5,9	5,8	23,8	6,0	002
		Рапан (3)	6,2	6,1	6,5	6,4	25,2	6,3	003
	N <sub>50</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (1)	Курчанка (4)	6,1	6,3	6,2	6,0	24,6	6,2	004
		Лиман (0)	6,1	6,3	6,0	5,9	24,3	6,1	010
		Жемчужный (1)	5,4	5,7	5,6	5,7	22,4	5,6	011
		Регул (2)	6,3	6,2	6,4	6,0	24,9	6,2	012
	N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> (2)	Рапан (3)	6,4	6,3	6,6	6,7	26	6,5	013
		Курчанка (4)	6,2	6,5	6,4	6,1	25,2	6,3	014
		Лиман (0)	6,3	6,4	6,6	6,4	25,7	6,4	020
		Жемчужный (1)	5,7	5,9	5,8	6,1	23,5	5,9	021
	Регул (2)	6,5	6,6	6,4	6,3	25,8	6,5	022	
	Рапан (3)	6,6	6,7	6,8	6,9	27	6,8	023	
	Курчанка (4)	6,5	6,3	6,6	6,4	25,8	6,5	024	
5 (1)	без удоб- рений (0)	Лиман (0)	5,9	5,7	5,5	5,6	22,7	5,7	100
		Жемчужный (1)	5,4	5,6	5,8	5,6	22,4	5,6	101
		Регул (2)	6,3	6,2	6,0	6,1	24,6	6,2	102
		Рапан (3)	6,4	6,3	6,6	6,5	25,8	6,5	103
	N <sub>50</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (1)	Курчанка (4)	6,3	6,5	6,4	6,3	25,5	6,4	104
		Лиман (0)	6,2	6,5	6,3	6,1	25,1	6,3	110
		Жемчужный (1)	5,5	5,8	5,7	6,0	23	5,8	111
		Регул (2)	6,5	6,3	6,5	6,1	25,4	6,4	112
	N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> (2)	Рапан (3)	6,6	6,5	6,7	6,8	26,6	6,7	113
		Курчанка (4)	6,4	6,7	6,7	6,3	26,1	6,5	114
		Лиман (0)	6,5	6,5	6,7	6,8	26,5	6,6	120
		Жемчужный (1)	5,9	6,1	6,0	6,3	24,3	6,1	121
	Регул (2)	6,6	6,8	6,5	6,7	26,6	6,7	122	
	Рапан (3)	6,8	6,9	7,0	7,1	27,8	7,0	123	
	Курчанка (4)	6,6	6,5	6,7	6,6	26,4	6,6	124	
7 (2)	без удоб- рений (0)	Лиман (0)	6,0	5,9	5,8	5,9	23,6	5,9	200
		Жемчужный (1)	5,6	5,8	6,0	5,9	23,3	5,8	201
		Регул (2)	6,5	6,4	6,3	6,3	25,5	6,4	202
		Рапан (3)	6,6	6,5	6,8	6,6	26,5	6,6	203
	N <sub>50</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (1)	Курчанка (4)	6,5	6,6	6,7	6,5	26,3	6,6	204
		Лиман (0)	6,4	6,6	6,6	6,5	26,1	6,5	210
		Жемчужный (1)	5,8	5,9	5,9	6,1	23,7	5,9	211
		Регул (2)	6,6	6,5	6,7	6,4	26,2	6,6	212
	N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> (2)	Рапан (3)	6,8	6,7	6,9	6,9	27,3	6,8	213
		Курчанка (4)	6,5	6,8	6,9	6,5	26,7	6,7	214
		Лиман (0)	6,7	6,8	6,9	7,1	27,5	6,9	220
		Жемчужный (1)	6,3	6,4	6,3	6,5	25,5	6,4	221
	Регул (2)	6,8	6,9	6,7	6,8	27,2	6,8	222	
	Рапан (3)	7,0	7,1	7,3	7,3	28,7	7,2	223	
	Курчанка (4)	6,8	6,6	6,8	6,9	27,1	6,8	224	
Суммы P			2820	2847	2865	2848	1138	6,3	

Для вычисления сумм квадратов для факторов  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и взаимодействий  $AB$ ,  $AC$ ,  $BC$  и  $ABC$  составляют таблицу (табл. 108) в которую вписывают суммы по вариантам. Чтобы заполнить таблицу без ошибок, рекомендуется предварительно составить матрицу:

Фактор А	Фактор В	Фактор С					Суммы сумм по факторам и взаимодействиям				
		0	1	2	3	4	А	В	АВ	АС	ВС
0	0	000	001	002	003	004	A <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	A <sub>0</sub> B <sub>0</sub>	A <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	B <sub>0</sub> C <sub>0</sub>
	1	010	011	012	013	014		B <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> C <sub>1</sub>	B <sub>0</sub> C <sub>1</sub>
	2	020	021	022	023	024		B <sub>2</sub>	A <sub>0</sub> B <sub>2</sub>	A <sub>0</sub> C <sub>2</sub>	B <sub>0</sub> C <sub>2</sub>
1	0	100	101	102	103	104	A <sub>1</sub>		A <sub>1</sub> B <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> C <sub>0</sub>	B <sub>1</sub> C <sub>0</sub>
	1	110	111	112	113	114			A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>
	2	120	121	122	123	124			A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>
2	0	200	201	202	203	204	A <sub>2</sub>		A <sub>2</sub> B <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> C <sub>0</sub>	B <sub>2</sub> C <sub>0</sub>
	1	210	211	212	213	214			A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>
	2	220	221	222	223	224			A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>
									A <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	
									A <sub>2</sub> C <sub>4</sub>	B <sub>2</sub> C <sub>4</sub>	

Таблица 108 – Суммы урожаев для определения главных эффектов и взаимодействий ( $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $AB$ ,  $AC$ ,  $BC$  и  $ABC$ )

Фактор А	Фактор В	Фактор С					Суммы сумм по факторам и взаимодействиям				
		0	1	2	3	4	А	В	АВ	АС	ВС
0	0	22,2	21,6	23,8	25,2	24,6	368,0	363,6	117,4	72,2	68,5
	1	24,3	22,4	24,9	26	25,2		379,0	122,8	67,5	67,3
	2	25,7	23,5	25,8	27	25,8		395,4	127,8	74,5	73,9
									78,2	77,5	
									75,6	76,4	
1	0	22,7	22,4	24,6	25,8	25,5	378,8		121,0	74,3	75,5
	1	25,1	23	25,4	26,6	26,1			126,2	69,7	69,1
	2	26,5	24,3	26,6	27,8	26,4			131,6	76,6	76,5
									80,2	79,9	
									78,0	78,0	
2	0	23,6	23,3	25,5	26,5	26,3	391,2		125,2	77,2	79,7
	1	26,1	23,7	26,2	27,3	26,7			130,0	72,5	73,3
	2	27,5	25,5	27,2	28,7	27,1			136,0	78,9	79,6
									82,5	83,5	
									80,1	79,3	
Суммы сумм С		223,7	209,7	230,0	240,9	233,7					
ΣX (проверка) = 1138							1138	1138	1138	1138	1138

$C_A = \sum A^2 : l_B \times l_C \times n - C = (368,0^2 + 378,8^2 + 391,2^2) : (3 \times 5 \times 4) - 7194,69 = 4,49$  при  $(l_A - 1) = (3 - 1) = 2$  степенях свободы;

$C_B = \sum B^2 : l_A \times l_C \times n - C = (363,6^2 + 379^2 + 395,4^2) : (3 \times 5 \times 4) - 7194,69 = 8,43$  при  $(l_B - 1) = (3 - 1) = 2$  степенях свободы;

$C_C = \sum C^2 : l_A \times l_B \times n - C = (223,7^2 + 209,7^2 + 230,0^2 + 240,9^2 + 233,7^2) : (3 \times 3 \times 4) - 7194,69 = 15,43$  при  $(l_C - 1) = (5 - 1) = 4$  степенях свободы;

$C_{AB} = \sum AB^2 : l_C \times n - C_A - C_B - C = [(117,4^2 + 122,8^2 + \dots + 130,0^2 + 136,0^2) : (5 \times 4)] - 4,49 - 8,43 - 7194,69 = 0,01$  при  $(l_A - 1) \times (l_B - 1) = (3 - 1) \times (3 - 1) = 4$  степенях свободы;

$C_{AC} = \sum AC^2 : l_B \times n - C_A - C_C - C = [(72,2^2 + 67,5^2 + \dots + 82,5^2 + 80,1^2) : (3 \times 4)] - 4,49 - 15,43 - 7194,69 = 0,03$  при  $(l_A - 1) \times (l_C - 1) = (3 - 1) \times (5 - 1) = 8$  степенях свободы;

$C_{BC} = \sum BC^2 : l_A \times n - C_B - C_C - C = [(68,5^2 + 67,3^2 + \dots + 83,5^2 + 79,3^2) : (3 \times 4)] - 8,43 - 15,43 - 7194,69 = 1,71$  при  $(l_B - 1) \times (l_C - 1) = (3 - 1) \times (5 - 1) = 8$  степенях свободы.

Сумму квадратов взаимодействия  $ABC$  находят по разности:

$C_{ABC} = C_V - (C_A + C_B + C_C + C_{AB} + C_{AC} + C_{BC}) = 30,18 - (4,49 + 8,43 + 15,43 + 0,01 + 0,03 + 1,71) = 0,08$  при  $(l_A - 1) \times (l_B - 1) \times (l_C - 1) = (3 - 1) \times (3 - 1) \times (5 - 1) = 16$  степенях свободы.

Результаты расчетов сумм квадратов записывают в таблицу 109. Делением суммы квадратов на число степеней свободы находим средний квадрат. Для факторов  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и взаимодействий  $AB$ ,  $AC$ ,  $BC$  и  $ABC$  вычисляем  $F$ -критерий ( $F_{\text{факт.}}$  = средний квадрат источника дисперсии / средний квадрат ошибки).

Таблица 109 - Результаты дисперсионного анализа трехфакторного опыта  $3 \times 3 \times 5$

Дисперсия (источник варьирования)	Сумма квадратов ( $SS$ )	Степени свободы ( $\nu$ )	Средний квадрат ( $MS$ )	$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$	$F_{01}$
Общая	33,15	179	-	-	-	-
Повторений	0,23	3	-	-	-	-
Фактор А	4,49	2	2,25	112,50	3,06	4,77
Фактор В	8,43	2	4,22	211,00	3,06	4,77
Фактор С	15,43	4	3,86	193,00	2,44	3,46
Взаимодействия АВ	0,01	4	0,00	0,00	2,44	3,46
Взаимодействия АС	0,03	8	0,00	0,00	2,01	2,65
Взаимодействия ВС	1,71	8	0,21	10,50	2,01	2,65
Взаимодействия АВС	0,08	16	0,01	0,50	1,72	2,14
Остаток (ошибка)	2,74	132	0,02	-	-	-

Теоретические значения  $F$ -критерия находим с помощью функции  $F_{\text{РАСПОБР}}(\text{вероятность}; \text{степени\_свободы1}; \text{степени\_свободы2})$ , исходя из числа степеней свободы для главных эффектов и взаимодействия (числитель  $\rightarrow$  степени\_свободы1) и остатка (знаменатель  $\rightarrow$  степени\_свободы2), например, для эффекта  $A \rightarrow F_{\text{РАСПОБР}}(0,05; 2; 132)$  и т. д.

В нашем примере влияние нормы высева, дозы удобрений, сорта и взаимодействия, дозы удобрений и сорта ( $BC$ ) на изменчивость (дисперсию) в опыте урожайности значимы на 5 и 1 % уровне.

Вычисляем  $HCP$  для:

1) оценки существенности частных различий:

$$s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,02}{4}} = 0,10 \text{ т};$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 1,98 \cdot 0,10 = 0,20 \text{ т};$$

2) оценки существенности главных эффектов и взаимодействия:

- для главных эффектов (средние для главных эффектов  $A$ ,  $B$  и  $C$  опираются на  $l_B l_C n$ ,  $l_A l_C n$  и  $l_A l_B n$  наблюдений соответственно):

фактор  $A$ :

$$s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{l_B \cdot l_C \cdot n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,02}{3 \cdot 5 \cdot 4}} = 0,03 \text{ т};$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 1,98 \cdot 0,03 = 0,06 \text{ т};$$

фактор  $B$ :

$$s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{l_A \cdot l_C \cdot n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,02}{3 \cdot 5 \cdot 4}} = 0,03 \text{ т};$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 1,98 \cdot 0,03 = 0,06 \text{ т};$$

фактор  $C$ :

$$s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{l_A \cdot l_B \cdot n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,02}{3 \cdot 3 \cdot 4}} = 0,03 \text{ т};$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 1,98 \cdot 0,03 = 0,06 \text{ т};$$

- для парных взаимодействий  $AB$ ,  $AC$  и  $BC$  (средние для парных взаимодействий опираются на  $l_A n$ ,  $l_B n$  и  $l_C n$  наблюдений соответственно):

взаимодействие  $AB$ :

$$s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{l_C \cdot n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,02}{5 \cdot 4}} = 0,04 \text{ т};$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 1,98 \cdot 0,04 = 0,08 \text{ т};$$

взаимодействие  $AC$ :

$$s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{l_B \cdot n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,02}{3 \cdot 4}} = 0,06 \text{ т};$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 1,98 \cdot 0,06 = 0,12 \text{ т};$$

взаимодействие  $BC$ :

$$s_d = \sqrt{\frac{2S_Z^2}{l_A \cdot n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,02}{3 \cdot 4}} = 0,06 \text{ т};$$

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 1,98 \cdot 0,06 = 0,12 \text{ т}.$$

*Заключение.* Дисперсия урожайности обусловлена биологическими ообенностями сортов, изменением норм высева и доз удобрений, а также совместным влиянием сорта и норм удобрений. Значимость эффекта взаимодействия  $BC$  (удобрение  $\times$  сорт) указывает на различную реакцию изучаемых сортов на уровень минерального питания. Не выявлено различной, в изучаемом диапазоне норм высева, реакции сортов на уровень минерального питания (незначимо взаимодействие  $AB$ ) и норму высева, в изучаемом диапазоне доз удобрений (незначимо взаимодействие  $AC$ ).

#### **5.8.4.2.3. Многофакторный эксперимент, проведенный методом расщепленных делянок**

*Сущность дисперсионного анализа состоит в вычлениии из общей вариабельности результативного признака той части, которая определяется влиянием учитываемых факторов, и части, связанной с влиянием на результативный признак всех прочих факторов, не учитываемых и объединяемых в группу случайных факторов.*

**Е.А. Дмитриев**

Напомним, очень часто масштабные опыты закладываются по схеме расщепленных делянок, что обусловлено в основном организационными моментами. Схема расщепленных делянок часто отвечает требованиям факториальной группы вариантов. Она включает случайное размещение вариантов одного фактора или сочетания факторов на главных делянках, которые затем расщепляются на субделянки для случайного размещения вариантов другого фактора или сочетания факторов. Например, при изучении реакции сортов на уровень минерального питания удобно выделить большие делянки, на которых вносятся удобрения в соответствии с принятыми вариантами, а затем эта делянка (делянка 1 порядка) делится на делянки 2-го порядка, число которых соответствует количеству изучаемых сортов. Таким же способом закладывается опыт по поиску оптимальных сочетаний приемов обработки почвы или элементов питания (NPK), при изучении совместного влияния норм высева и удобрений и т. д. Расщеплять делянку можно бесконечно, руководствуясь здравым смыслом. Наибольшее распространение получили схемы с двумя и тремя факторами, в пакетах статистического анализа их часто называют схемами расщепленных блоков или сплит-плот и сплит-сплит-плот, что соответствует двух- и трехфакторному опыту. Рендомизация вариантов, размещенных на главных делянках, производится в соответствии с выбранной схемой опыта. Затем внутри каждой главной делянки рендомизировано (рендомизация ведется для каждой главной делянки отдельно) размещаются субделянки.

### 5.8.4.2.3.1. Схема расщепленных делянок – сплит-плот (двухфакторный опыт)

Основу схемы расщепленных делянок составляет размещение вариантов одного фактора по главным делянкам (делянкам 1-го порядка), которые размещаются на поле по схеме полной рендомизации, рендомизированных блоков или латинского квадрата. Варианты другого фактора размещаются по субделянкам (делянки 2-го порядка) каждой главной делянки. При такой схеме точность оценки средних эффектов вариантов главных делянок снижается, но повышается точность сравнения средних эффектов вариантов, расположенных по субделянкам, и эффектов взаимодействия. Это связано с тем, что экспериментальная ошибка для главных делянок обычно больше, чем экспериментальная ошибка, используемая для сравнения вариантов субделянок. Обычно величина ошибки для вариантов субделянок меньше, чем ошибка, получаемая в случае размещения всех сочетаний вариантов по схеме рендомизированных блоков.

Рассмотрим эксперимент, который включает два фактора:  $A$  – два сорта (т. е. фактор в двух градациях,  $l_A=2$ ) и  $B$  – четыре уровня минерального питания (т. е. 4 градации,  $l_B=4$ ). Общее количество вариантов этого опыта составит  $l_A \times l_B = 8$ . Варианты размещены в трех блоках, которые в данном случае являются повторениями ( $n=3$ ). Таким образом, общее число наблюдений (выборка) – 24 (рис. 102). Обратите внимание, что все восемь вариантов встречаются однажды в каждом из трех блоков, а внутри одного блока мы находим все варианты принятых уровней азота вместе.

Ограничение рендомизации при размещении вариантов внутри блока дает в результате две величины ошибок для схемы расщепленных делянок. Ошибка для главных делянок больше, поскольку она включает вариабельность между большими по размеру и удлиненными делянками, а ошибка для субделянок обычно меньше, поскольку она включает вариабельность между близко расположенными субделянками внутри главных делянок.

Блок 1				Блок 2				Блок 3															
главная делянка Сорт (0)		главная делянка Сорт (1)		главная делянка Сорт (1)		главная делянка Сорт (0)		главная делянка Сорт (0)		главная делянка Сорт (1)													
субделянки																							
(0)	(2)	(3)	(1)	(1)	(3)	(0)	(2)	(0)	(2)	(1)	(3)	(2)	(0)	(1)	(3)	(1)	(2)	(0)	(3)	(1)	(2)	(3)	(0)
К о д в а р и а н т а																							
00	02	03	01	11	13	10	12	10	12	11	13	02	00	01	03	01	02	00	03	11	12	13	10
З н а ч е н и е п р и з н а к а																							
3,5	5,3	4,8	3,9	5,1	7,0	4,7	6,7	4,0	6,4	6,1	7,4	5,7	3,4	3,8	4,6	3,8	5,6	3,3	4,9	6,7	8,2	7,8	5,3

Рис. 102. Схема размещения вариантов двухфакторного эксперимента  $2 \times 4$ , поставленного методом расщепленных делянок

Расчеты статистических показателей производятся вначале в той же последовательности, в которой выполнялись для многофакторных экспериментов, проведенных методом рендомизированных повторений. Новым – является разложение остаточной суммы квадратов  $S_Z$  на компоненты, обусловленные вариабельностью делянок первого (ошибка I) и второго (ошибка II) порядков.

*Пример.* Обратимся к эксперименту, схема которого представлена на рисунке 102. Он включает два фактора: сорт ( $A$ ) в двух градациях (0 и 1;  $l_A=2$ ) и уровень минерального питания ( $B$ ) четырех видов (0, 1, 2, 3;  $l_B=4$ ). Варианты размещены в трех блоках, которые в данном случае являются повторениями ( $n=3$ ). Общее число наблюдений (количество субделянок) – 24 ( $N=l_A \times l_B \times n = 2 \times 4 \times 3 = 24$ ). Сгруппируем данные в исходную таблицу (табл. 110) и произведем вычисление сумм и средних значений по субделянкам, главным делянкам и блокам (повторениям).

При дисперсионном анализе в первую очередь определяют *источники вариации и степени свободы* для них. Для общего варьирования число степеней свободы (общее) будет на единицу меньше, чем количество субделянок в опыте –  $N-1 = (l_A \times l_B \times n) - 1 = (2 \times 4 \times 3) - 1 = 24-1 = 23$ . Общее варьирование расчленяется на варьирование:

Таблица 110 – Влияние уровня минерального питания на урожайность сортов риса, т/га

Вариант		Блок (повторение), $X$			Сумма	Среднее	
сорт ( $A$ )	уровень минерального питания ( $B$ )	1	2	3			
$a_0$	$b_0$	3,5	3,4	3,3	10,2	3,4	
	$b_1$	3,9	3,8	3,8	11,5	3,8	
	$b_2$	5,3	5,7	5,6	16,6	5,5	
	$b_3$	4,8	4,6	4,9	14,3	4,8	
Сумма главной делянки ( $A_0$ )		17,5	17,5	17,6	52,6	4,4	
$a_1$	$b_0$	4,7	4,0	5,3	14,0	4,7	
	$b_1$	5,1	6,1	6,7	17,9	6,0	
	$b_2$	6,7	6,4	8,2	21,3	7,1	
	$b_3$	7,0	7,4	7,8	22,2	7,4	
Сумма главной делянки ( $A_1$ )		23,5	23,9	28,0	75,4	6,3	
Сумма блоков ( $Y$ )		41,0	41,4	45,6	128,0	5,4	
		Уровень минерального питания					
		$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$		
Сумма ( $B$ )		24,2	29,4	37,9	36,5		
Средние ( $B$ )		4,1	4,9	6,3	6,1		

Пояснение:

Сумма по главной делянке ( $A_0$ ) –  $3,5+3,9+5,3+4,8 = 17,5$  и т. д.

Сумма по главной делянке ( $A_1$ ) –  $4,7+5,1+6,7+7,0=23,5$  и т. д.

Сумма по блоку ( $Y$ ) –  $17,5+23,5=41,0$  и т. д.

Сумма по  $B$  –  $B_0=10,2+14,0=24,2$ ;  $B_1=11,5+17,9=29,4$ ;  $B_2=16,6+21,3=37,9$ ;

$B_3=14,3+22,2=36,5$ .

– главных делянок, поскольку при их расчленении получают степени свободы для ошибки главных делянок; степени свободы для него определяют в соответствии со схемой их расположения –  $(l_A \times n) - 1 = (2 \times 3) - 1 = 6 - 1 = 5^{37}$ ;

– по повторениям (вызванное, главным образом, различиями местоположения, почв, рельефа) –  $n - 1 = 3 - 1 = 2$ ;

– обусловленное влиянием фактора, размещенного на главных делянках (в нашем примере это различия, обусловленные биологическими особенностями сортов – фактор  $A$ ) –  $l_A - 1 = 2 - 1 = 1$ ;

– случайным варьированием на главных делянках или ошибкой главных делянок; степени свободы для него –  $(l_A - 1) \times (n - 1) = (2 - 1) \times (3 - 1) = 1 \times 2 = 2$ ;

– обусловленное влиянием фактора, размещенного на субделянках (в нашем примере это различия, обусловленные влиянием уровня минерального питания – фактор  $B$ ); степени свободы –  $(l_B - 1) = (4 - 1) = 3$ ;

– взаимодействием факторов ( $A \times B$ ); степени свободы –  $(l_A - 1) \times (l_B - 1) = (2 - 1) \times (4 - 1) = 1 \times 3 = 3$ ;

– случайным варьированием на субделянках или ошибкой субделянок; степени свободы определяют сложением степеней свободы для взаимодействий: блоки  $\times$  фактор  $B$  и блоки  $\times$  фактор  $A \times$  фактор  $B$  –  $(n - 1) \times (l_B - 1) + (n - 1) \times (l_A - 1) \times (l_B - 1) = (3 - 1) \times (4 - 1) + (3 - 1) \times (2 - 1) \times (4 - 1) = (2 \times 3) + (2 \times 1 \times 3) = 6 + 6 = 12$  или же вычитанием из числа степеней свободы для общего варьирования степени для источников вариации:  $23 - 5 - 3 - 3 = 12$ .

Вычисляем:

1) корректирующий фактор ( $C$ ):

$$C = \frac{(X)^2}{(l_A \times l_B \times n)} = \frac{(3,5 + 3,4 + 3,3 + \dots + 4,8 + 4,6 + 4,9 + 4,7 + 4,0 + 5,3 + 7,0 + 7,4 + 7,8)^2}{(2 \times 4 \times 3)} = 682,67;$$

2) суммы квадратов и средние квадраты:

– для субделянок (общую,  $C_Y$ )

$$C_Y = \sum X^2 - C = (3,5^2 + 3,4^2 + 3,3^2 + \dots + 4,8^2 + 4,6^2 + 4,9^2 + 4,7^2 + 4,0^2 + 5,3^2 + 7,0^2 + 7,4^2 + 7,8^2) - 682,67 = 48,25;$$

– для главных делянок ( $C_{AA}$ )

$$C_{AA} = \frac{\sum AA^2}{l_B} - C = \frac{(17,5^2 + 17,5^2 + 17,6^2 + 23,5^2 + 23,9^2 + 28,0^2)}{4} - 682,67 = 24,76;$$

– повторений или блоков ( $C_P$ )

$$C_P = \frac{\sum P^2}{(l_A \times l_B)} - C = \frac{(41,0^2 + 41,4^2 + 45,6^2)}{(2 \times 4)} - 682,67 = 1,62;$$

– для фактора  $A$  (сортов,  $C_A$ )

$$C_A = \frac{\sum A^2}{(l_B \times n)} - C = \frac{[(52,6^2 + 75,4^2) / (4 \times 3)] - 682,67}{1} = 21,66;$$

– для ошибки главных делянок ( $C_{ZI}$ , ошибка I)

$$C_{ZI} = C_{AA} - C_P - C_A = 24,76 - 1,62 - 21,66 = 1,48;$$

– для фактора  $B$  (уровень минерального питания,  $C_B$ )

$$C_B = \frac{\sum B^2}{(l_A \times n)} - C = \frac{[(24,2^2 + 29,4^2 + 37,9^2 + 36,5^2) / (4 \times 3)] - 682,67}{1} = 20,44;$$

– для взаимодействия факторов  $A \times B$

$$C_{AB} = \frac{[(\sum V^2 / n) - C] - C_A - C_B}{1} = \frac{[(10,2^2 + 11,5^2 + 16,6^2 + 14,3^2 + 14,0^2 + 17,9^2 + 21,3^2 + 22,2^2) / 3] - 682,67 - 21,66 - 20,44}{1} = 1,66;$$

<sup>37</sup> Обратите внимание, что при размещении вариантов по схеме рандомизированных повторений (блоков) степени свободы для повторений (блоков) –  $n - 1 = 3 - 1$ ; фактора  $A$  –  $l_a - 1 = 2 - 1$ .

– для ошибки субделенок и взаимодействия ( $C_{\text{II}}$ , ошибка II)

$$C_{\text{II}} = C_Y - C_{AA} - C_B - C_{AB} = 48,25 - 24,76 - 20,44 - 1,66 = 1,39.$$

Средние квадраты вычисляются путем деления суммы квадратов на соответствующее число степеней свободы для каждого источника варьирования. Результаты заносим в таблицу 111.

Таблица 111 – Сводная таблица дисперсионного анализа эксперимента поставленного методом расщепленных делянок

Источник варьирования	Степени свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	$F_{\text{факт}}$	$F_{05}$	$F_{01}$
Субделенка ( $C_Y$ )	23,00	48,25	-	-	-	
Главные делянки	5	24,76	-	-	-	
Блоки (повторения) ( $C_P$ )	2	1,62	0,81	1,09	19,00	99,00
Сорт (фактор $A$ )	1	21,66	21,66	29,27	18,51	98,50
Ошибка I (для главных делянок)	2	1,48	0,74	-	-	-
Уровень минерального питания (фактор $B$ )	3	20,44	6,81	56,75	3,49	5,95
Взаимодействие ( $A \times B$ )	3	1,66	0,55	4,58	3,49	5,95
Ошибка II (для субделенок и взаимодействия)	12,00	1,39	0,12	-	-	

Существенность действия и взаимодействия факторов устанавливаются на основании  $F$ -критерия, который рассчитывается делением среднего квадрата источника дисперсии на средний квадрат ошибки. Действие фактора, размещенного на главных делянках (сорт,  $A$ ), проверяется на основе среднего квадрата ошибки главных делянок (ошибка I), фактора  $B$  (уровень минерального питания) и взаимодействия  $A \times B$  (сорт  $\times$  уровень минерального питания) – среднего квадрата ошибки субделенок (ошибка II):

– для повторений –  $F_{\text{факт.}} = 0,81 / 0,74 = 1,09$

– для фактора  $A$  –  $F_{\text{факт.}} = 21,66 / 0,74 = 29,27$

– для фактора  $B$  –  $F_{\text{факт.}} = 6,81 / 0,12 = 56,75$

– для взаимодействия  $A \times B$  –  $F_{\text{факт.}} = 0,55 / 0,12 = 4,58$ .

Теоретические значения  $F$ -критерия определяют по справочным таблицам или в программе Excel, используя функцию FРАСПОБР или F.ОБР.ПХ, аргументами которой являются выбранная вероятность; число степеней свободы для факторов  $A$ ,  $B$  и взаимодействия  $A \times B$ ; число степеней свободы для ошибки I или ошибки II. Сравнивая фактические и теоретические значения критерия Фишера ( $F$ -критерия), устанавливаем значимость (достоверность влияния) на результирующий признак (урожайность) фактора  $A$ ,  $B$  и взаимодействия  $A \times B$  на 5 % и 1 % уровне значимости ( $F_{\text{факт.}} > F_{05}$  и  $> F_{01}$ ).

Завершается дисперсионный анализ выявлением существенных средних и оценкой частных различий. Воспользуемся для этого  $HCP$  (наименьшей существенной разностью). Стандартные ошибки для этих оценок вычисляются на основе вариабельности между экспериментальными единицами, по кото-

рым размещают варианты. В опытах, заложенных по схеме расщепленных делянок, расчеты стандартной ошибки для необходимых сравнений вариантов усложняются в связи с тем, что мы имеем два источника экспериментальной ошибки: одна из них относится к главной делянке, а другая – к субделянкам.

В опыте, поставленном по схеме расщепленных делянок, выделяют несколько *HCP*, что обусловлено наличием двух ошибок: для главных делянок (ошибка I) и субделянок (ошибка II). Стандартная ошибка для сравнения средних по вариантам субделянок внутри главных делянок включает только ошибку субделянок, однако если сравнение средних субделянок производится для различных главных делянок, то стандартная ошибка включает как ошибку субделянок, так и ошибку главных делянок.

Для оценки существенности главных эффектов вычисляем:

– *HCP* для главного эффекта фактора А (сорт)

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s_I^2}{n \cdot l_B}} = \sqrt{\frac{0,74}{3 \cdot 4}} = 0,25 \text{ т/га}$$

$$s_d = \sqrt{\frac{2 \cdot s_I^2}{n \cdot l_B}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,74}{3 \cdot 4}} = 0,35 \text{ т/га}$$

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot s_d = 4,30 \cdot 0,35 = 1,51 \text{ т/га},$$

значения  $t_{05}$  находим в Excel посредством функции СТЬЮДРАСПОБР или СТЬЮДЕНТ.ОБР.2Х для вероятности 0,05 и числа степеней свободы остаточной дисперсии.

$HCP_{05} = 1,51$  т/га используют для оценки значимости среднего (главного) эффекта сорта А независимо от уровня минерального питания:  $A_1 - A_0 = 6,3 - 4,4 = 1,9$  т,  $1,9 > 1,51$ , следовательно, сорт, размещенный на главной делянке  $A_1$  более отзывчив на удобрения, чем  $A_0$ .

– *HCP* для главного эффекта фактора В (уровень минерального питания)

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s_{II}^2}{n \cdot l_A}} = \sqrt{\frac{0,12}{3 \cdot 2}} = 0,14 \text{ т/га}$$

$$s_d = \sqrt{\frac{2 \cdot s_{II}^2}{n \cdot l_A}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,12}{3 \cdot 2}} = 0,20 \text{ т/га}$$

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot s_d = 2,18 \cdot 0,20 = 0,44 \text{ т/га}$$

$HCP_{05} = 0,44$  т/га используют для оценки значимости среднего (главного) эффекта уровня минерального питания В независимо от сорта:  $V_1 - V_0 = 4,9 - 4,1 = 0,8$  т,  $V_2 - V_0 = 6,3 - 4,1 = 2,2$  т,  $V_3 - V_0 = 6,1 - 4,1 = 2,0$  т,  $V_2 - V_1 = 6,3 - 4,9 = 1,4$  т,  $V_3 - V_1 = 6,1 - 4,9 = 1,2$  т,  $V_2 - V_3 = 6,3 - 6,1 = 0,2$  т. Все проанализированные различия, за исключением  $V_2 - V_3$ , существенны, что указывает на рост урожайности обоих сортов при повышении обеспеченности растений до  $V_2$ . Дальнейшее повышение уровня минерального питания не обеспечивает роста урожайности.

Для оценки существенности частных различий вычисляем:

– *HCP* для оценки различий между вариантами субделянок внутри одной главной делянки

$$s_x^I = \sqrt{\frac{s_{II}^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,12}{3}} = 0,20 \text{ т/га}$$

$$s_d^I = \sqrt{\frac{2 \cdot s_{II}^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,12}{3}} = 0,28 \text{ т/га}$$

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot s_d = 2,18 \cdot 0,28 = 0,61 \text{ т/га,}$$

$HCP_{05}=0,61$  т/га используют для оценки значимости разности между частными средними по главным делянкам (первого порядка) – различия в реакции сортов на одном уровне минерального питания. Оценивают следующие различия:  $a_1b_0 - a_0b_0=4,7-3,4=1,3$  т;  $a_1b_1 - a_0b_1=6,0-3,8=2,2$  т,  $a_1b_2 - a_0b_2=7,1-5,5=1,6$  т,  $a_1b_3 - a_0b_3=7,4-4,8=2,6$  т.

–  $HCP$  для оценки различий между вариантами субделянок разных главных делянок

$$s_x^{II} = \sqrt{\frac{(l_B - 1) \cdot s_{II}^2 + s_I^2}{n \cdot l_B}} = \sqrt{\frac{(4 - 1) \cdot 0,12 + 0,74}{3 \cdot 4}} = 0,30 \text{ т/га}$$

$$s_d^{II} = \sqrt{\frac{2 \cdot [(l_B - 1) \cdot s_{II}^2 + s_I^2]}{n \cdot l_B}} = \sqrt{\frac{2 \cdot [(4 - 1) \cdot 0,12 + 0,74]}{3 \cdot 4}} = 0,43 \text{ т/га}$$

$$t_{ab} = \frac{(l_B - 1) \cdot s_{II}^2 \cdot t_b + s_I^2 \cdot t_a}{(l_B - 1) \cdot s_{II}^2 + s_I^2} = \frac{(4 - 1) \cdot 0,12 \cdot 2,18 + 0,74 \cdot 4,30}{(4 - 1) \cdot 0,12 + 0,74} = 3,61,$$

где  $t_{ab}$  – средневзвешенная величина  $t$ , занимающая промежуточное положение между значениями  $t_a$  ( $t$ -критерий, используемый при оценке различий по главным делянкам) и  $t_b$  ( $t$ -критерий, используемый при оценке различий по субделянкам делянкам).

$$HCP_{05} = t_{ab} \cdot s_d^{II} = 3,61 \cdot 0,43 = 1,55 \text{ т/га.}$$

$HCP_{05}=1,55$  т/га используют для оценки значимости разности между частными средними по субделянкам (второго порядка) – реакция сорта на уровень минерального питания. Оценивают следующие различия:  $a_0b_1 - a_0b_0=3,8-3,4=0,4$  т;  $a_1b_1 - a_1b_0=6,0-4,7=1,3$  т,  $a_1b_2 - a_1b_3=7,1-7,4= -0,3$  т,  $a_0b_3 - a_0b_2=4,8-5,5= -0,7$  т и т. д.

Если бы все восемь сочетаний этих факторов были случайно размещены внутри каждого блока, то мы имели бы схему рендомизированных блоков. Сумма квадратов ошибки при этом составила бы  $-C_Z = C_{ZI} + C_{ZII} = 1,48+1,39=2,87$  при 14 степенях свободы ( $2+12=14$ ), средний квадрат ошибки  $-s^2 = 2,87 : 14 = 0,205$  и  $HCP_{05}$  для всех сравнений вариантов равнялась бы:

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot s^2}{n}} = 2,14 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2,87}{3}} = 2,14 \cdot 0,37 = 0,79 \text{ т/га,}$$

где  $t_{05}$  – табличная величина для 14 степеней свободы и 5%-ного уровня значимости.

Сравнение рассчитанных выше  $HCP$  показывает относительную эффективность двух схем по выявлению эффектов вариантов. Следует от-

метить повышенную «чувствительность» (меньшие величины *HCP*) схемы расщепленных делянок для оценки средних вариантов субделянок и сравнения вариантов субделянок внутри одной главной делянки, но пониженную точность (большие величины *HCP*) при сравнении вариантов главных делянок и вариантов субделянок, расположенных поперек главных делянок.

Результаты этого эксперимента можно представить в виде данных таблицы 112.

Таблица 112 – Урожайность риса в зависимости от сорта и уровня минерального питания, т/га

Сорт ( <i>A</i> )	Уровень минерального питания ( <i>B</i> )				Среднее по фактору <i>A</i> <i>HCP</i> <sub>05</sub> =1,51
	<i>b</i> <sub>0</sub>	<i>b</i> <sub>1</sub>	<i>b</i> <sub>2</sub>	<i>b</i> <sub>3</sub>	
<i>a</i> <sub>0</sub>	3,4	3,8	5,5	4,8	4,4
<i>a</i> <sub>1</sub>	4,7	6	7,1	7,4	6,3
Среднее по фактору <i>B</i> <i>HCP</i> <sub>05</sub> =0,44	4,1	4,9	6,3	6,1	

*HCP*<sub>05</sub> для сортов и одного уровня минерального питания =0,61 т/га.

*HCP*<sub>05</sub> для сортов и разных уровней минерального питания =1,55 т/га.

При значительном взаимодействии факторов в таблице 112 общие средние для воздействия сортов и уровней минерального питания можно не приводить, поскольку они не имеют значения (нелогичны).

В заключение еще раз подчеркнем, что схема расщепленных делянок часто отвечает требованиям факториальной группы вариантов. Схема включает случайное размещение вариантов одного фактора или сочетания факторов на главных делянках, которые затем расщепляются на субделянки для случайного размещения вариантов другого фактора или сочетания факторов. В сравнении со схемой рендомизированных блоков точность сравнения вариантов главных делянок и вариантов субделянок разных главных делянок снижается, однако повышается точность сравнения вариантов субделянок и вариантов субделянок, расположенных внутри одной главной делянки.

#### 5.7.4.2.3.2. Схема расщепленных делянок, сплит-сплит-плот (трехфакторный опыт)

Добавление третьего фактора в схему расщепленных делянок (сплит-плот) путем расщепления субделянок дает схему сплит-сплит-плот. Эта схема очень часто используется для трехфакторных экспериментов с целью облегчения полевых работ или в случае необходимости компактного расположения всех сочетаний вариантов. Всякая модификация схемы расщепленных делянок вносит дополнительные значения величины экспериментальной ошибки, которые следует использовать для оценки тех или иных эффектов вариантов. Поэтому важно расположить факторы таким образом, чтобы получить самую высокую точность оценки

взаимодействия и средних эффектов вариантов, представляющих для экспериментатора наибольший интерес.

Дополнительное ограничение рендомизации вызывает необходимость расчета третьей величины ошибки, используемой при оценке главных эффектов фактора, размещаемого на делянках второго расщепления (суб-субделянка), и для всех взаимодействий, включающих этот фактор. В отношении технической стороны расположения экспериментальных единиц эта схема дает определенные преимущества, однако необходимость использовать специальный термин для обозначения третьей ошибки может значительно усложнить выявление существенных средних.

Принципы рендомизации остаются теми же, что и для сплит-плот схемы, но проводится расщепление субделянок по числу градаций третьего фактора, на суб-субделянки, на которых проводят его случайное размещение, т. е. используют новую рендомизацию вариантов для каждого комплекта суб-субделянок (рис. 103).

Разберем процедуру статистической оценки результатов эксперимента, заложенного по схеме сплит-сплит-плот изучения эффективности борьбы с тлей на сахарной свекле, на примере, приведенном Т. Литтл и Ф. Хиллз (1981). Главные делянки, предназначенные для определения сроков посева ( $A_0, A_1, A_2$ ), расположены по схеме рендомизированных блоков (I, II, III, IV). На субделянках определяли влияние тли на рост сахарной свеклы:  $b_0$  – без обработки и  $b_1$  – с применением препарата против тли. На суб-субделянках изучались влияния сроков уборки ( $c_0, c_1, c_2$ ). Оценка влияния факторов и их взаимодействия велась на основании урожайности. Дисперсионный комплекс состоит из 3 факторов ( $A, B$  и  $C$ ), число градаций фактора  $A - l_a=3, B - l_b=2, C - l_c=3$  и 4-х повторений (блоков)  $n=4$ .

<div style="text-align: center;"> <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">I</span>            Блок         </div>		Основная делянка $A_1$ $A_2$ $A_3$			<div style="text-align: center;"> <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">II</span> </div>					
Субделянка	<div style="text-align: center;"> <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">III</span>  <math>B_1 C_1</math> </div>	$B_3 C_2$	$A_2 B_1 C_1$	$A_2 B_1 C_3$	$A_2 B_1 C_2$	<div style="text-align: center;"> <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">IV</span> </div>				
Субделянка	$B_2 C_1$	$B_1 C_2$	$B_3 C_1$	$A_2 B_2 C_2$	$A_2 B_2 C_1$		$A_2 B_2 C_3$	Суб-субделянка		

Рис. 103. Общий вид сплит-сплит-плот схемы эксперимента

Экспериментальные данные заносим в исходную таблицу (табл. 113) и производим вычисление сумм и средних значений по суб-субделянкам, субделянкам, главным деланкам и блокам (повторениям), суммы двусторонних взаимодействий и главных эффектов.

Таблица 113 – Урожайность сахарной свеклы, т/га

Вариант			Блок (повторение), X				Сум- ма	Сред- нее	Код
A	B	C	1	2	3	4			
a0	b0	c0	25,7	25,4	23,8	22,0	96,9	24,2	a0b0c0
		c1	31,8	29,5	28,7	26,4	116,4	29,1	a0b0c1
		c2	34,6	37,2	29,1	23,7	124,6	31,2	a0b0c2
Сумма по повторению по субделянке a0b0			92,1	92,1	81,6	72,1	337,9	28,2	
	b1	c0	27,7	30,3	30,2	33,2	121,4	30,4	a0b1c0
		c1	38,0	40,6	34,6	31,0	144,2	36,1	a0b1c1
		c2	42,1	43,6	44,6	42,7	173,0	43,3	a0b1c2
Сумма по повторению по субделянке a0b1			107,8	114,5	109,4	106,9	438,6	36,6	
Сумма по главной деланке (A0)			199,9	206,6	191,0	179,0	776,5		
a1	b0	c0	28,9	24,7	27,8	23,4	104,8	26,2	a1b0c0
		c1	37,5	31,5	31,0	27,8	127,8	32,0	a1b0c1
		c2	38,4	32,5	31,2	29,8	131,9	33,0	a1b0c2
Сумма по повторению по субделянке a1b0			104,8	88,7	90	81	364,5	30,4	
	b1	c0	38,0	31,0	29,5	30,7	129,2	32,3	a1b1c0
		c1	36,9	31,9	31,5	35,9	136,2	34,1	a1b1c1
		c2	44,2	41,6	38,9	37,6	162,3	40,6	a1b1c3
Сумма по повторению по субделянке a1b1			119,1	104,5	99,9	104,2	427,7	35,7	
Сумма по главной деланке (A1)			223,9	193,2	189,9	185,2	792,2		
a2	b0	c0	23,4	24,2	21,2	20,9	89,7	22,4	a2b0c0
		c1	25,3	27,7	23,7	24,3	101,0	25,3	a2b0c1
		c2	29,8	29,9	24,3	23,8	107,8	27,0	a2b0c2
Сумма по повторению по субделянке a2b0			78,5	81,8	69,2	69	298,5	24,9	
	b1	c0	20,8	23,0	25,2	23,1	92,1	23,0	a2b1c0
		c1	29,0	32,0	26,5	31,2	118,7	29,7	a2b1c1
		c2	36,6	37,8	34,8	40,2	149,4	37,4	a2b1c2
Сумма по повторению по субделянке a2b1			86,4	92,8	86,5	94,5	360,2	30,0	
Сумма по главной деланке (A2)			164,9	174,6	155,7	163,5	658,7		
Сумма по блоку (P)			588,7	574,4	536,6	527,7	2227,4		

Пояснение:

Сумма повторений и среднее по суб-субделянкам –  $25,7+25,4+23,8+22,0=96,9$  и  $96,9 : 4=24,2$ ;  $36,6+37,8+34,8+40,2=149,4$  и  $149,4 : 4 = 37,4$ ;

Сумма по повторению по субделянкам:  $a0b0 = 25,7+31,8+34,6=92,1$ ; ...  
 $22,0+26,4+23,7=71,1$ ;  $a0b1 = 27,7+38,0+42,1=107,8$ ; ...  
 $33,2+31,0+42,7=106,9$  и т. д.

Сумма по главной делiance ( $A0$ ) –  $92,1+107,8=199,9$  и т. д.

Сумма по главной делiance ( $A1$ ) –  $104,8+119,1=223,9$  и т. д.

Сумма по главной делiance ( $A2$ ) –  $78,5+86,4=164,9$  и т. д.

Сумма по блоку ( $P$ ) –  $199,9+223,9+164,9=588,7$  и т. д.

Сумма для двусторонних взаимодействий:

–  $A \times B$ :  $a0b0 = 96,9+116,4+124,6=337,9$   
 $a0b1 = 121,4+144,2+173,0 = 438,6$   
 $a1b0 = 104,8+127,8+131,9 = 364,5$   
 $a1b1 = 129,2+136,2+162,3 = 427,7$   
 $a2b0 = 89,7+101,0+107,8 = 298,5$   
 $a2b1 = 92,1+118,7+149,4 = 360,2$

–  $A \times C$ :  $a0c0 = 96,9+121,4 = 218,3$   
 $a0c1 = 116,4 +144,4 = 260,6$   
 $a0c2 = 124,6 +173,0 = 297,6$   
 $a1c0 = 104,8 +129,2 = 234,0$   
 $a1c1 = 127,8+136,2 = 264,0$   
 $a1c2 = 131,9 +162,3 = 294,2$   
 $a2c0 = 89,7+92,1 = 181,8$   
 $a2c1 = 101,0+118,7 = 219,7$   
 $a2c2 = 107,8+149,4 = 257,2$

–  $B \times C$ :  $b0c0 = 96,9+104,8+89,7 = 291,4$   
 $b0c1 = 116,4+127,8+101,0 = 345,2$   
 $b0c2 = 124,6+131,9+107,8 = 364,3$   
 $b1c0 = 121,4+129,2+92,1 = 342,7$   
 $b1c1 = 144,4+136,2+118,7 = 399,1$   
 $b1c2 = 173,0+162,3+149,4 = 484,7$ .

Сумма для главных эффектов:

–  $A$ :  $a0 = 337,9+438,6 = 776,5$   
 $a1 = 364,5+427,7 = 792,2$   
 $a2 = 298,5+360,2 = 658,7$

–  $B$ :  $b0 = 337,7+364,5+298,5 = 1000,9$   
 $b1 = 438,6+427,7+360,2 = 1226,5$

–  $C$ :  $c0 = 96,9+121,4+104,8+129,2+87,9+92,1 = 634,1$   
 $c1 = 116,4+144,2+127,8+136,2+101,1+118,7 = 744,3$   
 $c2 = 124,6+173,0+131,9+162,3+107,8+149,4 = 658,7$

Суммы для двусторонних взаимодействий и главных эффектов за-  
носятся в таблицу 114.

Устанавливаем источники варьирования и степени свободы для них.  
Для общего (в некоторых источниках его называют суб-субделянок) варьирова-  
ния число степеней свободы (общее) будет на единицу меньше, чем  
количество суб-субделянок в опыте –  $N-1 = (l_a \times l_b \times l_c \times n) - 1 = (3 \times 2 \times 3$   
 $\times 4) - 1 = 72-1 = 71$ . Общее варьирование расчленяется на варьирование:

– субделянок –  $(l_a \times l_b \times n) - 1 = (3 \times 2 \times 4) - 1 = 24-1 = 23$ ;  
– главных делiance –  $(l_a \times n) - 1 = (3 \times 4) - 1 = 12-1 = 11$ ;

Таблица 114 – Суммы для двусторонних взаимодействий и главных эффектов

Суммы для двусторонних взаимодействий								
$A \times B$			$A \times C$			$B \times C$		
	$b0$	$b1$	$c0$	$c1$	$c2$		$b0$	$b1$
$a0$	337,9	438,6	218,3	260,6	297,6	$c0$	291,4	342,7
$a1$	364,5	427,7	234,0	264,0	294,2	$c1$	345,2	399,1
$a2$	298,5	360,2	181,8	219,7	257,2	$c2$	364,3	484,7
Суммы для главных эффектов								
$A$			$B$			$C$		
$a0$	$a1$	$a2$	$b0$	$b1$	$c0$	$c1$	$c2$	
776,5	792,2	658,7	1000,9	1226,5	634,1	744,3	849,0	

- повторений (блоков) –  $n - 1 = 4 - 1 = 3$ ;
- фактора, размещенного на главных делянках (в нашем примере это различия, обусловленные сроком посева – фактор  $A$ ) –  $l_a - 1 = 3 - 1 = 2$ ;
- случайным варьированием на главных делянках (или ошибкой главных делянок – ошибка I) –  $(l_a - 1) \times (n - 1) = (3 - 1) \times (4 - 1) = 2 \times 3 = 6$ ;
- фактора, размещенного на субделянках делянках (в нашем примере это различия, обусловленные влиянием препарата для борьбы с тлей фактор  $B$ ) –  $(l_b - 1) = (2 - 1) = 1$ ;
- взаимодействием факторов ( $A \times B$ ); степени свободы –  $(l_a - 1) \times (l_b - 1) = (3 - 1) \times (2 - 1) = 2 \times 1 = 2$ ;
- случайным варьированием на субделянках (или ошибкой субделянок – ошибка II); степени свободы определяют сложением степеней свободы для взаимодействий: блоки  $\times$  фактор  $B$  и блоки  $\times$  фактор  $A \times$  фактор  $B$  –  $[(n - 1) \times (l_b - 1)] + [(n - 1) \times (l_a - 1) \times (l_b - 1)] = [(4 - 1) \times (2 - 1)] + [(4 - 1) \times (3 - 1) \times (2 - 1)] = (3 \times 1) + (3 \times 2 \times 1) = 3 + 6 = 9$  или же вычитанием из числа степеней свободы для варьирования субделянок степени свободы для источников вариации:  $23 - 11 - 1 - 2 = 9$ .
- фактора, размещенного на суб-субделянках делянках (в нашем примере это различия, обусловленные влиянием срока уборки фактор  $C$ ) –  $(l_c - 1) = (3 - 1) = 2$ ;
- взаимодействием факторов ( $A \times C$ ); степени свободы –  $(l_a - 1) \times (l_c - 1) = (3 - 1) \times (3 - 1) = 2 \times 2 = 4$ ;
- взаимодействием факторов ( $B \times C$ ); степени свободы –  $(l_b - 1) \times (l_c - 1) = (2 - 1) \times (3 - 1) = 1 \times 2 = 2$ ;
- взаимодействием факторов ( $A \times B \times C$ ); степени свободы –  $(l_a - 1) \times (l_b - 1) \times (l_c - 1) = (3 - 1) \times (2 - 1) \times (3 - 1) = 2 \times 1 \times 2 = 4$ ;
- случайным варьированием на суб-субделянках (или ошибкой суб-субделянок – ошибка III); степени свободы определяют сложением степеней свободы для взаимодействий: блоки  $\times$  фактор  $C$ , блоки  $\times$  фактор  $A \times$  фактор  $C$ , блоки  $\times$  фактор  $B \times$  фактор  $C$  и блоки  $\times$  фактор  $A \times$  фактор  $B \times$  фактор  $C$  –  $[(n - 1) \times (l_c - 1)] + [(n - 1) \times (l_a - 1) \times (l_c - 1)] + [(n - 1) \times (l_b - 1) \times (l_c - 1)] + [(n - 1) \times (l_a - 1) \times (l_b - 1) \times (l_c - 1)] = (3 \times 2) + (3 \times 4) + (3 \times 2) \times (3 \times 4) = 36$  или же вычитанием из числа степеней свободы для варьирования субделянок степени свободы для источников вариации:  $71 - 23 - 2 - 4 - 2 - 4 = 36$ .

Если бы 18 вариантов этого эксперимента были размещены по схеме рандомизированных блоков, то мы имели бы одну величину ошибки с числом степеней свободы  $df=(n-1) \times [(l_a \times l_b \times l_c) - 1] = 3 \times 17 = 51$ , что составляет сумму степеней свободы для трех ошибок, т. е.  $6+9+36=51$ . Таким образом, расщепление делянок приводит к расчленению степеней свободы и суммы квадратов для ошибки на компоненты, имеющие меньшее число степеней свободы и обычно меньший средний квадрат для каждой последующей величины ошибки.

Вычисляем:

1) корректирующий фактор (C):

$$C = (X)^2 / (l_a \times l_b \times l_c \times n) = (25,7+25,4+23,8+22,0 + \dots + 36,6+37,8+34,8+40,4)^2 / (3 \times 2 \times 3 \times 4) = 68907,09;$$

2) суммы квадратов и средние квадраты:

– для суб-субделянок (общую,  $C_Y$ )

$$C_Y = \Sigma X^2 - C = (25,7^2+25,4^2+23,8^2+22,0^2 + \dots + 36,6^2+37,8^2+ 34,8^2+40,4^2) - 68907,09 = 2840,61;$$

– для субделянок ( $C_{AB}$ )

$$C_{AB} = \Sigma X^2 - C = (92,1^2+92,1^2+81,6^2+72,1^2+107,8^2 + \dots + 69,0^2+86,4^2+92,8^2+86,5^2+94,5^2) - 68907,09 = 1524,82;$$

– для главных делянок ( $C_{AA}$ )

$$C_{AA} = \Sigma A^2 / (l_b \times l_c) - C = (199,9^2+206,6^2+ 191,0^2+179,0^2+223,9^2+193,2^2+189,9^2+ 185,2^2+164,9^2+ 174,6^2+155,7^2+163,5^2) / (2 \times 3) - 68907,09 = 698,91;$$

– повторений или блоков ( $C_P$ )

$$C_P = \Sigma P^2 / (l_a \times l_b \times l_c) - C = (588,7^2+574,4^2+536,6^2+527,7^2) / (3 \times 2 \times 3) - 68907,09 = 143,46;$$

– для фактора A (сроки посева,  $C_A$ )

$$C_A = \Sigma A^2 / (l_b \times l_c \times n) - C = [(776,5^2+792,2^2+658,7^2) / (2 \times 3 \times 4)] - 68907,09 = 443,69;$$

– для ошибки главных делянок ( $C_{ZI}$ , ошибка I)

$$C_{ZI} = C_{AA} - C_P - C_A = 698,91 - 143,46 - 443,69 = 111,76;$$

– для фактора B (обработка против тли,  $C_B$ )

$$C_B = \Sigma B^2 / (l_a \times l_c \times n) - C = [(1000,9^2+1226,5^2) / (3 \times 3 \times 4)] - 68907,09 = 706,88;$$

– для взаимодействия факторов A×B

$$C_{A \times B} = [(\Sigma V^2 / (l_c \times n)) - C - C_A - C_B] = [(337,9^2+438,6^2+364,5^2+427,7^2+298,5^2+360,2^2) / (3 \times 4)] - 68907,09 - 443,69 - 706,88 = 40,69$$

– для ошибки субделянок и взаимодействия ( $C_{ZII}$ , ошибка II)

$$C_{ZII} = C_{AB} - C_{AA} - C_B - C_{A \times B} = 1524,82 - 698,91 - 706,88 - 40,69 = 78,34.$$

– для фактора C (сроки уборки,  $C_C$ )

$$C_C = \Sigma C^2 / (l_a \times l_b \times n) - C = [(634,1^2 + 744,3^2 + 849,0^2) / (3 \times 2 \times 4)] - 68907,09 = 962,34;$$

– для взаимодействия факторов A×C

$$C_{A \times C} = [(\Sigma(A \times C)^2 / (l_b \times n)) - C - C_A - C_C] = [(218,3^2+260,6^2+297,6^2+234,0^2+264,0^2+294,2^2 + 181,8^2+219,7^2+257,2^2) / (2 \times 4)] - 68907,09 - 443,69 - 962,34 = 13,11;$$

– для взаимодействия факторов B×C

$$C_{B \times C} = [(\Sigma(B \times C)^2 / (l_a \times n)) - C - C_B - C_C] = [(291,4^2+342,7^2 + 345,2^2+399,1^2 + 364,3^2+484,7^2) / (2 \times 4)] - 68907,09 - 706,88 - 962,34 = 127,83;$$

– для взаимодействия факторов  $A \times B \times C$   
 $C_{A \times B \times C} = (\sum V^2/n) - C - C_A - C_B - C_{A \times B} - C_C - C_{A \times C} - C_{B \times C} = [(96,9^2 + 116,4^2 + 124,6^2 + \dots + 92,1^2 + 118,7^2 + 149,4^2) / 4] - 68907,09 - 443,69 - 706,88 - 40,69 - 962,34 - 13,11 = 127,83;$

– для ошибки суб-субделянок ( $C_{III}$ , ошибка III)

$C_{III} = C_Y - C_{AB} - C_C - C_{A \times C} - C_{B \times C} - C_{A \times B \times C} = 2840,61 - 1524,82 - 962,34 - 13,11 - 127,83 - 44,001 = 168,50.$

Средние квадраты вычисляют путем деления суммы квадратов на соответствующее число степеней свободы для каждого источника варьирования.

Результаты заносим в таблицу 115.

Таблица 115 – Сводная таблица дисперсионного анализа эксперимента, поставленного методом расщепленных делянок (двойное расщепление – плит-сплит-плот)

Источник варьирования	Степени свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	$F_{\text{факт}}$	$F_{05}$	$F_{01}$
Суб-субделянки	71	2840,61				
Субделянки	23	1524,82	-		-	
Главные делянки	11	698,91	-		-	
Блоки (повторения)(P)	3	143,46	47,82	2,57	4,76	9,78
Фактор A (A)	2	443,69	221,85	11,91	5,14	10,92
Ошибка I (для главных делянок, AA)	6	111,76	18,63		-	-
Фактор B	1	706,88	706,88	81,25	5,12	10,56
Взаимодействие (A × B)	2	40,69	20,35	2,34	4,26	8,02
Ошибка II (для субделянок и взаимодействия PB+P(A × B))	9	78,34	8,70		-	
Фактор C	2	962,34	481,17	102,81	3,26	5,25
A × C	4	13,11	3,28	0,70	2,63	3,89
B × C	2	127,83	63,92	13,66	3,26	5,25
A × B × C	4	44,01	11,00	2,35	2,63	3,89
Ошибка III (суб-субделянок PC+P(A×C) + P(B×C) + P(A×B×C))	36,00	168,50	4,68			

3) *F-критерий*. Фактическое значение *F*-критерия рассчитывают обычным способом ( $F_{\text{факт.}}$  = средний квадрат источника дисперсии/средний квадрат ошибки). Средний квадрат ошибки главных делянок (ошибка I) используется для оценки эффектов фактора A (сроки посева); 2) ошибки субделянок AB (ошибка II) при проверке эффектов фактора B (обработки против тли) и взаимодействия A×B; ошибки суб-субделянок (ошибка III) для оценки оставшихся источников вариации, относящихся к вариантам суб-субделянок. Теоретические значения *F*-критерия находим в программе Excel, используя функцию ФРАСПОБР или Ф.ОБР.ПХ, аргументами которой являются выбранная вероятность, число степеней свободы для оцениваемого фактора или взаимодействия и число степеней свободы соответствующей ошибки.

Сравнивая фактические и теоретические значения критерия Фишера ( $F$ -критерия), устанавливаем значимость (достоверность влияния) на результирующий признак (урожайность) фактора  $A$ ,  $B$  и  $C$  и взаимодействия  $B \times C$  на 5 % и 1 % уровне значимости ( $F_{\text{факт}} > F_{.05}$  и  $> F_{.01}$ ).

4) *Стандартные ошибки и НСР.* Для некоторых экспериментов, заложенных по сплит-сплит-плот схеме, желательно делать оценку частных различий между определенными средними с помощью *НСР*, который вычисляется обычным способом по формуле  $НСР = t \cdot \sqrt{2 \cdot s_{\bar{x}}}$ . Для вычисления этого критерия необходимо знать соответствующие стандартные ошибки. Формулы для их расчета приведены в таблице 116.

Таблица 116 – Формулы для расчета стандартных ошибок и  $t$ -критериев для выделения существенных средних, включая варианты с фактором  $C$

Сравниваемые средние	Стандартная ошибка средних, $s_{\bar{x}}$	$t$ -значения *
1	2	3
Варианты главных делянок: А0–А1, А0–А2, А1–А2	$\sqrt{\frac{s_{ZI}^2}{n \cdot l_b \cdot l_c}}$	$t_a$
Варианты субделянок: В1–В2	$\sqrt{\frac{s_{ZII}^2}{n \cdot l_a \cdot l_c}}$	$t_b$
Варианты субделянок внутри одной главной делянки: В0А0–В1А0, В0А1–В1А1, В0А2–В1А2	$\sqrt{\frac{s_{ZII}^2}{n \cdot l_c}}$	$t_b$
Варианты субделянок для разных главных делянок: В0А0–В0А1, В1А0–В1А1, В0А1–В0А2, В1А1–В1А2, В0А0–В0А2, В1А0–В1А2, или В0А0–В1А1, В0А1–В1А2, В0А0–В1А2	$\sqrt{\frac{(l_b - 1) \cdot s_{ZII}^2 + s_{ZI}^2}{n \cdot l_b \cdot l_c}}$	$t_{ab} = \frac{(l_b - 1) \cdot s_{ZII}^2 \cdot t_b + s_{ZI}^2 \cdot t_a}{(l_b - 1) \cdot s_{ZII}^2 + s_{ZI}^2}$
Средние фактора $C$	$\sqrt{\frac{s_{ZIII}^2}{n \cdot l_a \cdot l_b}}$	$t_c$
С-средние для одного уровня $A$	$\sqrt{\frac{s_{ZIII}^2}{n \cdot l_b}}$	$t_c$
С-средние для одного уровня $B$	$\sqrt{\frac{s_{ZIII}^2}{n \cdot l_a}}$	$t_c$
В-средние для одного или разных уровней $C$	$\sqrt{\frac{(l_c - 1) \cdot s_{ZIII}^2 + s_{ZII}^2}{n \cdot l_a \cdot l_c}}$	$t_{bc} = \frac{(l_c - 1) \cdot s_{ZIII}^2 \cdot t_c + s_{ZII}^2 \cdot t_b}{(l_c - 1) \cdot s_{ZIII}^2 + s_{ZII}^2}$
А-средние для одного или разных уровней $C$	$\sqrt{\frac{(l_c - 1) \cdot s_{ZIII}^2 + s_{ZI}^2}{n \cdot l_b \cdot l_c}}$	$t_{ac} = \frac{(l_c - 1) \cdot s_{ZIII}^2 \cdot t_c + s_{ZI}^2 \cdot t_a}{(l_c - 1) \cdot s_{ZIII}^2 + s_{ZI}^2}$

1	2	3
С-средние для одного уровня А и В	$\sqrt{\frac{s_{ZIII}^2}{n}}$	$t_c$
В-средние для одного А и одного или разных уровней С	$\sqrt{\frac{(l_c - 1) \cdot s_{ZIII}^2 + s_{ZII}^2}{n \cdot l_c}}$	$t_{bc} = \frac{(l_c - 1) \cdot s_{ZIII}^2 \cdot t_c + s_{ZII}^2 \cdot t_b}{(l_c - 1) \cdot s_{ZIII}^2 + s_{ZII}^2}$
А-средние для одного или разных уровней В а С	$\sqrt{\frac{l_b \cdot (l_c - 1) \cdot s_{ZIII}^2 + (l_b - 1) \cdot s_{ZII}^2 + s_{ZI}^2}{n \cdot l_b \cdot l_c}}$	$t_{abc} = \frac{l_b \cdot (l_c - 1) \cdot t_c + (l_b - 1) \cdot s_{ZII}^2 \cdot t_b + s_{ZI}^2 \cdot t_a}{l_b \cdot (l_c - 1) + (l_b - 1) \cdot s_{ZII}^2 + s_{ZI}^2}$

\*  $t_a, t_b, t_c$  – теоретические значения t-критерия для степеней свободы  $s_{ZI}^2, s_{ZII}^2$  и  $s_{ZIII}^2$  (ошибка I, ошибка II и ошибка III) соответственно берут из таблиц или в Excel функция ФРАС-ПОБР или Ф.ОБР.ПХ. А, В и С – варианты, размещаемые на главных делянках, субделянках и суб-субделянках с градациями  $l_a, l_b, l_c$  соответственно;  $n$  – повторность;  $s_{ZI}^2, s_{ZII}^2$  и  $s_{ZIII}^2$  – средние квадраты ошибок для главных делянок, субделянок и суб-субделянок соответственно.

Результаты эксперимента можно представить в виде таблицы (табл. 117). Обычно хорошим завершением оформления результатов эксперимента считается выделение средних эффектов сочетания факторов самого высокого порядка и средних сочетаний факторов, которые в большей мере относятся к результатам опыта, наряду с вычислением необходимых исследователю  $HCP$  для оценки частных различий. Так, в нашем примере представляют интерес средние эффекты тройного взаимодействия: сроков посева  $\times$  обработки против тлей  $\times$  сроков уборки ( $A \times B \times C$ ), средние сроков посева ( $A$ ) и средние очень существенного взаимодействия ( $B \times C$ ).

Таблица 117 – Влияние сроков посева, обработки против тлей и сроков уборки на урожайность корнеплодов сахарной свеклы, т/га

Сроки посева	Обработка против тлей (опрыскивание)	Сроки уборки			Средние для сроков посева $HCP_{05}=3,0$
		27/VIII	24/IX	22/X	
$A \times B \times C$ (средние), $HCP_{05}=3,1^{*1}$ ; $HCP_{05}=3,7^{*2}$ ; $HCP_{05}=4,4^{*3}$					
2/III	Нет	24,2	29,1	31,2	32,4
	Да	30,4	36,1	43,3	
2/IV	Нет	26,2	32,0	33,0	33,0
	Да	32,3	34,1	40,6	
2/V	Нет	22,4	25,3	27,0	27,5
	Да	23,0	29,7	37,4	
$B \times C$ [Обработка против тлей $\times$ сроки уборки] (средние), $HCP_{05}=1,8^{*4}$ ; $HCP_{05}=2,1^{*5}$					
Без опрыскивания		24,3	28,8	30,4	
Опрыскивание		28,6	33,3	40,4	

$HCP_{05}$  для оценки разностей между средними:  $*^1$  – для сроков уборки при одних сроках посева и фонах опрыскивания;  $*^2$  – для фонов опрыскивания при одних сроках посева и одних или разных сроках уборки;  $*^3$  – для сроков посева для одних или разных уровней опрыскивания или сроках уборки; взаимодействие  $A \times B \times C$  незначительно на 5%-ном уровне;  $*^4$  – между сроками уборки на одном фоне опрыскивания;  $*^5$  – между фонами опрыскивания при одних или разных сроках уборки = 2,1. Взаимодействие  $B \times C$  существенно на 0,1%-ном уровне значимости.

НСР для средних сроков посева:

$$НСР_{05} = t_a \sqrt{\frac{2 \cdot s_{zI}^2}{n \cdot l_b \cdot l_c}} = 2,447 \sqrt{\frac{2 \cdot 18,63}{4 \cdot 2 \cdot 3}} = 3,0 \text{ т/га.}$$

НСР для средних сроков уборки (С) для одних сроков посева (А) и фонов опрыскивания (В). Например, разность двух средних  $A_1B_1C_1 - A_1B_1C_2$ .

$$НСР_{05} = t_c \sqrt{\frac{2 \cdot s_{zIII}^2}{n}} = 2,028 \sqrt{\frac{2 \cdot 4,68}{4}} = 3,1 \text{ т/га.}$$

$t_c$  основывается на 36 степенях свободы.

НСР для средних фонов опрыскивания (В) при одних А, одних или разных С. Например,  $A_1B_1C_1 - A_1B_2C_1$  или  $A_1B_1C_1 - A_1B_2C_2$ .

$$НСР_{05} = t_{bc} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot [(l_c - 1) \cdot s_{zIII}^2 + s_{zII}^2]}{n \cdot l_c}}$$

$$t_{bc} = \frac{(l_c - 1) \cdot s_{zIII}^2 \cdot t_c + s_{zII}^2 \cdot t_b}{(l_c - 1) \cdot s_{zIII}^2 + s_{zII}^2} = \frac{(3 - 1) \cdot 4,68 \cdot 2,028 + 8,70 \cdot 2,262}{(3 - 1) \cdot 4,68 + 8,70} = 2,141$$

$$НСР_{05} = 2,141 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot [(3 - 1) \cdot 4,68 + 8,70]}{4 \cdot 3}} = 3,7 \text{ т/га.}$$

НСР для средних сроков уборки (С) при одних или разных А и В. Например,  $A_1B_1C_1 - A_2B_1C_1$  или  $A_1B_2C_1 - A_2B_1C_1$ .

$$НСР_{05} = t_{abc} \sqrt{\frac{2 \cdot [l_b \cdot (l_c - 1) \cdot s_{zIII}^2 + (l_b - 1) \cdot s_{zII}^2 + s_{zI}^2]}{n \cdot l_b \cdot l_c}}$$

$$t_{abc} = \frac{l_b \cdot (l_c - 1) \cdot t_c + (l_b - 1) \cdot s_{zII}^2 \cdot t_b + s_{zI}^2 \cdot t_a}{l_b \cdot (l_c - 1) + (l_b - 1) \cdot s_{zII}^2 + s_{zI}^2}$$

$$= \frac{[2 \cdot (3 - 1) \cdot 2,028] + [(2 - 1) \cdot 8,70 \cdot 2,262] + 18,63 \cdot 2,447}{2(3 - 1) + (2 - 1) \cdot 8,70 + 18,63}$$

$$= 2,232$$

$$НСР_{05} = 2,232 \sqrt{\frac{2 \cdot [2 \cdot (3 - 1) \cdot 4,68 + (2 - 1) \cdot 8,70 + 18,63]}{4 \cdot 2 \cdot 3}} = 4,4 \text{ т/га.}$$

НСР для С-средних при одном уровне В. Например,  $B_1C_1 - B_1C_2$ .

$$НСР_{05} = t_c \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot s_{zIII}^2}{n \cdot l_a}} = 2,028 \sqrt{\frac{2 \cdot 4,68}{4 \cdot 3}} = 1,8 \text{ т/га.}$$

НСР для В-средних при одном или разном уровне С. Например,  $B_1C_1 - B_2C_1$  или  $B_1C_1 - B_2C_2$ .

$$НСР_{05} = t_{bc} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot [(l_c - 1) \cdot s_{zIII}^2 + s_{zII}^2]}{n \cdot l_a \cdot l_c}} = 2,141 \sqrt{\frac{2 \cdot (3 - 1) \cdot 4,68 + 8,70}{4 \cdot 3 \cdot 3}} = 2,1 \text{ т/га.}$$

*Заключение.* Сплит-сплит-плот схема представляет дальнейшее развитие схемы расщепленных делянок (сплит-плот), где субделянки расщепляют на суб-субделянки для размещения третьего фактора. Дисперсионный анализ данных опытов с такой схемой усложняется, поскольку для оценки эффектов вариантов требуется определить величины трех ошибок. Точность оценки действия фактора, размещаемого на суб-субделянках, а также эффектов взаимодействий, включающих этот фактор, обычно выше, чем оценка по другим компонентам вариантов. Три величины ошибки усложняют оценку частных различий.

#### **5.8.5. Дисперсионный анализ результатов опыта с повторными учетами (использование повторных учетов в качестве субделянок)**

*Дисперсионный анализ является самым совершенным методом статистической обработки данных. Его преимущество заключается в выделении из общего варьирования его компонентов, в расчете обобщенной ошибки всего опыта на основе большего числа наблюдений, чем индивидуальные ошибки отдельных пар вариантов в недисперсионных методах.*

**В.Е. Ещенко**

При постановке опытов с культурами, урожай которых учитывается несколько раз за сезон (сенокосы, посевы трав, отдельные овощные и ягодные культуры, например, огурец, спаржа, клубника), т. е. проводят последовательные наблюдения за одной и той же целой экспериментальной единицей в течение определенного периода времени (имеет место серия наблюдений), для оценки полученных результатов целесообразно использовать принцип схемы расщепленных делянок. Делянки, на которых размещаются варианты, могут быть названы главными делянками, а несколько уроков, производимых на них, субделянками. Необходимо, однако помнить, что такая субделянка отличается от обычной субделянки тем, что данные получают со всей площади главной делянки, а не с ее части, как в случае схемы расщепленных делянок.

При анализе данных единичных учетов или сумм учетов по всем срокам с главных делянок дополнительных проблем не возникает, т. к. алгоритм расчетов – стандартный. Однако  $F$ -критерии для оценки эффектов последовательных наблюдений и взаимодействия вариантов главных делянок и отдельных наблюдений, вариация которых отклоняется от типичного для  $F$ -оценки распределения, могут дать завышенное число существенных эффектов.

Последовательность расчетов и разъяснение интерпретации результатов таких опытов рассматриваются на примере, заимствованном у Т. Литтл и Ф. Хиллз (1981). В опыте изучались четыре сорта люцерны ( $A$ ,  $l_A=4$ ), случайно размещенных внутри пяти организованных повторений [блоков] ( $P$ ,  $l_P=5$ ), было произведено 4 укоса ( $B$ ,  $l_B=4$ ).

Результаты опыта сгруппированы и записаны в исходную таблицу дисперсионного анализа (табл. 118).

Таблица 118 – Урожайность сена люцерны (т/га) в опыте, заложенном по схеме рендомизированных блоков с четырьмя сортами ( $l_A=4$ ), пятью блоками ( $l_P=5$ ) и четырьмя укосами ( $l_B=4$ )

Вариант		Повторение [блок] (P)					Сумма, Y	Сред нее	Шифр де- лянки
сорт (A)	укос (B)	1	2	3	4	5			
1	1	2,69	2,40	3,23	2,87	3,27	14,46	2,89	a1b1
2	1	2,87	3,05	3,09	2,90	2,98	14,89	2,98	a2b1
3	1	3,12	3,27	3,41	3,48	3,19	16,47	3,29	a3b1
4	1	3,23	3,23	3,16	3,01	3,05	15,68	3,14	a4b1
Сумма повто- рений за 1-й укос		11,91	11,95	12,89	12,26	12,49	61,50	3,08	
1	2	2,74	1,91	3,47	2,87	3,43	14,42	2,88	a1b2
2	2	2,50	2,90	3,23	2,98	3,05	14,66	2,93	a2b2
3	2	2,92	2,63	3,67	2,90	3,25	15,37	3,07	a3b2
4	2	3,50	2,89	3,39	2,90	3,16	15,84	3,17	a4b2
Сумма повто- рений за 2-й укос		11,66	10,33	13,76	11,65	12,89	60,29	3,01	
1	3	1,67	1,22	2,29	2,18	2,30	9,66	1,93	a1b3
2	3	1,47	1,85	2,03	1,82	1,51	8,68	1,74	a2b3
3	3	1,67	1,42	2,81	1,51	1,76	9,17	1,83	a3b3
4	3	2,60	1,92	2,36	1,92	2,14	10,94	2,19	a4b3
Сумма повто- рений за 3-й укос		7,41	6,41	9,49	7,43	7,71	38,45	1,92	
1	4	1,92	1,45	1,63	1,60	1,96	8,56	1,71	a1b4
2	4	2,00	2,03	1,71	1,60	1,96	9,30	1,86	a2b4
3	4	2,03	1,96	1,85	1,82	2,40	10,06	2,01	a3b4
4	4	2,07	1,89	1,92	1,82	1,78	9,48	1,90	a4b4
Сумма повто- рений за 4-й укос		8,02	7,33	7,11	6,84	8,10	37,40	1,87	
Сумма повто- рений (P)		39,00	36,02	43,25	38,18	41,19	197,64	2,65	
Сорта × суммы повторений (главные делянки)									
1		9,02	6,98	10,62	9,52	10,96	47,10	9,42	
2		8,84	9,83	10,06	9,30	9,50	47,53	9,51	
3		9,74	9,28	11,74	9,71	10,60	51,07	10,21	
4		11,40	9,93	10,83	9,65	10,13	51,94	10,39	
Сумма повто- рений (P)		39,00	36,02	43,25	38,18	41,19	197,64	9,88	

На первом этапе необходимо выполнить дисперсионный анализ для каждого укоса. Расчеты выполняются в соответствии с алгоритмом для однофакторного опыта, поставленного методом рендомизированных повторений.

Для 1-го укоса:

Общее число наблюдений  $N = l_A \times l_P = 4 \cdot 5 = 20$ .

Корректирующий фактор  $C = (\sum X)^2 : N = (61,5)^2 : 20 = 189,11$ .

Степени свободы для варьирования: общего –  $N - 1 = 20 - 1 = 19$ , повторений –  $l_p - 1 = 5 - 1 = 4$ , сортов (вариантов) –  $l_A - 1 = 4 - 1 = 3$ , остаточной дисперсии  $(l_p - 1) \cdot (l_A - 1) = 4 \cdot 3 = 12$ .

Общая сумма квадратов  $C_Y = \sum X^2 - C = (2,69^2 + 2,40^2 + \dots + 3,05^2) - 189,11 = 1,1826$ .

Сумма квадратов для повторений  $C_P = \sum P^2 : l_A - C = (11,91^2 + 11,95^2 + 12,89^2 + 12,26^2 + 12,49^2) : 5 - 189,11 = 0,1676$ .

Сумма квадратов для вариантов (сортов)  $C_V = \sum V^2 : l_p - C = (14,46^2 + 14,89^2 + 16,47^2 + 15,68^2) : 5 - 189,11 = 0,4754$ .

Обычно изучаются факторы, не связанные между собой. Однако бывают ситуации, как в рассматриваемом примере, что сорт 1 и сорт 2 генетически тесно связаны, поскольку 2-й выведен на основе сорта 1-го. В этом случае целесообразно степени свободы (3) и суммы квадратов (0,4754) для сортов расчленить на следующие сравнения:  $a_{1+2}$  и  $a_{3+4}$ ;  $a_1$  и  $a_2$ ;  $a_3$  и  $a_4$ . Три степени свободы для сортов распределяются по одной на каждое сравнение. Расчет суммы квадратов для этих сравнений производится по формуле  $C = (\sum c_i Y_i)^2 / (l_p \sum c_i)$ , где  $c_i$  коэффициенты для сравнения, которые равны +1 или -1,  $\sum c_i$  – количество коэффициентов (сравниваемых значений):

$$C_{(a_{1+2} \text{ и } a_{3+4})} = (14,46 + 14,89 - 16,47 - 15,68)^2 / (5 \times 4) = 0,3920;$$

$$C_{(a_1 \text{ и } a_2)} = (14,46 - 14,89)^2 / (5 \times 2) = 0,0185;$$

$$C_{(a_3 \text{ и } a_4)} = (16,47 - 15,68)^2 / (5 \times 2) = 0,0624.$$

Остаточную сумму квадратов  $C_Z = C_Y - C_P - C_V = 1,1826 - 0,1676 - 0,4754 = 0,5396$ .

Средний квадрат для каждого источника варьирования вычисляют делением суммы квадратов на число степеней свободы.

*F*-критерий:

$$\text{для повторений } F_{\text{факт}} = S_P^2 : S_Z^2 = 0,0419 : 0,0450 = 0,93$$

$$\text{для сортов } F_{\text{факт}} = S_V^2 : S_Z^2 = 0,1585 : 0,0450 = 3,52$$

$$\text{для } A(1+2 \text{ и } 3+4) F_{\text{факт}} = 0,3920 : 0,045 = 8,71$$

$$\text{для } A(1 \text{ и } 2) F_{\text{факт}} = 0,0185 : 0,045 = 0,41$$

$$\text{для } A(3 \text{ и } 4) F_{\text{факт}} = 0,0624 : 0,045 = 1,39.$$

$F_{\text{теор}}$  находим в Microsoft Excel с помощью функции «FРАСПОБР» (или «F.ОБР.ПХ») для выбранного уровня значимости, исходя из степеней свободы для каждого источника варьирования (числитель) и 12 степеней свободы для ошибки [остаточной дисперсии] (знаменатель).

Аналогичным образом выполнить расчеты для каждого укоса. Итоги дисперсионного анализа каждого укоса приводятся в таблице 119.

Средние урожаи 3-го и 4-го сортов больше, чем 1-го и 2-го по всем укосам. Поскольку разность  $(a_{1+2}) - (a_{3+4})$  статистически существенна для 1-го и 4-го укосов, то логичным будет предположение о наличии реальных различий этих сортов для 2-го и 3-го укосов, несмотря на то, что их  $F_{\text{факт}}$  не существенна на 5 % уровне значимости.

Таблица 119 – Итоги дисперсионного анализа результатов опыта по изучению урожайности 4-х сортов по каждому укосу за первый год

Источник варьирования	Степени свободы	1 укос		2-й укос		3-укос		4-й укос	
		SS <sup>1</sup>	MS <sup>2</sup>	SS	MS	SS	MS	SS	MS
Общий	19	1,1826	0,0622	3,1087	0,1636	3,3017	0,1738	0,8356	0,0440
Повторения (блоки), P	4	0,1676	0,0419	1,7292	0,4323	1,2563	0,3141	0,3092	0,0773
Сорта, B	3	0,4754	0,1585*	0,2589	0,0863	0,5661	0,1887	0,2275	0,0758
1+2 и 3+4	1	0,3920	0,3920*	0,2268	0,2268	0,1566	0,1566	0,1411	0,1411*
1 и 2	1	0,0185	0,0185	0,0058	0,0058	0,0960	0,0960	0,0548	0,0548
3 и 4	1	0,0624	0,0624	0,0221	0,0221	0,3133	0,3133	0,0336	0,0336
Ошибка, C <sub>Z</sub>	12	0,5396	0,0450	1,1206	0,0934	1,4793	0,1233	0,2989	0,0249

<sup>1</sup> – сумма квадратов

<sup>2</sup> – средний квадрат (дисперсия)

\* – достоверно на 5 % уровне значимости ( $F_{\text{факт.}} \geq F_{05}$ ).

На втором этапе выполняется дисперсионный анализ данных за год, т. е. анализируется сумма всех укосов. Последовательность расчетов – идентичная дисперсионному анализу данных опытов, заложенных по схеме расщепленных делянок.

Определяют источники варьирования и степени свободы (*df*) для них:

– общее варьирование –  $df = (l_A \times l_B \times l_P) - 1 = (4 \times 4 \times 5) - 1 = 80 - 1 = 79$ ;

– главные делянки –  $df = (l_A \times l_P) - 1 = (4 \times 5) - 1 = 20 - 1 = 19$ ;

– повторения (блоки) –  $df = l_P - 1 = 5 - 1 = 4$ ;

– сорта –  $df = l_A - 1 = 4 - 1 = 3$ ;

– случайное варьирование на главных делянках или ошибка главных делянок (ошибка I) –  $df = (l_A - 1) \times (l_P - 1) = (4 - 1) \times (5 - 1) = 12$ ;

– укосы –  $df = (l_B - 1) = (4 - 1) = 3$ ;

– взаимодействие ( $A \times B$ ) –  $df = (l_A - 1) \times (l_B - 1) = (4 - 1) \times (4 - 1) = 3 \times 3 = 9$ ;

– случайное варьирование на субделянках или ошибка субделянок (ошибка II); степени свободы определяют сложением степеней свободы для взаимодействий: блоки  $\times$  укосы и повторения (блоки)  $\times$  сорта  $\times$  укосы [ $PB + P(A \times B)$ ] –  $df = (l_P - 1) \times (l_B - 1) + (l_P - 1) \times [(l_A - 1) \times (l_B - 1)] = (5 - 1) \times (4 - 1) + (5 - 1) \times [(4 - 1) \times (4 - 1)] = (4 \times 3) + (4 \times 3 \times 3) = 12 + 36 = 48$  или же вычитанием из числа степеней свободы для общего варьирования степени для источников вариации:  $79 - 19 - 3 - 9 = 48$ .

Вычисляем:

1) корректирующий фактор:  $C = \Sigma(X)^2 / (l_A \times l_B \times l_P) = (2,69 + 2,40 + 3,23 + \dots + 1,92 + 1,82 + 1,78)^2 / (4 \times 4 \times 5) = 488,2696$ ;

2) суммы квадратов и средние квадраты для:

– субделянок (общую, C<sub>Y</sub>):  $C_Y = \Sigma X^2 - C = (2,69^2 + 2,40^2 + 3,23^2 + \dots + 1,92^2 + 1,82^2 + 1,78^2) - 488,2696 = 34,8690$ ;

– главных делянок (C<sub>AA</sub>):  $C_{AA} = \Sigma AA^2 / l_B - C = (9,02^2 + 6,98^2 + \dots + 9,65^2 + 10,13^2) / 4 - 488,2696 = 5,0770$ ;

– повторений [блоков] (C<sub>P</sub>):  $C_P = \Sigma P^2 / (l_A \times l_B) - C = (39,00^2 + 36,02^2 + 43,25^2 + 38,18^2 + 41,19^2) / (4 \times 4) - 488,2696 = 1,9386$ ;

– сортов ( $C_A$ ):  $C_A = \Sigma A^2 / (l_B \times l_P) - C = [(47,10^2 + 47,53^2 + 51,07^2 + 51,94^2) / (4 \times 5)] - 488,2696 = 0,9014$ , и для каждого сравнения по формуле  $(\Sigma c_i Y_i)^2 / (l_B l_P \Sigma c_i) - C_{A(l+2 \text{ и } 3+4)} = (47,10 + 47,53 - 51,07 - 51,94)^2 / (4 \times 5 \times 4) = 0,8778$ ,  $C_{A(l+2)} = (47,10 - 47,53)^2 / (4 \times 5 \times 2) = 0,0046$ ,  $0,0046$ ,  $C_{A(3 \text{ и } 4)} = (51,07 - 51,94)^2 / (4 \times 5 \times 2) = 0,0189$  (отметьте, что все коэффициенты для сравнений ( $c_i$ ) равны +1 или -1;  $\Sigma c_i$  – количество коэффициентов).

– ошибки главных делянок ( $C_{ZI}$ , ошибка I):  $C_{ZI} = C_{AA} - C_P - C_A = 5,0770 - 1,9386 - 0,0914 = 2,2370$ ;

– укосов ( $C_B$ ):  $C_B = \Sigma B^2 / (l_A \times l_P) - C = [(61,50^2 + 60,29^2 + 38,45^2 + 37,40^2) / (4 \times 5)] - 488,2696 = 26,4452$

– взаимодействия факторов  $A \times B$  ( $C_{A \times B}$ ):  $C_{A \times B} = [(\Sigma V^2 / l_P) - C] - C_A - C_B = [(14,46^2 + 14,89^2 + 16,47^2 + 15,68^2 + 14,42^2 + 14,66 + 15,37^2 + 15,84^2 + 9,66^2 + 8,68^2 + 9,17^2 + 10,94^2 + 8,56^2 + 9,30^2 + 10,06^2 + 9,48^2) / 5 - 488,2696] - 0,9014 - 26,4452 = 0,6217$ ;

– ошибки субделянок и взаимодействия ( $C_{ZII}$ , ошибка II):  $C_{ZII} = C_Y - C_{AA} - C_B - C_{AB} = 34,8690 - 5,0770 - 26,4452 - 0,6217 = 2,7251$ .

Средние квадраты вычисляют путем деления суммы квадратов на соответствующее число степеней свободы для каждого источника варьирования.

3) фактические и теоретические значения  $F$ -критерия.

Результаты заносим в таблицу 120.

Таблица 120 – Результаты дисперсионного анализа урожаев сортов люцерны за год

Источник варьирования	Степени свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	$F_{\text{факт}}$	$F_{05}$
Субделянка	79	34,8690	-	-	-
Главные делянки	19	5,0770	-	-	-
Повторения (блоки), $P$	4	1,9386	0,4847	2,6003	3,2592
Сорта, $A$	3	0,9014	0,3005	1,6121	3,4903
1+2 и 3+4	1	0,8778	0,8778	4,7092	4,7472
1 и 2	1	0,0046	0,0046	0,0247	
3 и 4	1	0,0189	0,0189	0,1014	
Ошибка I ( $C_{ZI}$ ), $PA$	12	2,2370	0,1864	-	-
Укосы, $B$	3 [1]	26,4452	8,8151	155,1954	2,7981
Взаимодействие ( $A \times B$ )	9 [4]	0,6217	0,0691	1,2165	2,0817
Ошибка II ( $C_{ZII}$ ) $PB+P(A \times B)$	48 [16]	2,7251	0,0568	-	-

*Оценка частных различий (выделение существенных средних).* Большие значения  $F$ -критерия для укосов указывают на реальные различия между средними величинами урожаев за каждый укос (сроков уборки). Чтобы делать заключение о наличии реальных различий,  $F$ -значения для укосов ( $B$ ) и взаимодействия  $A \times B$  должны быть достаточно велики. Для установления существенных эффектов, требующих больших значений  $F$ , степени свободы для укосов надо расчленить на степени свободы для укосов ( $B$ ), взаимодействия  $A \times B$  и ошибки субделянок (ошибка II) и брать табличное значение  $F$  на основе оставшихся степеней свободы (в таблице 120 величины заключены в скобки). Расчленение производится

следующим образом. Для укосов 1 степень свободы, т. к. анализируется урожай за год (сумма всех укосов). Число степеней свободы для взаимодействия  $A \times B$  определяем как произведение степеней свободы для фактора  $A$  (сортов) и  $B$  (укосов) –  $(l_A - 1) \times 1 = (4 - 1) \times 1 = 3$ , а для ошибки II – суммой произведений числа степеней свободы для повторений ( $P$ ) и укосов ( $B$ ) и повторений ( $P$ ) и взаимодействия ( $A \times B$ ) –  $(4 \times 1) + (4 \times 3) = 4 + 12 = 16$ .

В опыте не выявлено существенного влияния взаимодействия  $A \times B$  на урожайность люцерны.

*Стандартные ошибки.* Стандартные ошибки, используемые для вычисления НСР, в отношении средних эффектов фактора, изучаемого на главных делянках (в данном случае сорта), являются теми же, что и для обычной схемы расщепленных делянок, а используемые для оценки средних повторных учетов (сроки укосов) и взаимодействия фактора, размещенного на главных делянках и повторных учетов ( $A \times B$ ) – отличаются от применяемых в схеме расщепленных делянок.

1. Сравнение двух средних фактора  $A$ ,  $A_1 - A_2$ :

а) на основе данных за один укос (различия сортов в одном укосе):

$$НСР_{05} = t_{05} \cdot s_{\bar{a}} = t_{05} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot s_{ZI}^2}{l_B \cdot l_P}} = 2,1788 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,1864}{4 \cdot 5}} = 2,1788 \cdot 0,1365 = 0,3 \text{ т/га.}$$

б) на основе суммы укосов за год (различия сортов по сумме укосов):

$$НСР_{05} = t_{05} \cdot s_{\bar{a}} = t_{05} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot l_B \cdot s_{ZI}^2}{l_P}} = 2,1788 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 4 \cdot 0,1864}{5}} = 2,1788 \cdot 0,5461 = 1,19 \text{ т/га.}$$

2. Сравнение двух средних фактора  $B$ ,  $B_1 - B_2$  (различия укосов в один год):

$$НСР_{05} = t_{05} \cdot s_{\bar{a}} = t_{05} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot s_{ZII}^2}{l_B \cdot l_P}} = 2,1199 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,0568}{4 \cdot 5}} = 2,1199 \cdot 0,0754 = 0,16 \text{ т/га,}$$

где  $t_{05}$  берется для 16 степеней свободы.

3. Сравнение двух средних фактора  $A$  на одном уровне  $B$ ,  $A1B1 - A2B1$  (различия сортов в одном укосе). Рассчитывается для каждого укоса – средний квадрат и число степеней свободы для ошибки берутся из дисперсионного анализа каждого укоса (см. табл. 119):

– 1-й укос:

$$НСР_{05} = t_{05} \cdot s_{\bar{a}} = t_{05} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot s_Z^2}{l_P}} = 2,1788 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,0450}{5}} = 2,1788 \cdot 0,1342 = 0,29 \text{ т/га.}$$

– 2-й укос:

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot s_{\bar{a}} = t_{05} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot s_Z^2}{l_p}} = 2,1788 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,0934}{5}} = 2,1788 \cdot 0,1933 = 0,42 \text{ т/га.}$$

– 3-й укос:

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot s_{\bar{a}} = t_{05} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot s_Z^2}{l_p}} = 2,1788 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,1233}{5}} = 2,1788 \cdot 0,2221 = 0,48 \text{ т/га.}$$

– 4-й укос:

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot s_{\bar{a}} = t_{05} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot s_Z^2}{l_p}} = 2,1788 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,0249}{5}} = 2,1788 \cdot 0,0998 = 0,22 \text{ т/га.}$$

4. Сравнение двух средних фактора В для одного или разных уровней фактора А, А1В1–А1В2 или А1В1–А2В2 (различия укосов). Вычисляют для каждого сравнения:

– 1-й и 2-й укосы:

$$\begin{aligned} HCP_{05} &= t_{05} \cdot s_{\bar{a}} = t_{05} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (s_{Z(1)}^2 + s_{Z(2)}^2)}{2 \cdot l_p}} = 2,1788 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (0,0450 + 0,0934)}{2 \cdot 5}} \\ &= 2,1788 \cdot 0,1664 = 0,36 \text{ т/га.} \end{aligned}$$

– 1-й и 3-й укосы:

$$\begin{aligned} HCP_{05} &= t_{05} \cdot s_{\bar{a}} = t_{05} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (s_{Z(1)}^2 + s_{Z(3)}^2)}{2 \cdot l_p}} = 2,1788 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (0,0450 + 0,1233)}{2 \cdot 5}} \\ &= 2,1788 \cdot 0,1835 = 0,40 \text{ т/га.} \end{aligned}$$

и т. д.

$s_{Z(1)}^2, s_{Z(2)}^2, s_{Z(3)}^2$  и т. д. — остаточная дисперсия в 1-м, 2-м, 3-м и т. д. укосах.

Таким образом, наиболее подходящей схемой статистического анализа периодических учетов урожая с главных делянок, как, например повторные укосы многолетних трав с делянок по изучению сортов, повторные сборы фруктов с одних и тех же деревьев или повторных отборов образцов почвы с делянок на содержание питательных элементов, — является схема расщепленных делянок. Анализ данных проводят по схеме расщепленных делянок, но выводы о наличии реальных эффектов для проведения повторных учетов и взаимодействия этих эффектов с вариантами главных делянок следует делать осторожно до тех пор, пока не будут получены большие значения.

### 5.8.6. Дисперсионный анализ результатов опыта, проведенного в течение нескольких лет (объединение данных за два или большее число лет)

*Хорошая схема эксперимента может быть результатом только точного понимания разрешаемой проблемы, а различные технические приемы могут оказаться полезными лишь как дополнения.*

С. Пирс

В дополнение к анализу, например, реакции сортов на удобрения за каждый год исследователя интересует ее проявление в течение ряда лет и возможное взаимодействие биологических особенностей сортов с условиями года. Так, если опыт, описанный в предыдущей главе, проводился несколько лет, результаты ряда лет при нескольких укосах в год могут быть объединены по схеме сплит-сплит-плот (трехфакторный опыт), в котором сорта ( $A$ ) будут представлять главные делянки, годы ( $B$ ) – субделянки, а укосы ( $C$ ) – суб-субделянки. При этом тройное взаимодействие сорта $\times$ годы $\times$ укосы обычно не имеет первостепенной важности. Анализы в течение года и анализы годовых сумм целых делянок в течение ряда лет – это все, что обычно требуется для заключения о пригодности сортов. Проанализируем результаты, полученные при испытании в течение 2-х лет ( $l_B=2$ ), 4-х сортов люцерны ( $l_A=4$ ), причем урожай убирали 4 раза в год (4 укоса,  $l_C=4$ ). Делянки размещены в 5-ти рендомизированных повторениях (блоках). Для иллюстрации процесса объединения годовых сумм поделяночных урожаев сортов за ряд лет воспользуемся примером из книги Т. Литтл и Ф. Хиллз (1981). Исходные данные представлены в таблице 121.

Таблица 121 – Урожайность сена люцерны (исходная таблица), т/га

Вариант		Повторение [блок] ( $P$ )					Сумма, $Y$	Среднее	Код
сорт ( $A$ )	год ( $B$ )	1	2	3	4	5			
1	1	9,02	6,98	10,62	9,52	10,96	47,10	9.42	$a1b1$
2	1	8,84	9,83	10,06	9,30	9,50	47,53	9.51	$a2b1$
3	1	9,74	9,28	11,74	9,71	10,60	51,07	10.21	$a3b1$
4	1	11,40	9,93	10,83	9,65	10,13	51,94	10.39	$a4b1$
Сумма повторений за 1-й год		39,00	36,02	43,25	38,18	41,19	197,64	9,88	
1	2	11,88	11,33	11,81	12,22	10,65	57,89	11.58	$a1b2$
2	2	12,15	10,98	12,20	11,30	12,54	59,17	11.83	$a2b2$
3	2	12,92	11,95	12,05	11,88	13,19	61,99	12.40	$a3b2$
4	2	11,74	11,62	11,54	12,00	11,74	58,64	11.73	$a4b2$
Сумма повторений за 2-й год		48,69	45,88	47,60	47,40	48,12	237,69	11,88	
Сорта $\times$ суммы повторений [блоков] (главные делянки)									
1		20,90	18,31	22,43	21,74	21,61	104,99	21.00	
2		20,99	20,81	22,26	20,60	22,04	106,70	21.34	
3		22,66	21,23	23,79	21,59	23,79	113,06	22.61	
4		23,14	21,55	22,37	21,65	21,87	110,58	22.12	
Сумма повторений ( $P$ )		87,69	81,90	90,85	85,58	89,31	435,33	21,77	

*Анализ данных за каждый год изучения* – это анализ данных главных делянок за каждый год. Проведем анализ дисперсий результатов опыта отдельно за каждый год в соответствии с алгоритмом однофакторного дисперсионного анализа для опыта, поставленного методом рендомизированных повторений. Результаты расчетов представлены в таблице 122.

Таблица 122 – Дисперсионный анализ общих урожаев сена разных сортов люцерны

Источник варьирования	Степени свободы	1-й год		2-й год	
		SS <sup>1</sup>	MS <sup>2</sup>	SS	MS
Общий	19	20,3062	1,0687	6,7579	0,3557
Повторения (блоки)	4	7,7528	1,9382	1,1062	0,2766
Сорта	3	3,6039	1,2013	1,9201	0,6400
1+2 и 3+4	1	3,5112	3,5112*	0,6372	0,6372
1 и 2	1	0,0185	0,0185	0,1638	0,1638
3 и 4	1	0,0757	0,0757	1,1223	1,1223
Ошибка	12	8,9495	0,7458	3,7316	0,3110

<sup>1</sup> – сумма квадратов

<sup>2</sup> – средний квадрат (дисперсия)

\* – достоверно на 5 % уровне значимости ( $F_{\text{факт.}} \geq F_{05}$ ).

В первый год достоверные различия по урожайности отмечены между сортами 1+2 и 3+4. Ошибка разности ( $s_{\bar{d}}$ ) и  $HCP_{05}$  соответственно для 1-го и 2-го года – 0,5462 и 1,19 т/га и 0,3527 и 0,77 т/га.

Во второй год не установлено существенных различий сортов по урожайности (эффект сортов), а большая часть вариации вариантов (сортов) падает на различия между сортами 1+2 и 3+4.

*Объединение данных годовых анализов.* Объединяем суммы урожаев по годам. Для этого выполним дисперсионный анализ по алгоритму для опытов, заложенных по схеме расщепленных делянок. Дисперсионный комплекс включает два фактора: фактор *A* (сорта) –  $l_A=4$ , фактор *B* (год) –  $l_B=5$ . Расчеты приведены ниже.

- Источники варьирования и степени свободы (*df*) для них:
  - общее варьирование –  $df=(l_A \times l_B \times l_P)-1 = (4 \times 2 \times 5) - 1 = 40-1 = 39$ ;
  - главные делянки –  $df = (l_A \times l_P) - 1 = (4 \times 5) - 1 = 20-1 = 19$ ;
  - повторения (блоки) –  $df = l_P - 1 = 5-1=4$ ;
  - сорта (фактор *A*) –  $df = l_A - 1 = 4 - 1 = 3$ , в т. ч. по 1 степени свободы для сравнений *A*(1+2 и 3+4), *A*(1 и 2), *A*(3 и 4);
  - случайное варьирование на главных делянках или ошибка главных делянок (ошибка I) –  $df = (l_A-1) \times (l_P-1) = (4-1) \times (5-1) = 12$ ;
  - годы (фактор *B*) –  $df = (l_B-1) = (2-1) = 1$ ;
  - взаимодействие (*A* × *B*) –  $df = (l_A-1) \times (l_B-1) = (4-1) \times (2-1) = 3 \times 1 = 3$ , в т. ч. по 1 степени свободы для взаимодействий *A*(1+2 и 3+4) × *B*, *A*(1 и 2) × *B*, *A*(3 и 4) × *B* –  $(2-1) \times (2-1)$  [для *A* – 2 сравнения, *B* – 2 года];
  - случайное варьирование на субделянках или ошибка субделянок (ошибка II); степени свободы определяют сложением степеней свободы для

взаимодействий: блоки  $\times$  укосы и блоки  $\times$  сорта  $\times$  укосы  $[PB+P(A \times B)] - df = (l_P-1) \times (l_B-1) + (l_P-1) \times [(l_A-1) \times (l_B-1)] = (5-1) \times (2-1) + (5-1) \times [(4-1) \times (2-1)] = (4 \times 1) + (4 \times 3 \times 1) = 4 + 12 = 16$  или же вычитанием из числа степеней свободы для общего варьирования степени для источников вариации:  $39 - 19 - 1 - 3 = 16$ .

2. Корректирующий фактор:

$$C = \Sigma(X)^2 / (l_A \times l_B \times l_P) = (9,02 + 6,98 + 10,62 + \dots + 11,54 + 12,00 + 11,74)^2 / (4 \times 2 \times 5) = 4737,8052;$$

3. Суммы квадратов и средние квадраты для:

– субделянок (общую,  $C_Y$ ):  $C_Y = \Sigma X^2 - C = (9,02^2 + 6,89^2 + 10,62^2 + \dots + 11,54^2 + 12,00^2 + 11,74^2) - 4737,8052 = 67,1689$ ;

– главных делянок ( $C_{AA}$ ):  $C_{AA} = \Sigma AA^2 / l_B - C = (20,90^2 + 18,31^2 + 22,43^2 + \dots + 22,37^2 + 21,65 + 21,87^2) / 2 - 4737,8052 = 13,9945$ ;

– повторений [блоков] ( $C_P$ ):  $C_P = \Sigma P^2 / (l_A \times l_B) - C = (87,69^2 + 81,90^2 + 90,85^2 + 85,58^2 + 89,31^2) / (4 \times 2) - 4737,8052 = 6,0799$ ;

– сортов ( $C_A$ ):  $C_A = \Sigma A^2 / (l_B \times l_P) - C = [(104,99^2 + 106,70^2 + 113,06^2 + 110,58^2) / (2 \times 5)] - 4737,8052 = 4,0238$  и для каждого сравнения по формуле  $(\Sigma c_i Y_i)^2 / (l_B l_P \Sigma c_i)$ , где коэффициенты классовых сравнений ( $c_i$ ) равны +1 или -1 и  $\Sigma c_i$  – количество коэффициентов –  $C_{A(1+2 \text{ и } 3+4)} = (104,99 + 106,70 - 113,06 - 110,58)^2 / (2 \times 5 \times 4) = 3,5701$ ,  $C_{A(1 \text{ и } 2)} = (104,99 - 106,70)^2 / (2 \times 5 \times 2) = 0,1462$ ,  $C_{A(3 \text{ и } 4)} = (113,06 - 110,58)^2 / (2 \times 5 \times 2) = 0,3075$ ;

– ошибки главных делянок ( $C_{ZI}$ , ошибка I):  $C_{ZI} = C_{AA} - C_P - C_A = 13,9945 - 6,0799 - 4,0238 = 3,8907$ ;

– годов ( $C_B$ ):  $C_B = \Sigma B^2 / (l_A \times l_P) - C = [(197,64^2 + 237,69^2) / (4 \times 5)] - 4737,8052 = 40,1001$

– взаимодействия факторов  $A \times B$  ( $C_{A \times B}$ ):  $C_{A \times B} = [(\Sigma V^2 / l_P) - C] - C_A - C_B = [(47,10^2 + 47,53^2 + 51,07^2 + 51,94^2 + 57,89^2 + 59,17^2 + 61,99^2 + 58,64) / 5 - 4737,8052] - 4,0238 - 40,1001 = 1,5049$ ;

– ошибки субделянок и взаимодействия ( $C_{ZII}$ , ошибка II):

$$C_{ZII} = C_Y - C_{AA} - C_B - C_{AB} = 67,1689 - 13,9945 - 40,1001 - 1,5049 = 11,5694.$$

Сумма квадратов взаимодействия ( $A \times B$ ) расчленяется с учетом коэффициентов классовых сравнений, которые представлены в таблице 123, на взаимодействия  $[(A \ 1+2 \ \text{и} \ 3+4) \times B]$ ,  $[(A \ 1 \ \text{и} \ 2) \times B]$  и  $[(A \ 3 \ \text{и} \ 4) \times B]$ , используя формулу  $(\Sigma c_i Y_i)^2 / (l_P \Sigma c_i)$ , где коэффициенты классовых сравнений ( $c_i$ ) и  $\Sigma c_i$  – количество коэффициентов.

Таблица 123 – Ортогональные коэффициенты для расчленения годовых и сортовых сравнений

Сравнения	Годовые суммы урожаев по сортам							
	a1b1 47,10	a2b1 47,53	a3b1 51,07	a4b1 51,94	a1b2 57,89	a2b2 59,17	a3b2 61,99	a4b2 58,64
B	+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1
A 1+2 и 3+4	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1
A 1 и 2	+1	-1	0	0	+1	-1	0	0
A 3 и 4	0	0	+1	-1	0	0	+1	-1
(A 1+2 и 3+4) $\times$ B	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
(A 1 и 2) $\times$ B	+1	-1	0	0	-1	+1	0	0
(A 3 и 4) $\times$ B	0	0	+1	-1	0	0	-1	+1

$$C_{[(A_{1+2} \text{ и } 3+4) \times B]} = (47,10+47,53-51,07-51,94-57,89-59,17+61,99+58,64)/(5 \times 8) = 0,5784;$$

$$C_{[(A_{1 \text{ и } 2}) \times B]} = (47,10-47,53-57,89+59,17)/(5 \times 4) = 0,0361;$$

$$C_{[(A_{3 \text{ и } 4}) \times B]} = (51,07-51,94-61,99+58,64)/(5 \times 4) = 0,8904.$$

Средние квадраты вычисляются путем деления суммы квадратов на соответствующее число степеней свободы для каждого источника варьирования.

4. Фактические и теоретические значения  $F$ -критерия определяют путем деления соответствующих средних квадратов на средний квадрат ошибки.

Результаты заносим в таблицу 124.

Таблица 124 – Результаты дисперсионного анализа урожаев сортов люцерны за два года

Источник варьирования	Степени свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	$F_{\text{факт}}$	$F_{05}$	$F_{01}$
Субделянка ( $SP$ )	39	67,1689	–	–	–	–
Главные делянки ( $MP$ )	19	13,9945	–	–	–	–
Блоки (повторения), $P$	4	6,0799	1,5200	4,6885*	3,2592	5,4120
Сорта, $A$	3	4,0238	1,3413	4,1373*	3,4903	5,9525
1+2 и 3+4	1	3,5701	3,5701	11,0120*	4,7472	9,3302
1 и 2	1	0,1462	0,1462	0,4510		
3 и 4	1	0,3075	0,3075	0,9485		
Ошибка I ( $MP$ ), $AP$	12	3,8908	0,3242	–	–	–
Годы, $B$	1	40,1001	40,1001	55,4558*	4,4940	8,5310
Взаимодействие ( $A \times B$ )	3	1,5049	0,5016	0,6937	3,2389	5,2922
$A(1+2 \text{ и } 3+4) \times B$	1	0,5784	0,5784	0,7999		
$A(1 \text{ и } 2) \times B$	1	0,0361	0,0361	0,0499		
$A(3 \text{ и } 4) \times B$	1	0,8904	0,8904	1,2314		
Ошибка II ( $SP$ )						
$BP+P(A \times B)$	16	11,5694	0,7231	–	–	–

В опыте не выявлено взаимодействия сортов с годами, а большие значения  $F$  для годов указывают на реальное влияние особенностей лет, полученное в результате использования для  $F$ -оценки среднего квадрата ошибки субделянок. Тот факт, что ошибка субделянок (ошибка II) больше, чем ошибка главных делянок (ошибка I), подтверждает справедливость вывода об отсутствии взаимодействия сортов с годами.

Сомнения в отношении преимущества 3-го и 4-го сортов над 1-м и 2-м – минимальны, поскольку  $F_{\text{факт}}$  превышает табличную величину даже на 1%-ном уровне:  $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор.}} = 11,0120 > 9,33302$ . Не выявлено очевидного преимущества 2-го сорта над 1-м или 3-го сорта над 4-м.

*Стандартные ошибки и НСР.* Расчеты стандартных ошибок являются аналогичными расчетам для анализов по годам. Стандартные ошибки и  $НСР$ , необходимые для выявления существенных эффектов в этом анализе, приводятся ниже.

1. Сравнение двух средних фактора  $A$  (сортов):

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot s_{\bar{a}} = t_{05} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot s_{Z1}^2}{l_B \cdot l_P}} = 2,1788 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,3242}{2 \cdot 5}} = 2,1788 \cdot 0,2546 = 0,55 \text{ т/га.}$$

2. Сравнение сортов 1-го и 2-го с 3-м и 4-м:

$$\begin{aligned} HCP_{05} &= t_{05} \cdot s_{\bar{a}} = t_{05} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot s_{Z1}^2}{l_B \cdot l_P \cdot 2}} = 2,1788 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,3242}{2 \cdot 5 \cdot 2}} = 2,1788 \cdot 0,1801 \\ &= 0,39 \text{ т/га.} \end{aligned}$$

При расчете стандартных ошибок следует соблюдать требование о равенстве знаменателя числу сортов, составляющих сравниваемые средние. Так, мы помещаем 2 в знаменатель, потому что сравнивается средняя 1-го и 2-го сортов со средней 3-го и 4-го сортов.

### 5.8.7. Преобразования исходных данных

*Цель только тогда может быть достигнута, когда заранее само средство насквозь проникнуто собственной природой цели.*

**Ф. Лассаль**

Дисперсионный анализ (анализ средних квадратов) настолько прочно вошел в практику научных исследований, что многие, особенно начинающие исследователи, часто забывают об ограничениях, налагаемых на экспериментальный материал, подвергаемый оценке. Т.Литтл и Ф.Хиллз (1981) пишут: «Исследователи, которые при изучении дисперсионного анализа ограничиваются знакомством с его «рецептами» и не проявляют попытки понять его основополагающие принципы, могут столкнуться с серьезными недоразумениями. Осознавая это или нет, они строят определенные предположения о получаемых данных, выполняя дисперсионный анализ. Если данные не подчиняются этим предположениям, то дисперсионный анализ может привести к ошибочному заключению. Они могут также не учесть важные дополнения к выводам, чего не бывает при надлежащем анализе данных».

О предпосылках, составляющие основу дисперсионного анализа, и его ограничениях уже говорилось в начале раздела, посвященного этому методу. Сформулируем их еще раз.

1. *Случайное, независимое и нормальное распределение компонентов ошибки.* Отклонения данных от нормального распределения не слишком серьезно влияют на пригодность дисперсионного анализа. В статистике имеются критерии контроля нормальности распределения, однако их можно использовать, когда объемы выборок достаточно большие. Случайность и независимость предполагает отсутствие связи между величинами компонентов ошибок и группой экспериментального материала, к

которой они относятся. Достигается это правильным размещением вариантов опыта. Следует избегать размещения одноименных вариантов на соседних участках поля. Это положение объясняет требование о недопустимости разделения делянки с определенным вариантом на части и последующего использования их в качестве повторности. Лучшей гарантией против серьезных нарушений первого предположения дисперсионного анализа будет проведение рендомизации в соответствии с конкретно используемой экспериментальной схемой.

2. *Однородность дисперсий различных выборок.* Предположение дисперсионного анализа сводится к тому, что дисперсии внутри каждого варианта оценивают общую дисперсию. Если они однородны или различия незначительные, то использование средней дисперсии обеспечивает лучшую оценку общей дисперсии. Однако, если дисперсии внутри различных вариантов разные, то их усреднение может привести к неверным выводам. Обусловлено это тем, что для сильно варьирующих дат разность средних, чтобы быть существенной, должна иметь большую величину, чем для менее варьирующих дат. Усреднение большей и меньшей дисперсий приводит к тому, что разность между средними двух вариантов с большими дисперсиями может быть принята за существенную, тогда как в действительности она обуславливается случайным фактором, а разность между средними вариантов с меньшими дисперсиями может быть принята как случайная, хотя фактически она реальна.

3. *Независимость средних и дисперсий*, т. е. отсутствие корреляции между дисперсиями и средними различных выборок. Зависимость между дисперсиями и средними может наблюдаться у данных, являющихся величинами, основанными на подсчетах, выражаемыми в долях или процентах, а также при наличии большого размаха выборочных средних.

Предположение о независимости дисперсий и средних нельзя принимать априори (*a priori*). Приступая к дисперсионному анализу, необходимо проверить данные, а при необходимости – уточнить и правильность предположения. Для иллюстрации воспользуемся примером Т.Литтл и Ф.Хиллз (1981): «Предположим, что экспериментатор изучал эффективность нескольких инсектицидов по борьбе с тлей, подсчитывая количество тлей на листе после опрыскивания. Если средние двух довольно неэффективных вариантов составили 305 и 315, то естественными были бы его сомнения в отношении большого значения этой разницы. С другой стороны, если средние двух других вариантов составили 5 и 15, он был бы склонен оценить эту разность как значительную, будучи под впечатлением того факта, что одна из средних превышает другую в три раза. Предполагая однородность дисперсий и отсутствие их связи со средними, он придавал бы одинаково большое значение как разности между 305 и 315, так и разности между 5 и 15, поскольку абсолютная величина этих разностей одна и та же. Он, вероятно, усомнился бы в правильности выводов. Проверка различных выборок устранил причину сомнений: как правило, выборки с большими значениями средних будут также иметь большую дисперсию, а выборки с малыми средними – малую дисперсию. В резуль-

тате предположение об отсутствии корреляции между средними и дисперсиями будет признано неправильным, а следовательно, обычный дисперсионный анализ исходных данных станет непригодным».

4. *Слагаемость (аддитивность) главных эффектов.* Для каждой экспериментальной схемы имеется математическое уравнение, называемое линейной моделью слагаемости. Для схемы полной рендомизации модель имеет вид  $Y_i = \bar{Y} + t_i + e_i$ , для рендомизированных блоков –  $Y_i = \bar{Y} + t_i + b_j + e_{ij}$ , т. е. каждая дата эксперимента складывается из эффектов общей средней, вариантов, блоков (для рендомизированных блоков) и ошибки (эффекта случайного фактора). Модель схемы рендомизированных блоков, например, предполагает одинаковый эффект вариантов по всем блокам и одинаковый эффект блоков для всех вариантов. Иначе, если установлено, что вариант дает определенную прибавку урожая по сравнению с общей средней, то она должна быть одинаковой для блоков с высоким и низким плодородием почвы. Это предположение выполняется не всегда. Например, в опыте по оценке действия азотного удобрения на урожай некоторые блоки могут дать меньшую урожайность, чем другие, как ввиду низких запасов азота в почве в них, так и вследствие различной влагообеспеченности. Тогда применение азотного удобрения может оказать лишь незначительное влияние на урожайность блоков с низким плодородием почвы и обеспечить существенную прибавку урожая блоков с достаточной влагообеспеченностью.

Неслагаемость дисперсий встречается тогда, когда основные эффекты образуются путем процентного изменения, а также, когда случайным образом некоторое наблюдение появляется из посторонней совокупности, а не из той, которая исследуется, если имеет место дополнительный эффект, присоединяющийся к главным эффектам и ошибке, т. е. имеется взаимодействие между ними. Предположение слагаемости главных эффектов может нарушаться при выражении эффекта варианта в процентах или долях. Такой случай обозначают как умножающийся (мультипликативный) эффект варианта.

Аномальность, неслагаемость и неоднородность варьирования обычно встречаются вместе. Однако не существует способа преобразования шкалы для устранения всех этих нарушений. Наиболее существенным требованием является слагаемость эффектов, а следующим – однородность дисперсий.

Теоретически определенного вида совокупности должна соответствовать определенная модель. Когда выборки берутся из биномиального или пуассонового распределений, то известно, что дисперсия находится в связи со средней. В таких случаях можно точно выбрать подходящее преобразование. Однако чаще всего приходится руководствоваться только тем, что можно усмотреть в самой выборке, при ее анализе, прежде всего, следует рассмотреть размах варьирования по вариантам опыта.

### 5.8.7.1. Проверка соответствия данных предположениям дисперсионного анализа

В таблице 125 приведены результаты гипотетического опыта по влиянию витамина на массу тела различных животных. Сомнения в целесообразности такого опыта обычно возникают на этапе планирования: уж очень разные животные объединены. Но он может послужить наглядным примером ошибок применения дисперсионного анализа без проверки данных на соответствие модели.

Таблица 125 – Масса тела животных в опыте по изучению действия витамина на их рост, проведенного по схеме рендомизированных блоков, кг (Литтл Т., Хиллз Ф., 1981)

Вариант	Блок				Сумма	Среднее
	I	II	III	IV		
Мыши, контроль	0,081	0,135	0,126	0,198	0,540	0,135
Мыши, получавшие витамин	0,144	0,180	0,189	0,207	0,720	0,180
Субсуммы	0,225	0,315	0,315	0,405	1,260	0,315
Цыплята, контроль	0,900	1,350	0,810	1,260	4,320	1,080
Цыплята, получавшие витамин	1,125	1,485	1,125	1,485	5,220	1,305
Субсуммы	2,025	2,835	1,935	2,745	9,540	2,385
Овцы, контроль	48,600	63,000	60,750	74,250	246,600	61,650
Овцы, получавшие витамин	57,150	68,850	66,600	79,200	271,800	67,950
Субсуммы	105,750	131,850	127,350	153,450	518,400	129,600
Общие суммы	108,000	135,000	129,600	156,600	529,200	22,050
Среднее	18,000	22,500	21,600	26,100		

Результаты дисперсионного анализа этих данных приведены в таблице 126.

Таблица 126 – Результаты дисперсионного анализа действия витамина на рост животных (масса тела) в опыте со схемой рендомизированных блоков (Литтл Т., Хиллз Ф., 1981)

Источник вариации	Степени свободы, df	Сумма квадратов, SS	Средний квадрат, MS	$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$
Блоки	3	199,220	66,407	2,631	3,29
Варианты	5	22014,480	4402,896	174,414	2,90
Фактор А (вид животных)	2	21934,995	10967,498	434,460	3,68
Фактор В (витамин)	1	28,737	28,737	1,138	4,54
Взаимодействие А×В (вид × витамин)	2	50,748	25,374	1,005	3,68
Ошибка	15	378,659	25,244	-	-

При анализе исходных данных и результатов дисперсионного анализа нас не удивляет существенная разность массы тела между видами животных – это естественно. Настораживает отсутствие существенного эффекта влияния витамина (фактор В), особенно потому, что в каждом повторении животное, получавшее витамин, имело бóльшую массу, чем соответствующее контрольное животное (табл. 126). Несущественное взаимодействие А×В (между эффектами витамина и видом животного), также вызывает сомнение. Если принять результаты этого анализа такими, как есть, то мы должны признать эксперимент неудачным. Все, что он нам дал, ограничивается подтверждением различия в массе тела мышей, цыплят и овец. Прежде, чем забраковать этот эксперимент, целесообразно проверить, соответствуют ли данные основным предпосылкам дисперсионного анализа.

1. Оцениваем, *распределяются ли эффекты ошибки случайным, независимым или нормальным образом*. Вычисляем компоненты (эффекты) ошибки и заносим их в таблицу (табл. 127). Модель для схемы рендомизированных блоков включает следующие компоненты:

$$Y_{ij} = \bar{Y}_{..} + t_i + b_j + e_{ij}$$

Это означает, что каждая клетка таблицы с двумя входами заполнена средним значением всех наблюдений ( $\bar{Y}_{..}$ ), эффектом вариантов ( $t_i$ ), эффектом блоков ( $b_j$ ) и остаточным компонентом ( $e_{ij}$ ), представляющим собой неучтенное варьирование, называемое экспериментальной ошибкой. Заменяя  $t_i$  и  $b_j$  в первоначальной модели на их установленные эффекты модель примет следующий вид:

$$Y_{ij} = \bar{Y}_{..} + (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..}) + (\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..}) + e_{ij}.$$

На основании этого уравнения вычисляем ошибку для каждого наблюдения

$$e_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..}$$

Вычислив остаточный компонент для каждого наблюдения, получим таблицу неучтенных эффектов (табл. 127).

$$e_{11} = Y_{11} - \bar{Y}_{1.} - \bar{Y}_{.1} + \bar{Y}_{..} = 0,081 - 18,000 - 0,135 + 22,050 = 3,996$$

$$e_{12} = Y_{12} - \bar{Y}_{1.} - \bar{Y}_{.2} + \bar{Y}_{..} = 0,135 - 22,500 - 0,135 + 22,050 = -0,450$$

...

$$e_{54} = Y_{54} - \bar{Y}_{5.} - \bar{Y}_{.4} + \bar{Y}_{..} = 74,250 - 26,100 - 61,650 + 22,050 = 8,550$$

$$e_{55} = Y_{55} - \bar{Y}_{5.} - \bar{Y}_{.5} + \bar{Y}_{..} = 79,200 - 26,100 - 67,950 + 22,050 = 7,200$$

Эффекты ошибки распределяются явно не случайным образом. Они не являются независимыми, т. к. в каждом блоке эффекты ошибки для двух животных одного вида тесно связаны. А их распределение не соответствует нормальному, поскольку имеется два модальных класса (включающих наибольшее количество значений): один составляет интервал от 3,0 до 4,0, а другой – от -3,0 до -4,0. Первое предположение дисперсионного анализа не выдержало строгой проверки.

Таблица 127 – Компоненты ошибки в опыте с витамином

Вариант	Блок				Сумма
	I	II	III	IV	
Мыши, контроль	3,996	-0,450	0,441	-3,987	0,000
Мыши, получавшие витамин	4,014	-0,450	0,459	-4,023	0,000
Цыплята, контроль	3,870	-0,180	0,180	-3,870	0,000
Цыплята, получавшие витамин	3,870	-0,270	0,270	-3,870	0,000
Овцы, контроль	-9,000	0,900	-0,450	8,550	0,000
Овцы, получавшие витамин	-6,750	0,450	-0,900	7,200	0,000
Сумма	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

2. Проверяем предположение об однородности дисперсий. Для этого воспользуемся критерием, известным под названием «критерий однородности дисперсий Бартлетта».

Вычисляем дисперсию каждого варианта на основе четырех повторений ( $n=4$ ) по формуле:

$$s_i^2 = \frac{Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_n^2 - \left(\frac{\sum Y^2}{n}\right)}{n - 1}.$$

Для контроля мышей получим:

$$s_1^2 = \frac{0,081^2 + 0,135^2 + 0,126^2 + 0,198^2 - \left(\frac{0,54^2}{4}\right)}{4 - 1} = 0,0023.$$

Подобным образом вычисляем все дисперсии, и результаты заносят в таблицу (табл. 128).

Таблица 128 - Дисперсии и их логарифмы для вариантов опыта

Вариант	Степени свободы, $df$	Дисперсия, $s_i^2$	Код $s_i^2$	Логарифм кода $s_i^2$
Мыши, контроль	3	0,0023	23	1,36
Мыши, получавшие витамин	3	0,0007	7	0,85
Цыплята, контроль	3	0,0702	702	2,85
Цыплята, получавшие витамин	3	0,0432	432	2,64
Овцы, контроль	3	110,565	1105650	6,04
Овцы, получавшие витамин	3	81,945	819450	5,91
Суммы	18			19,65
Средняя			321044,0	
Логарифм средней			5,507	

В целях избегания отрицательных логарифмов дисперсии кодируются. Наиболее простой способ – умножить дисперсии на любое одинаковое для всех число. Желательно, чтобы все кодируемые величины были больше 1, поэтому для получения кодов мы умножим каждую дисперсию на 10000. Проще использовать десятичные логарифмы, при этом в ман-

тиссе достаточно иметь две значащие цифры. Среднюю кодируемых дисперсий определяют путем деления их суммы на число вариантов. В таблицу заносят логарифм этой средней.

Вычисляем так называемый неприведенный хи-квадрат ( $\chi^2$ ).

Общая формула для выборок неодинакового объема имеет вид:

$$\chi^2 = 2,3026 \left( \lg s^{-2} \times \sum df \right) - \sum (df \times \lg s_i^2).$$

Для выборок одинакового размера формула принимает вид:

$$\begin{aligned} \chi^2 &= 2,3026 df \left( l \times \lg s^{-2} - \sum \lg s_i^2 \right) = \\ &= 2,3026 \times 3 \times [(6 \times 5,507) - 19,65] = 92,51. \end{aligned}$$

Коэффициент 2,3026 служит в этих формулах фактором перевода десятичных логарифмов в натуральные,  $l$  – количество выборок (вариантов),  $df$  – число степеней свободы, приходящихся на выборку.

Неприведенный хи-квадрат ( $\chi^2$ ) должен быть приведен, путем деления на корректирующий фактор  $C$ , который вычисляют по формулам:

– при разных объемах выборок:

$$C = 1 + \frac{1}{3(l-1)} \times \left( \sum \frac{1}{df} - \frac{1}{\sum df} \right);$$

- при одинаковых объемах выборок:

$$C = 1 + \frac{l+1}{3 \times l \times df}.$$

В нашем примере:

$$C = 1 + \frac{6+1}{3 \times 6 \times 3} = 1,13.$$

$$\chi^2_{\text{приведенный}} = \frac{\chi^2_{\text{неприведенный}}}{C} = \frac{92,51}{1,13} = 81,9.$$

$H_0$ -гипотеза в данном примере следующая – «дисперсия в выборках одинаковая». Для ее проверки необходимо сравнить фактическое и теоретическое значение  $\chi^2$ -критерия.  $H_0$ -гипотеза отвергается, если  $\chi^2_{\text{факт.}} \geq \chi^2_{\text{теор.}}$ . Теоретическое значение  $\chi^2$  находим в таблице хи-квадратов или с помощью функции «ХИ2.ОБР.ПХ(вероятность;степени\_свободы)» в программе Microsoft Excel на основе 5 степеней свободы (на единицу меньше числа вариантов-выборок).  $\chi^2_{\text{теор.}}$  даже на 0,1%-ном уровне значимости (т. е. вероятность того, что дисперсии одинаковые для всех выборок составляет 0,001) равен 20,51, т. е. значительно меньше, чем его фактическое значение:  $\chi^2_{\text{факт.}} \geq \chi^2_{\text{теор.}} = 81,9 > 20,51$ . Это служит очень убедительным доказательством неоднородности дисперсий.

3. *Независимость между средними и дисперсиями.* Сравнив средние и дисперсии по выборкам, даже не прибегая к вычислениям, можно убедиться в нарушении этого предположения, потому что высокие значе-

ния средних соответствуют очень большим дисперсиям и малые значения средних – очень малым дисперсиям.

При выборе способа преобразования данных важно уяснить, что в большей степени пропорционально средним – дисперсии или стандартные отклонения? Для этого вычислим отношения дисперсий и стандартных отклонений к средним (табл. 129).

Таблица 129 – Отношения дисперсий и стандартных отклонений к средним в опыте

Вариант	Среднее, $\bar{Y}$	Дисперсия, $s_i^2$	Стандартное отклонение, $s_i$	$\frac{s_i^2}{\bar{Y}}$	$\frac{s_i}{\bar{Y}}$
Мыши, контроль	0,14	0,0023	0,048	0,016	0,343
Мыши, получавшие витамин	0,18	0,0007	0,026	0,004	0,144
Цыплята, контроль	1,08	0,0702	0,265	0,065	0,245
Цыплята, получавшие витамин	1,31	0,0432	0,208	0,033	0,159
Овцы, контроль	61,65	110,565	10,515	1,793	0,171
Овцы, получавшие витамин	67,95	81,945	9,052	1,206	0,133

Анализируя отношения дисперсий и стандартных отклонений к средним, представленным в таблице 129, обнаруживаем, что отношения дисперсий к средним заметно возрастают с увеличением дисперсии, тогда как отношения стандартных отклонений к средним остаются довольно постоянными величинами. Это значит – стандартные отклонения приблизительно пропорциональны средним. При независимости средних и дисперсий оба отношения по мере увеличения средних уменьшались бы.

4. *Слагаемость (аддитивность) главных эффектов.* Это последнее предположение, подлежащее проверке. В основе этого предположения лежит приблизительное равенство блоковых эффектов для всех вариантов.

Общепринятым критерием слагаемости служит критерий Тьюки. Этот критерий применим для любых группировок с двумя входами, таким, как данные опытов, заложенных по схеме рендомизированных блоков, где производят группировку по блокам и вариантам. Он применяется для: 1) определения, оправдало ли себя некоторое преобразование данных; 2) выяснения вопроса относительно уклоняющихся наблюдений; 3) решения вопроса, является ли преобразование данных необходимым; 4) указание наиболее подходящего вида преобразования.

Для вычисления критерия Тьюки выполним вспомогательные вычисления (табл. 130).

Следует отметить, что суммы отдельных эффектов, как блоков, так и вариантов, равны нулю. Критерий Тьюки вычисляют по формуле:

$$Q = \sum Y_{ij}(\bar{Y}_i - \bar{Y}_j)(\bar{Y}_j - \bar{Y}_i).$$

Таблица 130 – Эффекты блоков и вариантов

Вариант	Блок				Среднее, $\bar{Y}_i$	Эффект вариан- та, $\bar{Y}_i - \bar{Y}_{..}$
	I	II	III	IV		
Мыши, контроль	0,081	0,135	0,126	0,198	0,135	-21,915
Мыши, получавшие ви- тамин	0,144	0,180	0,189	0,207	0,180	-21,870
Цыплята, контроль	0,900	1,350	0,810	1,260	1,080	-20,970
Цыплята, получавшие витамин	1,125	1,485	1,125	1,485	1,305	-20,745
Овцы, контроль	48,600	63,000	60,750	74,250	61,650	39,600
Овцы, получавшие ви- тамин	57,150	68,850	66,600	79,200	67,950	45,900
Среднее	18,000	22,500	21,600	26,100	22,050	
$\bar{Y}_j - \bar{Y}_{..}$	-4,050	0,450	-0,450	4,050		

Для вычисления критерия необходимо умножить каждую дату таблицы 130 на соответствующий эффект варианта и блока и сложить полученные произведения:

$$Q = [0,91 \times (-4,050) \times (-21,915)] + \dots + (79,200 \times 4,050 \times 45,900) = 8214,060.$$

Находим сумму квадратов (SS) для неслагаемости:

$$SS \text{ неслагаемости} = \frac{Q^2 \times N}{SS \text{ блоков} \times SS \text{ вариантов}}$$

где:  $Q$  – критерий Тьюки;

$N$  – общее число наблюдений (экспериментальных единиц);

$SS$  блоков и  $SS$  вариантов – сумма квадратов для блоков и вариантов, рассчитанная при выполнении дисперсионного анализа (табл. 126).

$$SS \text{ неслагаемости} = \frac{8214,060^2 \times 24}{199,220 \times 22014,480} = 369,22.$$

Это составляет часть суммы квадратов взаимодействия  $A \times B$  или сумму квадратов для ошибки, которая расчленяется на сумму квадратов неслагаемости и остаток:

Источник вариации	Степени свободы, $df$	Сумма квадратов, $SS$	Средний квадрат, $MS$	$F$ -критерий	$F_{01}$
Ошибка	15	378,659			
Неслагаемость	1	369,220	369,220	547,804	8,862
Остаток	14	9,439	0,674		

$F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$  ( $547,804 > 8,862$ ), что служит доказательством отсутствия слагаемости эффектов, т. е. данные не соответствуют этому предположению дисперсионного анализа.

Таким образом, проверка всех предположений дисперсионного анализа показала, что данные не удовлетворяют ни одному из них. Не удивительно, что дисперсионный анализ не дал ожидаемых результатов. Вероятно, отдельный анализ по видам животных будет наиболее разумным методом статистической оценки данных этого эксперимента. Но в этом случае нельзя установить, идентична или различна реакция разных видов животных на витамин. Получить ответ можно, если удастся преобразовать данные таким образом, чтобы они соответствовали предположениям дисперсионного анализа.

### 5.8.7.2. Логарифмическое преобразование

Логарифмическое преобразование данных целесообразно использовать, если 1) стандартные отклонения (не дисперсии) данных выборок приблизительно пропорциональны средним (все отношения дают близкие величины), 2) имеется большая вероятность наличия умножающихся главных эффектов, чем слагающихся. В рассматриваемом нами примере присутствуют оба эти довода, следовательно, целесообразно преобразовать данные с помощью логарифмов.

Необходимо помнить, что нельзя использовать логарифмическое преобразование для:

- величин с отрицательными знаками;
- данных, содержащих большое количество нулевых значений;
- можно использовать логарифмы с любым основанием, однако обычно легче даются десятичные логарифмы.

Для того чтобы исключить некоторые ограничения, до преобразования данных рекомендуется:

- если значения меньше нуля – прибавить ко всем датам единицу;
- когда имеются величины меньше 1 – все даты умножить на постоянное число, поскольку это не изменяет последующий анализ.

Данные, с которыми мы работаем, не имеют нулевых значений, однако минимальная величина равна 0,081, поэтому прежде умножаем все даты на 100, а затем находим их десятичные логарифмы и формируем таблицу преобразованных данных (табл. 131). Выполняем дисперсионный анализ по алгоритму для двухфакторного опыта, проведенного методом рендомизированных блоков (повторений). Результаты этого анализа представлены в таблице 132.

Несомненно, эти результаты более весомы, чем результаты анализов исходных дат, в отношении положительных выводов. Мы все еще не установили существенного взаимодействия между видами животных и витамином, однако, теперь постановка вопроса иная. Прежде мы спрашивали: «Различается ли прибавка в массе тела, обусловленная применением витамина, по видам животных?», а теперь – «Различается ли доля или процент прибавки в массе тела, обусловленные применением витамина, по видам животных?».

Чтобы убедиться в обоснованности анализа, следовательно, преобразований, необходимо проверить соответствие новых данных предположениям дисперсионного анализа. Последовательность проверки подробно уже описана, поэтому опустим объяснения и ограничимся одними расчетами.

Таблица 131 – Логарифмическое преобразование данных эксперимента  
(предварительно исходные даты умножили на 100)

Вариант	Блок				Сумма	Среднее
	I	II	III	IV		
Мыши, контроль	0,91	1,13	1,10	1,30	4,44	1,1100
Мыши, получавшие витамин	1,16	1,26	1,28	1,32	5,02	1,2550
Субсуммы	2,07	2,39	2,38	2,62	9,46	1,1825
Цыплята, контроль	1,95	2,13	1,91	2,10	8,09	2,0225
Цыплята, получавшие витамин	2,05	2,17	2,05	2,17	8,44	2,1100
Субсуммы	4,00	4,30	3,96	4,27	16,53	2,0663
Овцы, контроль	3,69	3,80	3,78	3,87	15,14	3,7850
Овцы, получавшие витамин	3,76	3,84	3,82	3,90	15,32	3,8300
Субсуммы	7,45	7,64	7,60	7,77	30,46	3,8075
Общие суммы	13,52	14,33	13,94	14,66	56,45	
Среднее	2,253	2,388	2,323	2,443		2,35208

Таблица 132– Результаты дисперсионного анализа (преобразованные данные)

Источник вариации	Степени свободы, <i>df</i>	Сумма квадратов, <i>SS</i>	Средний квадрат, <i>MS</i>	<i>F</i> факт.	<i>F</i> <sub>05</sub>
Блоки	3	0,12132	0,040440	13,32	3,29
Варианты	5	28,60433	5,720866	1883,72	2,90
Фактор А (вид животных)	2	28,54291	14,271455	4699,19	3,68
Фактор В (витамин)	1	0,05134	0,051340	16,90	4,54
Взаимодействие А×В (вид × витамин)	2	0,01007	0,005035	1,66	3,68
Ошибка	15	0,04556	0,003037	-	-

Строим таблицу компонентов ошибки путем вычитания из каждой даты таблицы преобразованных величин данных: средней по опыту и эффектов соответствующих вариантов и блоков (табл. 133).

Таблица 133 – Компоненты ошибки преобразованных данных

Вариант	Блок			
	I	II	III	IV
Мыши, контроль	-0,10	-0,02	0,02	0,10
Мыши, получавшие витамин	0,00	-0,03	0,05	-0,03
Цыплята, контроль	0,03	0,07	-0,08	-0,01
Цыплята, получавшие витамин	0,04	0,02	-0,03	-0,03
Овцы, контроль	0,00	-0,02	0,02	-0,01
Овцы, получавшие витамин	0,03	-0,03	0,02	-0,02

Эти величины ошибки кажутся в большей мере случайно и нормально распределенными, чем ошибки исходных данных.

Для проверки однородности дисперсий вновь воспользуемся критерием Бартлетта (табл. 134).

Таблица 134 - Дисперсии и их логарифмы для вариантов опыта

Вариант	Степени свободы, $df$	Дисперсия, $s_i^2$	Код $s_i^2$	Логарифм кода $s_i^2$	Средние
Мыши, контроль	3	0,0255	25,5	1,41	1,1100
Мыши, получавшие витамин	3	0,0046	4,6	0,66	1,2550
Цыплята, контроль	3	0,0118	11,8	1,07	2,0225
Цыплята, получавшие витамин	3	0,0048	4,8	0,68	2,1100
Овцы, контроль	3	0,0055	5,5	0,74	3,7850
Овцы, получавшие витамин	3	0,0033	3,3	0,52	3,8300
Суммы	18		55,5	5,08	
Средняя			9,250		
Логарифм средней			0,9661		

$$\chi^2 = 2,3026 \times 3 \times [(6 \times 0,9661) - 5,08] = 4,950.$$

$$\text{Корректирующий фактор: } C = 1 + \frac{6+1}{3 \times 6 \times 3} = 1,13.$$

$$\chi^2 \text{ приведенный} = \frac{4,950}{1,13} = 4,38.$$

$\chi_{01}^2 = 15,086$ .  $\chi_{\text{факт.}}^2 < \chi_{\text{теор.}}^2 = 4,38 < 15,09$  – это значит, что  $H_0$ -гипотеза подтверждается (как помните, она сформулирована следующим образом: «дисперсия в выборках одинаковая»). Следовательно, выполнено предположение об однородности дисперсий.

Для проведения проверки на слагаемость мы рассчитаем эффекты блоков и вариантов на основе преобразованных данных (табл. 135).

Таблица 135 – Эффекты блоков и вариантов

Вариант	Блок				Среднее, $\bar{Y}_i$	Эффект варианта, $\bar{Y}_i - \bar{Y}_{..}$
	I	II	III	IV		
Мыши, контроль	0,91	1,13	1,10	1,30	1,11	-1,24
Мыши, получавшие витамин	1,16	1,26	1,28	1,32	1,26	-1,09
Цыплята, контроль	1,95	2,13	1,91	2,10	2,02	-0,33
Цыплята, получавшие витамин	2,05	2,17	2,05	2,17	2,11	-0,24
Овцы, контроль	3,69	3,80	3,78	3,87	3,79	1,44
Овцы, получавшие витамин	3,76	3,84	3,82	3,90	3,83	1,48
Среднее	2,25	2,39	2,32	2,44	2,35	
$\bar{Y}_j - \bar{Y}_{..}$	-0,10	0,04	-0,03	0,09		

Вычисляем критерий Тьюки, сумму квадратов неслагаемости.

$$Q = [0,91 \times (-0,10) \times (-1,24)] + \dots + (3,90 \times 2,44 \times 1,48) = -0,2798.$$

$$SS \text{ неслагаемости} = \frac{-0,2798^2 \times 24}{0,12132 \times 28,60433} = 0,00541.$$

Чтобы оценить существенность (достоверность) суммы квадратов неслагаемости, расчлняем ошибку:

Источник вариации	Степени свободы, $df$	Сумма квадратов, $SS$	Средний квадрат, $MS$	$F$ -критерий	$F_{01}$
Ошибка	15	0,04556			
Неслагаемость	1	0,00541	0,00541	1,885	8,862
Остаток	14	0,04015	0,00287		

$F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$  ( $1,885 < 8,862$ ), что служит доказательством слагаемости эффектов, т. е. выполнено и это предположение дисперсионного анализа.

Таким образом, мы получили доказательства в обоснованности нового анализа, поскольку преобразованные данные отвечают всем предположениям дисперсионного анализа, а исходные даты не соответствовали ни одному из предположений.

### 5.8.7.3. Преобразования через квадратный корень

Результаты подсчета таких переменных, как количество сорняков на делянке или насекомых, попавших в ловушку<sup>38</sup>, иногда приближаются к распределению, называемому распределением Пуассона. Это распределение характеризуется тем, что дисперсия пропорциональна средней и не подчиняется правилу слагаемости эффектов. Данные с распределением Пуассона можно приблизить к нормальному распределению, с одновременным достижением относительной независимости дисперсий от средних, преобразовав их путем извлечения квадратных корней  $\sqrt{Y}$  или  $\sqrt{Y+1}$  ( $\sqrt{Y+0,5}$ ), если некоторые подсчеты дают небольшие значения (не более 10).

В качестве примера рассмотрим опыт по изучению эффективности 7 гербицидов, проведенный по схеме рендомизированных блоков с четырехкратной повторностью. Результаты подсчета количества сорняков на 1 м<sup>2</sup> посева представлены в таблице 136.

Выполним дисперсионный анализ. Его результаты таковы (табл. 137):

<sup>38</sup> Часто их называют редким событием. Под редким событием понимают событие, вероятность наступления которого для любого индивидуума составляет очень малую величину.

Таблица 136 – Количество сорняков, шт./ м<sup>2</sup>

Вариант	Блок				Сумма	Сред- ние	Диспер- сия( $s_i^2$ )
	I	II	III	IV			
1	5	7	4	1	17	4,25	6,25
2	2	1	6	1	10	2,50	5,67
3	6	2	1	0	9	2,25	6,92
4	1	0	2	0	3	0,75	0,92
5	1	0	1	2	4	1,00	0,67
6	5	14	9	15	43	10,75	21,58
7	8	6	3	6	23	5,75	4,25

Таблица 137 – Результаты дисперсионного анализа

Источник вариации	Степени свободы, $df$	Сумма квadra- тов, $SS$	Средний квadraт, $MS$	$F$ - критерий	$F_{05}$
Блоки (повторения)	3	2,11	0,70	0,09	3,16
Варианты (гербицид)	6	293,93	48,99	6,45	2,66
Ошибка (остаточная дисперсия)	18	136,64	7,59		

Преобразуем все данные путем извлечения квадратного корня  $\sqrt{Y+1}$  и записываем в таблицу 138

Таблица 138 – Преобразованные данные численности сорняков

Вариант	Блок				Сумма	Сред- ние	Дис- персия ( $s_i^2$ )	Урав- нове- шенные средние преоб- разо- ванных дат
	I	II	III	IV				
1	2,45	2,83	2,24	1,41	8,93	2,23	0,36	3,97
2	1,73	1,41	2,65	1,41	7,2	1,80	0,34	2,24
3	2,65	1,73	1,41	1,00	6,79	1,70	0,49	1,89
4	1,41	1,00	1,73	1,00	5,14	1,29	0,13	0,66
5	1,41	1,00	1,41	1,73	5,55	1,39	0,09	0,93
6	2,45	3,87	3,16	4,00	13,48	3,37	0,51	10,36
7	3,00	2,65	2,00	2,65	10,3	2,58	0,17	5,66

Итоги дисперсионного анализа преобразованных дат представлены в таблице 139.

Результаты этих двух анализов мало различаются, поскольку оба показали очень существенный эффект вариантов. Некоторые важные различия появятся при оценке частных различий (выделение существенных средних).

Таблица 139 – Результаты дисперсионного анализа

Источник вариации	Степени свободы, $df$	Сумма квадратов, $SS$	Средний квадрат, $MS$	$F$ -критерий	$F_{05}$
Блоки (повторения)	3	0,280	0,093	0,28	3,16
Варианты (гербицид)	6	13,048	2,175	6,51	2,66
Ошибка (остаточная дисперсия)	18	6,014	0,334		

Произведем сравнение средних, используя многогранговый критерий Дункана. Результаты этих сравнений представлены в таблице 140. После преобразования данных не выявлено существенных различий между вариантами 6 и 7, что было выявлено на основе исходных данных.

Таблица 140 – Оценка исходных и преобразованных дат по многогранговому критерию Дункана (5%-ный уровень)

Выделение существенных средних из	Вариант						
	6	7	1	2	3	5	4
	среднее значение						
Исходных дат	10,75	5,75	4,25	2,50	2,25	1,00	0,75
Уравновешенных средних преобразованных дат	10,36	5,66	3,97	2,24	1,89	0,93	0,66

Следует обратить внимание, что в таблице 140 размещены «уравновешенные средние преобразованных дат». Используя критерий Дункана, сравниваются преобразованные данные, но затем для удобства интерпретации и демонстрации результатов осуществляют обратный переход первоначальные величины. Переход производится путем возведения преобразованных средних в квадрат и вычитания 1. Средние, полученные таким образом, будут меньше исходных данных, потому что произошло перераспределение значений переменной. Именно это и требовалось сделать, поскольку в распределении Пауссона малые значения переменной соразмеряются меньшей выборочной ошибкой, чем большие значения.

Фактически при подготовке научного отчета по такому эксперименту лучше использовать эти взвешенные средние с примечанием о способе их получения. В общем эффект преобразования данных через квадратный корень сводится к увеличению точности измерения различий между малыми средними.

Преобразование через квадратный корень устранило нарушение предположения дисперсионного анализа о независимости дисперсий и средних. Далее последовательно, как было описано ранее, проводится проверка компонентов ошибки, однородности дисперсий исходных дат и слагаемости главных эффектов.

Зачастую данные, требующие преобразования через квадратный корень, не нарушают столь глубоко предположений дисперсионного анализа, как данные, требующие логарифмического преобразования. Во всяком случае, изменения в результатах анализа, связанные с этим преобразованием, не так выразительны.

#### 5.8.7.4 Преобразования через арксинус или угол

В тех случаях, когда переменная представляет собой долю определенного вида объектов, т. е. выражена в процентах или долях к объему общей выборки, распределение ее приближается к биномиальной форме (биномиальное распределение). В данных, подчиняющихся биномиальному распределению, дисперсии стремятся принять малые величины по краям всего размаха значений переменной (приближающихся к нулю и 100%), а большие дисперсии сосредотачиваются в центре (около значения в 50%). Преобразование таких данных производится через угол, синус которого является квадратным корнем из доли (процент/100) или процента и называется угловым преобразованием или преобразованием через арксинус – арксинус $\sqrt{Y}$  или  $^{-1}\sqrt{Y}$ . Данные следует преобразовывать, если размах между отдельными данными превышает 40%. В других случаях это не всегда целесообразно.

*Пример.* В опыте, проведенном по схеме рандомизированных блоков, изучалось влияние 12 вариантов предпосевной обработки семян на их всхожесть. Результаты подсчета проросших семян представлены в таблице 141. Варианты расположены в таблице в порядке возрастания их средних.

Анализируя дисперсию? необходимо отметить меньшую ее величину по краям ранжированного ряда, большую – в центре. Это типично для биномиальных данных. Проверяем однородность дисперсий по Бартлетт-критерию.

Таблица 141 – Число проросших семян из 50 высеванных

Вариант	Повторение			Сумма	Средние	Дисперсия ( $s_i^2$ )	$\log s_i^2$ ( $10 \times s_i^2$ )
	1	2	3				
1	0	0	1	1	0,33	0,33	0,519
2	0	0	1	1	0,33	0,33	0,519
3	2	0	0	2	0,67	1,33	1,124
4	17	10	17	44	14,67	16,33	2,213
5	13	18	18	49	16,33	8,33	1,921
6	24	13	18	55	18,33	30,33	2,482
7	34	39	29	102	34,00	25,00	2,398
8	42	41	40	123	41,00	1,00	1,000
9	41	39	40	120	40,00	1,00	1,000
10	45	42	48	135	45,00	9,00	1,954
11	49	46	48	143	47,67	2,33	1,367
12	50	49	48	147	49,00	1,00	1,000
	Сумма					96,31	17,497
	10 × средняя					80,2583	
	log (10 × средняя)					1,9045	

Неприведенный  $\chi^2 = 2,3026 \times 2 \times [(12 \times 1,9046) - 17,49] = 24,71$ .

Корректирующий фактор  $C = 1 + [(12+1)/(3 \times 12 \times 2)] = 1,1806^{39}$

<sup>39</sup> При разных объемах выборок используется формула  $C = 1 + \frac{1}{3(l-1)} \times \left( \sum \frac{1}{df} - \frac{1}{\sum df} \right)$ .

$$\text{Приведенный } \chi^2 = \frac{24,71}{1,1806} = 20,93.$$

$\chi^2_{\text{факт.}} \geq \chi^2_{05} = 20,93 \geq 19,68$ . Это свидетельствует о неоднородности дисперсий. Следовательно, данные нуждаются в преобразовании.

Дисперсионный анализ исходных дат дает следующие результаты (табл. 142).

Таблица 142 – Результаты дисперсионного анализа исходных дат

Источник вариации	Степени свободы, $df$	Сумма квадратов, $SS$	Средний квадрат, $MS$	$F$ -критерий	$F_{05}$
Блоки (повторения)	2	16,727	8,364	1,05	3,44
Варианты	11	12247,893	1113,445	139,23	2,26
Ошибка (остаточная дисперсия)	22	175,940	7,997		

Следует обязательно рассчитать  $HCP$ -критерий, который необходим для определения критерия Дункана. В нашем опыте  $HCP_{05}=4,78$ .

Преобразуем данные через арксинус. Вначале необходимо каждое значение переменной выразить долей или процентом от выборки. В нашем примере выборка составляла 50 семян, чтобы выразить в процентах, надо умножить на 2 [50–100 %, а 5 – (5×100/50)]. Находить арксинус можно в специальных таблицах или воспользоваться функциями Excel: введите в ячейку таблицы «=ГРАДУСЫ(ASIN(КОРЕНЬ(число/100)))». Преобразованные данные заносим в таблицу 143. Вычисляем средние значения, дисперсии, логарифмы дисперсий.

Таблица 143 – Данные, преобразованные через арксинус

Вариант	Повторение			Сумма	Среднее	Дисперсия ( $s_i^2$ )	$\log s_i^2$
	1	2	3				
1	0,0	0,0	8,1	8,10	2,70	21,870	1,34
2	0,0	0,0	8,1	8,10	2,70	21,870	1,34
3	11,5	0,0	0,0	11,50	3,83	44,083	1,64
4	35,7	26,6	35,7	98,00	32,67	27,603	1,44
5	30,7	36,9	36,9	104,50	34,83	12,813	1,11
6	43,9	30,7	36,9	111,50	37,17	43,613	1,64
7	55,6	62,0	49,6	167,20	55,73	38,453	1,58
8	66,4	64,9	63,4	194,70	64,90	2,250	0,35
9	64,9	62,0	63,4	190,30	63,43	2,103	0,32
10	71,6	66,4	78,5	216,50	72,17	36,843	1,57
11	81,9	73,6	78,5	234,00	78,00	17,410	1,24
12	90,0	81,9	78,5	250,40	83,47	34,903	1,54
	Сумма					303,814	27,11
	10 × средняя					253,178	
	log (10 × средняя)					2,403	

Определенная система расположения дисперсий в ряду, наблюдаемая для исходных дат, полностью нарушается после преобразования. Выполним проверку однородности дисперсий после преобразования дат по Бартлетт-критерию.

Неприведенный  $\chi^2 = 7,949$ ;  $C = 1,1806$ , как и прежде. Приведенный  $\chi^2 = 6,733$ .  $\chi^2_{\text{факт.}} \geq \chi^2_{05} = 6,733 \geq 19,68$ . Это свидетельствует об однородности дисперсий.

Дисперсионный анализ преобразованных дат, возможно, не изменяет выводов, сделанных на основе анализа исходных дат (табл. 144).

Таблица 144 – Результаты дисперсионного анализа преобразованных дат

Источник вариации	Степени свободы, $df$	Сумма квадратов, $SS$	Средний квадрат, $MS$	$F$ -критерий	$F_{05}$
Блоки (повторения)	2	97,3	48,650	2,10	3,44
Варианты	11	29225,8	2656,891	114,52	2,26
Ошибка (остаточная дисперсия)	22	510,4	23,200		

Важное отличие выясняется не после общего анализа, а в результате оценки частных разностей. Произведем сравнение средних по вариантам исходных и преобразованных дат с помощью многогранного критерия Дункана. Сравнение этих результатов показывает, что после преобразования 1) выявлены существенные различия 8–9 и 10–11 вариантов, которые были несущественными до преобразования; 2) не выявлено существенных различий вариантов 6–7 и 5–6, которые были существенными до преобразования.

Выводы о различиях необходимо делать на основании анализа преобразованных дат, как более обоснованного, т. к. выполняются все предположения дисперсионного анализа. Еще раз напомним:

– преобразование дат производится не для получения желательных результатов, а с целью обеспечения обоснованного анализа и получения правильных выводов;

– при выполнении преобразований все критерии проверки существенности и выделения существенных средних следует проводить с преобразованными данными;

– для получения правильно взвешенных средних вначале вычисляют средние преобразованных дат, а затем производят обратный переход к исходным единицам.

В заключение еще раз обобщим принцип применения дисперсионного анализа для оценки экспериментальных данных. Итак, в основе дисперсионного анализа лежат следующие главные предположения: 1) случайность и нормальность распределения компонентов ошибки, 2) однородность дисперсий, 3) независимость дисперсий и средних и 4) слагаемость главных эффектов. Прежде чем приступить к анализу, проверяем экспериментальные данные на соответствие этим предположениям. Для проверки распределения компонентов ошибки вычисляем остаточную

дисперсию для каждого варианта; однородность дисперсий оценивается «критерием однородности дисперсий Бартлетта»; независимость дисперсий и средних – отношением стандартных отклонений к средним; слагаемость главных эффектов – по критерию Тьюки. Если они серьезно нарушены, применение дисперсионного анализа становится необоснованным.

Для устранения несоответствия данных предположениям можно использовать преобразования. Когда стандартные отклонения линейно сходны со средними, а главные эффекты не слагаемы (мультипликативны), то логарифмическое преобразование устраняет оба эти отклонения. Данные учетов редких явлений, где дисперсии связаны со средними, следует преобразовывать через квадратные корни; выражаемые в долях или процентах – через арксинус или угол.

Если было проведено преобразование, то все оценки существенности и выбор средних необходимо проводить на основании преобразованных данных. Используемый тип преобразования необходимо указывать при интерпретации результатов. Обратный переход к исходным единицам, если это необходимо, следует делать лишь после вычисления средних преобразованных данных.

#### **5.8.8. «Восстановление» выпавших данных**

*Истинное знание состоит не в знакомстве с фактами – это создает только педант, а в умении пользоваться фактами – это создает философа.*

**Г. Бокль**

Прежде, чем приступать к дисперсионному анализу после занесения исходных данных в таблицу предварительных расчетов, их внимательно анализируют. Сомнительные наблюдения (варианты) проверяются на принадлежность к выборке. «Не принадлежащие» исключаются. Часто возникают ситуации, когда отдельные наблюдения утрачиваются в результате гибели и потери отдельного наблюдения (делянки). Очевидно, что в результате выпадения данных опыт становится неполным, а сравнение вариантов при различном количестве составивших их повторений – невозможным или очень затрудненным.

Выбраковка сомнительных величин или потеря данных ведет к нарушению слагаемости сумм квадратов отклонений и чисел степеней свободы. Чтобы корректно провести дисперсионный анализ, выбракованные и утраченные наблюдения необходимо «восстановить», т. е. вычислить их вероятно возможные значения. Наиболее вероятное выпавшее значение вычисляют исходя из наличия сопряженных результатов по повторениям и вариантам. При этом вычисленное выпавшее значение не должно ничего изменять в фактических эффектах вариантов, т. е. вычисленное выпавшее значение должно обеспечить такую эффективность действия изучаемого фактора, которая была бы равна средней эффективности во всех оставшихся наблюдениях. В таблице предварительных расчетов дисперсионного анализа восстановленные наблюдения заключаются в скобки или отмечаются любым другим способом.

При выполнении дисперсионного анализа комплексов, включающих восстановленные наблюдения:

а) число степеней свободы для остаточной дисперсии (ошибок) уменьшается на число восстановленных величин;

б) для оценки частных различий рассчитывают *НСР* для каждой пары сравнений (или ровно столько, чтобы можно было сравнивать выборки (варианты) с разным числом наблюдений (повторений).

«Восстановление» утраченных данных в опыте, выполненном методом рендомизированных блоков. Не вдаваясь в теорию, рассмотрим на конкретном примере «восстановление» выпавших дат (наблюдений). Обратимся к уже рассматриваемому примеру и предположим, что были утрачены деланки в 1-ом, 2-ом и 3-ем вариантах соответственно во 2-ом, 3-ем и 4-ом повторениях (табл. 145).

Таблица 145 – Урожайность зерна риса, ц/га

Вариант)	Урожайность по повторениям, X				Число наблюдений
	1	2	3	4	
1 (стандарт)	50,6		53,2	51,9	3
2	55,8	54,8		53,5	3
3	54,5	49,8	50,2		3
4	64,8	64,5	67,8	67,0	4
5	49,6	47,8	50,8	49,4	4
6	61,5	58,1	58,4	55,8	4
7	68,9	67,5	69,8	71,4	4
Суммы по повторениям для вариантов без выпавших данных (4+5+6+7)	244,80	237,90	246,80	243,60	
Среднее по повторениям для вариантов без выпавших данных (4+5+6+7)	61,20	59,48	61,70	60,90	

Для вычисления вероятного значения выпавших данных необходимо рассчитать:

– средние значения по повторениям для вариантов без выпавших данных, т. е. в нашем примере для вариантов 4, 5, 6 и 7;

– среднее для вариантов с выпавшими данными, по имеющимся наблюдениям (повторениям);

– эффекты вариантов с выпавшими данными (датами); логика вычисления заключается в следующем: различия средних по повторениям, вычисленных по вариантам с полным набором деланок, обусловлены в основном пестротой плодородия почвы. Разность между средней для вариантов без повторения с выпавшими данными (датой, наблюдением, повторением) и средней по варианту с восстанавливаемой датой (вычисленной по оставшимся наблюдениям, повторениям) и будет средним эффектом варианта с выпавшими данными, т. е. если бы данные не были бы утеряны или повреждены, то они отличались бы от средней по этому повторению на величину, названную Б.А. Доспеховым «эффектом вариантов».

Наиболее удобная вспомогательная таблица для «восстановления» данных, по-нашему мнению предложена Б.А. Доспеховым, поэтому позаимствуем ее. Заполните таблицу. В строку «Среднее по повторениям для вариантов без выпавших данных (4+5+6+7)» колонки 2–5 записываем данные из таблицы 146.

Таблица 146 – Вспомогательная таблица для «восстановления» выпавших данных

Варианты		Повторения				Средние для варианта		
		I	II	III	IV	1	2	3
колонка строка	1	2	3	4	5	7	8	9
1	1	50,6	–	53,2	51,9	51,9	–	–
2	2	55,8	53,0	–	53,5	–	54,1	–
3	3	54,5	49,8	50,2	–	–	–	51,5
4	Среднее по повторениям для вариантов без выпавших данных (4+5+6+7)	61,20	59,48	61,70	60,90	61,27	60,34	60,79
5	Эффекты вариантов с выпавшими данными	–	–	–	–	-9,37	-6,24	-9,29
Восстановленная дата								
6	1	–	50,11	–	–	–	–	–
7	2	–	–	55,46	–	–	–	–
8	3	–	–	–	51,61	–	–	–

Производим вычисления:

1. Вычисляем средние для вариантов с выпавшими данными (вариант 1, 2, 3) по фактически имеющимся данным и записываем в колонки 7, 8, 9 соответственно в строки 1, 2 и 3:

$$\bar{x}_1 = (50,6 + 53,2 + 51,9) / 3 = 51,9$$

$$\bar{x}_2 = (55,8 + 53,0 + 53,5) / 3 = 54,1$$

$$\bar{x}_3 = (54,5 + 49,8 + 50,2) / 3 = 51,5$$

2. Вычисляем среднее значение для вариантов без повторения с выпавшими данными:

для 1-го варианта без II повторения –  $(61,2 + 61,7 + 60,9) / 3 = 61,27$  (записываем в строку 4, колонку 7),

для 2-го варианта без III повторения –  $(61,2 + 59,48 + 60,9) / 3 = 60,34$  (записываем в строку 4, колонку 8),

для 3-го варианта без IV повторения –  $(61,2 + 59,48 + 61,7) / 3 = 60,79$  (записываем в строку 4, колонку 9).

3. Вычисляем эффект каждого варианта с выпавшими данными:

варианта 1:  $51,9 - 61,27 = -9,37$  (записываем в строку 5, колонку 7);

варианта 2:  $54,1 - 60,34 = -6,24$  (записываем в строку 5, колонку 8);

варианта 3:  $51,5 - 60,79 = -9,29$  (записываем в строку 5, колонку 9).

4. Вычисляем вероятное значение выпавших данных:

для 1-го варианта II повторения –  $X_{12} = 59,48 + (-9,37) = 50,11$  (записываем в строку 6, колонку 3),

для 2-го варианта III повторения –  $X_{23} = 61,70 + (-6,24) = 55,46$  (записываем в строку 7, колонку 4),

для 3-го варианта IV повторения –  $X_{34} = 60,90 + (-9,29) = 51,61$  (записываем в строку 8, колонку 5).

Теперь произведем дисперсионный анализ используя восстановленные данные (табл. 147).

Таблица 147 – Урожайность зерна риса, ц/га (таблица предварительных расчетов)

Вариант	Урожайность по повторениям, X				Суммы по вариантам V	Средние по вариантам
	1	2	3	4		
1 (стандарт)	50,6	50,1	53,2	51,9	205,80	51,45
2	55,8	53,0	55,5	53,5	217,80	54,45
3	54,5	49,8	50,2	51,6	206,10	51,53
4	64,8	64,5	67,8	67,0	264,10	66,03
5	49,6	47,8	50,8	49,4	197,60	49,40
6	61,5	58,1	58,4	55,8	233,80	58,45
7	68,9	67,5	69,8	71,4	277,60	69,40
Сумма по повторениям P	$P_1=405,7$	$P_2=390,8$	$P_3=405,7$	$P_4=400,6$	$1602,8=\sum X=$ $=\sum P=\sum V$	$57,24=$ $\bar{x} =$ $=\sum X/N$

Обычным образом вычисляем:

Общее число наблюдений  $N = l \cdot n = 7 \cdot 4 = 28$ .

Корректирующий фактор  $C = (\sum X)^2 : N = (1602,8)^2 : 28 = 91748,85$ .

Общая сумма квадратов  $C_Y = \sum X^2 - C = (50,6^2 + 50,1^2 + \dots + 71,4^2) - 91748,85 = 1510,05$ .

Сумма квадратов для повторений  $C_P = \sum P^2 : l - C = (405,7^2 + 390,8^2 + 405,7^2 + 400,6^2) : 7 - 91748,85 = 21,15$ .

Сумма квадратов для вариантов  $C_V = \sum V^2 : n - C = (205,8^2 + 217,8^2 + \dots + 277,6^2) : 4 - 91748,85 = 1447,77$ .

Остаточную сумму квадратов  $C_Z = C_Y - C_P - C_V = 1510,05 - 21,15 - 1447,77 = 41,13$ .

При определении степеней свободы необходимо уменьшить их число для остаточной дисперсии (ошибки) на число восстановленных (выпавших) наблюдений (дат, повторений). Степени свободы для:

общей дисперсии  $N - 1 = 28 - 1 = 27$ ,

дисперсии повторений  $n - 1 = 3 - 1 = 3$ ,

дисперсии вариантов  $l - 1 = 7 - 1 = 6$ ,

остаточной дисперсии  $[(n - 1) \cdot (l - 1)] - 3 = [(4 - 1) \cdot (7 - 1)] - 3 = 15$ .

Средний квадрат вычисляют для варьирования по:  
 повторениям  $C_P : (n-1) = 21,15 : 3 = 7,05$ ;  
 вариантам  $C_V : (l-1) = 1447,77 : 6 = 241,30$ ;  
 остаточной дисперсии  $C_Z : \{[(n-1) \cdot (l-1)] - 3\} = 41,13 : 15 = 2,74$   
*F*-критерий:

$$\text{для повторений } F_{\text{факт}} = S_P^2 : S_Z^2 = 7,05 : 2,74 = 2,57$$

$$\text{для вариантов } F_{\text{факт}} = S_V^2 : S_Z^2 = 241,30 : 2,74 = 88,07.$$

По таблице или в Microsoft Excel с помощью функции «FРАСПОБР» находим критическое (теоретическое) значение *F*-критерия для выбранного уровня значимости, исходя из 6 степеней свободы для дисперсии вариантов (числитель) [или 3 степеней свободы для дисперсии повторений (числитель)] и 15 степеней свободы для остаточной дисперсии (знаменатель).

Полученные результаты заносим в таблицу дисперсионного анализа (табл. 148).

Таблица 148 – Результаты дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	<i>F</i> -критерий			
				$F_{\text{факт}}$	$F_{05}$	$F_{01}$	$F_{001}$
Общая $C_Y$	1510,05	27					
Повторений $C_P$	21,15	3	7,05	2,57	3,29	5,42	9,34
Вариантов $C_V$	1447,77	6	241,30	88,07	2,79	4,32	7,09
Остаточная $C_Z$ (случайные отклонения, ошибки)	41,13	15	2,74				

Нулевая гипотеза ( $H_0$ -гипотеза) отвергается при  $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{теор.}}$ . В данном примере существенных различий между повторениями нет даже на самом низком уровне значимости:  $2,57 < \{3,29; 5,42; 9,34\}$ . Напротив, различия между вариантами существенны даже на самом высоком уровне значимости  $88,07 > \{2,79; 4,32; 7,09\}$ .

Переходим к оценке частных различий по критерию *HCP*. При определении существенности частных различий в опыте с восстановленными данными необходимо учитывать число фактических дат (наблюдений), лежащих в основе вычисления статистических показателей. Следовательно, ошибки разности средних и *HCP* вычисляют как в неравномерных дисперсионных (статистических) комплексах. А именно, для каждой пары сравнений с одинаковой выборкой. В нашем опыте необходимо вычислить эти два показателя для сравнения вариантов, имеющих по 4 повторения, по 3 повторения и для сравнения вариантов, представленных 3 повторениями с вариантами, представленными 4 повторениями, т. е. три ошибки разности средних и три *HCP*.

По результатам дисперсионного анализа вычислим:

обобщенную ошибку средней  $s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{C_Z}{(n_1 + n_2 + \dots + n):l}}$

$$= \sqrt{\frac{2,74}{(3+3+3+4+4+4+4):7}} = 0,13 \text{ ц/га}$$

и ошибки разности средней при сравнении:

вариантов 4, 5, 6 7 ( $n=4$ ) –  $s_d'' = \sqrt{\frac{2C_Z}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,74}{4}} = 1,17 \text{ ц/га};$

вариантов 1, 2 и 3 ( $n=3$ ) –  $s_d' = \sqrt{\frac{2C_Z}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,74}{3}} = 1,35 \text{ ц/га};$

вариантов 1, 2 и 3 ( $n=3$ ) с вариантами 4, 5, 6 7 ( $n=4$ )

$$s_d''' = \sqrt{C_Z \frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}} = \sqrt{2,74 \frac{3+4}{3 \cdot 4}} = 1,26 \text{ ц/га.}$$

Рассчитываем *HCP* для выбранного нами уровня значимости в абсолютных и относительных показателях для сравнения:

вариантов 4, 5, 6 7 ( $n=4$ )  $HCP'_{05} = t_{05} \cdot s_d' = 2,13 \times 1,17 = 2,49 \text{ ц/га};$

вариантов 1, 2 и 3 ( $n=3$ )  $HCP''_{05} = t_{05} \cdot s_d'' = 2,13 \times 1,35 = 2,88 \text{ ц/га};$

вариантов 1, 2 и 3 ( $n=3$ ) с вариантами 4, 5, 6 7 ( $n=4$ )

$HCP'''_{05} = t_{05} \cdot s_d''' = 2,13 \cdot 1,26 = 2,68 \text{ ц/га.}$

Значения *t*-критерия для выбранного уровня значимости ( $t_{05}$ ,  $t_{01}$  или  $t_{001}$ ) находят по таблице значений критерия Стьюдента или в программе Microsoft Excel функция «СТЮДРАСПОБР» для числа степеней свободы остаточной дисперсии 15.

Проведем парные сравнения вариантов (табл. 149).

Таблица 149 – Урожайность риса, ц/га

Вариант	Урожайность	Разность со стандартом, ц/га	<i>HCP</i> <sub>05</sub>	Группа
1 (стандарт)	51,45		–	II
2	54,45	3,00	2,88	I
3	51,53	0,08	2,88	II
4	66,03	14,58	2,68	I
5	49,40	-2,05	2,68	II
6	58,45	7,00	2,68	I
7	69,40	17,95	2,68	I

**Вывод.** Подкормка риса сульфатом меди влияет на урожайность риса. По реакции на подкормку сорта 3 и 5 не отличаются от стандарта, поэтому отнесем их к одной группе II; сорта 2, 4, 6 и 7 под влиянием подкормки формируют значительно более высокую урожайность – отнесем их к группе I.

Если из учета выпадает только одна делянка, то для вычисления ее вероятного значения целесообразно воспользоваться формулой:

$$X' = \frac{(l \sum V + n \sum P) - \sum X}{(l-1)(n-1)},$$

где:  $l$  – число вариантов;

$n$  – число повторений;

$\sum V$  – сумма данных (наблюдений) варианта, где имеется выпавшее наблюдение;

$\sum P$  – сумма данных (наблюдений) повторения, в котором имеется выпавшее наблюдение;

$\sum X$  – общая сумма всех данных (наблюдений) в опыте.

*Пример.* Предположим, что в рассматриваемом ранее примере утрачено одно наблюдение: в 1-ом варианте выпала делянка во 2-ом повторении (табл. 150).

Таблица 150 – Урожайность риса, ц/га

Варианты	Повторности				Суммы $V$
	1	2	3	4	
1	50,6	<del>50,1</del>	53,2	51,9	$\sum V=155,70$
2	55,8	53,0	55,5	53,5	217,80
3	54,5	49,8	50,2	51,6	206,10
4	64,8	64,5	67,8	67,0	264,10
5	49,6	47,8	50,8	49,4	197,60
6	61,5	58,1	58,4	55,8	233,80
7	68,9	67,5	69,8	71,4	277,60
Суммы $P$		$\sum P=340,70$			$\sum X=1552,7$

Дисперсионный комплекс состоит из 7-ми вариантов ( $l=7$ ) и 4-х повторений ( $n=4$ ).

Сумма всех данных (наблюдений) варианта с выпавшим наблюдением  $\sum V = 50,6+53,2+51,9 = 155,7$ .

Сумма всех данных (наблюдений) повторения с выпавшим наблюдением  $\sum P = 53,0+49,8+ \dots 67,5 = 340,7$ .

Общая сумма всех данных (наблюдений) в опыте  $\sum X = 155,7 + 217,8 + \dots + 277,6 = 1552,7$  или, что одно и тоже  $\sum X = 50,6 + 53,2 + \dots 71,4 = 1552,7$ . Подставляем вычисленные значения в формулу:

$$X' = \frac{(l \sum V + n \sum P) - \sum X}{(l-1)(n-1)} = \frac{(7 \cdot 155,7) + (4 \cdot 340,7) - 1552,7}{(7-1) \cdot (4-1)} = 50,0.$$

Воспользоваться формулой  $X' = \frac{(l \sum V + n \sum P) - \sum X}{(l-1)(n-1)}$  для «восстановления» утраченных данных (наблюдений) можно и при утрате несколь-

ких дат. Этот метод получил название «Метод последовательных приближений». Его сущность состоит в том, что восстанавливаем даты постепенно, подставляя вычисленное вероятное значение вместо утраченного. Этот цикл повторяется до тех пор, пока два раза подряд не получим одинаковые значения выпавших дат. Расчеты производят в следующей последовательности:

1. Составим таблицу аналогичную таблице 150, в которой оставим лишь одну утраченную дату, а вместо другой(их) подставим среднее значение по варианту, вычисленное на основании сохранившихся дат (наблюдений).

2. По формуле вычислим вероятное значение первой выпавшей даты.

3. Вновь составим таблицу, которой вместо первой выпавшей даты поставим ее вычисленное вероятное значение, а «восстанавливать» будем другую дату (в ячейке таблицы удаляем подставленное ранее среднее значение по варианту, вычисленное на основании сохранившихся дат).

4. Выполняем действия п. 2.

5. Выполняем действия п. 3: вновь вычисляем вероятное значение первой выпавшей даты, с учетом вычисленного вероятного значения второй выпавшей даты.

6. Действия п. 2 и 3 (4 и 5) повторяем до тех пор, пока два раза подряд не получим одинаковых значений «восстанавливаемых» дат.

«Восстановление» утраченных данных в опыте, выполненном методом латинского квадрата. В опытах, выполненных методом латинского квадрата, для восстановления одной утраченной даты пользуются формулой:

$$X' = \frac{n(\sum P + \sum C + \sum V) - 2 \sum X}{(n-1)(n-2)}$$

где:  $n$  – число рядов, столбцов, вариантов;

$\sum P$ ,  $\sum C$  и  $\sum V$  – суммы данных того ряда, столбца и варианта, в котором находится выпавшая дата (наблюдение);

$\sum X$  – сумма всех данных (наблюдений) в опыте).

*Пример.* Предположим, что утрачено одно наблюдение: выпала деланка 1-го варианта в 3-ем ряду, 3-ем столбце. Дисперсионный комплекс состоит из, 5-ти вариантов, 5-ти рядов и 5-ти столбцов ( $n=5$ ) (табл. 151).

Вычисляем сумму данных ряда, столбца и варианта, в котором находится выпавшая дата (наблюдение), а также общую сумму всех данных в опыте:

$$\sum P = 55,4 + 57,3 + 51,4 + 55,4 = 219,5 \text{ (сумма данных третьего ряда);}$$

$$\sum C = 52,2 + 58,9 + 56,5 + 56,0 = 223,6 \text{ (сумма данных третьего столбца);}$$

$$\sum V = 54,9 + 56,9 + 54,9 + 53,3 = 220,5 \text{ (сумма первого варианта);}$$

$$\sum X = 54,9 + 50,7 + \dots + 50,8 = 1305,0 \text{ (сумма всех данных опыта).}$$

Вычисляем вероятное значение выпавшей даты:

$$X' = \frac{n(\sum P + \sum C + \sum V) - 2 \sum X}{(n-1)(n-2)} = \frac{5(219,5 + 223,6 + 220,5) - 2 \cdot 1305,0}{(5-1)(5-2)} = 58,8.$$

Таблица 151 – Урожайность риса, ц/га

Ряд	Столбец					Суммы по		Среднее по вариантам
	1	2	3	4	5	рядам, P	вариантам, V	
1	54,9(1)	50,7(2)	52,2(3)	53,0(4)	53,4(5)	219,5=ΣP	220,0=ΣV	55,0
2	54,4(4)	53,3(3)	58,9(5)	54,3(2)	56,9(1)			
3	55,4(5)	57,3(4)		51,4(3)	55,4(2)			
4	53,8(3)	54,9(1)	56,5(2)	59,6(5)	53,5(4)			
5	51,8(2)	53,3(5)	56,0(4)	53,3(1)	50,8(3)			
Суммы по столбцам, C			223,6=ΣC			1305,0=ΣX сумма всех данных опыта		

Восстановление нескольких выпавших дат ведут методом последовательных приближений.

### 5.9. Ковариация и ковариационный анализ

*Ковариационный анализ – это распространение методов дисперсионного анализа на случай нескольких переменных, а также корреляционного и регрессионного анализов на общие схемы полевых, вегетационных и лабораторных экспериментов.*

**Б.А. Доспехов**

В математической статистике под *ковариацией* понимается среднее произведение отклонений двух переменных от их средних:

$$cov = \frac{\sum(X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{n - 1}.$$

В литературе также встречается и другое обозначение ковариации « $s_{xy}$ ».

В более широком смысле ковариацией называется совокупность трех статистических показателей: средних арифметических  $x$  и  $y$ , сумм квадратов отклонений  $\sum(X - \bar{x})$  и  $\sum(Y - \bar{y})$  и суммы произведений отклонений  $\sum(X - \bar{x})(Y - \bar{y})$ . Ковариация может быть как положительной, так и отрицательной.

Ковариационный анализ представляет собой сочетание дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов, т. е. *одновременный анализ сумм квадратов и сумм произведений отклонений двух или более*

*переменных от их средних.* Параллельное разложение этих величин по факторам варьирования и составляет суть ковариационного анализа.

Ковариационный анализ широко используется в агрохимических исследованиях для повышения точности результатов полевого опыта. При постановке полевых экспериментов часто приходится сталкиваться с неоднородностью условий опыта и невозможностью контролировать это явление. Неоднородны, например, плотность популяции живых организмов на растениях, густота растительного покрова и агроценоза; на плодовых культурах резко различаются физиологические особенности и плодоношение отдельных деревьев. Эта пестрота природных условий часто искажает результаты эксперимента и может привести к ошибочным выводам. Избежать этого можно посредством ковариационного анализа, позволяющего определить существенность связи между исходным варьированием изучаемого фактора и конечными результатами опыта путем внесения при необходимости соответствующих исправлений.

Ковариационный анализ позволяет установить соотношение между вариацией зависимой переменной, например урожая  $Y$ , и вариацией, сопутствующей эксперименту переменной  $X$ , например исходным состоянием многолетних деревьев, густотой стояния растений, содержанием в почве питательных веществ и т. д. Если вариация сопутствующей переменной не обусловлена изучаемым фактором и при этом она связана с изучаемой переменной, имеется возможность провести статистическое выравнивание условий эксперимента. Статистический контроль над сопутствующей опыту переменной дает возможность получить такой конечный результат, который был бы получен при сохранении величины  $X$  на постоянном уровне. Это заметно уточняет результаты опыта, снижает его ошибку.

В общем виде схема проведения ковариационного анализа включает три последовательных этапа:

1. Дисперсионный анализ значений переменных  $X$ ,  $Y$  и их произведений  $XY$ ;

2. Разложение суммы квадратов случайного варьирования  $C_Z$  зависимой переменной  $Y$  (остаток I) на сумму квадратов отклонений  $C_b$ , связанных с регрессией  $Y$  по  $X$ , и сумму квадратов отклонений от регрессии  $C_{d_{y \cdot x}}$  (остаток II), т. е. случайного варьирования с исключенной регрессией;  $C_Z$  (остаток I) =  $C_b + C_{d_{y \cdot x}}$  (остаток II);

3. Приведение фактических средних по ряду  $Y$  к полной выравненности условий эксперимента по ряду сопутствующей переменной  $X$ .

Расчеты производят по следующим формулам:

1. Дисперсионный анализ значений переменных  $X$ ,  $Y$  и их произведений  $XY$  выполняется обычным путем (см. раздел дисперсионного анализа);

2. Сумма квадратов отклонений, связанных с регрессией  $Y$  по  $X$ , определяется по формуле:

$$C_b = \frac{[\sum(X - \bar{x})(Y - \bar{y})]^2}{\sum(X - \bar{x})^2};$$

3. Сумма квадратов отклонений от регрессии  $C_{d_{y \cdot x}}$  (остаток II), т. е. случайного варьирования с исключенной регрессией:

$$C_{d_{y,x}} = C_Z - C_b;$$

4. Коэффициент регрессии  $Y$  по  $X$  :

$$b_{yx} = \frac{\sum(X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sum(X - \bar{x})^2};$$

5. Корректировка результативного признака  $Y$  проводится по уравнению:

$$Y_1 = Y + b_{yx}(\bar{x} - X),$$

где:  $Y_1$  – скорректированное значение даты переменной;  
 $Y$  – фактическое значение даты переменной;  
 $b_{yx}$  – коэффициент регрессии  $Y$  по  $X$ ;  
 $\bar{x} - X$  – разность между средним по опыту значением независимой переменной  $\bar{x}$  и фактическим ее значением  $X$ .

Корректное применение ковариационного анализа предполагает независимое от изучаемого фактора (вариантов опыта) распределение случайной величины переменной  $X$ . Если она имеет отношение к изучаемым вариантам, то исключение ее эффекта неправомерно, т. к. это ведет к исключению части эффекта варианта. Например, при различной густоте стояния растений на делянках опыта, обусловленной повреждением вредителями, мелиоративным состоянием поля и т. п., поправка на изреженность может улучшить точность измерения эффектов вариантов; а при изучении предпосевного обогащения семян микроэлементами поправок на густоту стояния растений делать нельзя, т. к. она является результатом действия изучаемых вариантов.

Повысить точность оценки эффектов вариантов в результате применения ковариационного анализа можно, если на изучаемый признак (зависимая переменная):

- может оказать заметное влияние разное исходное состояние условий эксперимента – плодородие почвы, мощность многолетних растений, продуктивность пастбищ в году, предшествующем изучению, и т. п., которые могут быть измерены в начале опыта;

- в процессе эксперимента оказывают влияние не зависящие от изучаемого фактора (вариантов опыта) причины – выпадение растений и повреждение их болезнями, вредителями, птицами и т. д.

Проиллюстрируем последовательность расчетов и интерпретацию результатов ковариационного анализа. Пример использования ковариационного анализа для корректировки значений признака по вариантам и соседних с ними стандартов описан в разделе дисперсионного анализа результатов полевого опыта, поставленного стандартным методом. В этом разделе рассмотрим пример наиболее часто используемого приложения ковариационного анализа – введение поправки на «изреженность», т. е. приведение данных урожайности к одинаковой густоте стояния растений. Пример заимствован у Б.А. Доспехова (1979).

В таблице 152 представлены данные учета урожайности и густоты стояния растений с хлопчатника.

Таблица 152 – Густота стояния растений и урожая хлопчатника

Вариант	Густота стояния растений X, тыс. шт./га				Сумма $V_x$	Средние $x$	Урожайность Y, ц/га				Сумма $Y_y$	Средние $y$
	1	2	3	4			1	2	3	4		
1	78,1	64,3	75,2	70,0	287,6	71,9	38,2	36,4	40,1	41,1	155,8	39,0
2	70,1	60,2	73,4	75,6	279,3	69,8	37,7	37,0	39,7	41,5	155,9	39,0
3	75,1	62,2	75,0	76,4	288,7	72,2	42,4	40,1	44,7	46,8	174,0	43,5
4	70,4	78,0	76,1	65,5	290,0	72,5	36,9	38,5	37,2	34,2	146,8	36,7
Суммы $P_x$ и $P_y$	293,7	264,7	299,7	287,5	1145,6	71,6	155,2	152,0	161,7	163,6	632,5	39,6

Расчеты начинают с вычислений сумм и средних дисперсионного комплекса, включающего: вариантов  $l=4$ , повторений  $n=4$ ,  $N=l \times n=4 \times 4=16$ . Правильность расчетов сумм проверяют по соотношению:  $\Sigma V_x = \Sigma P_x = \Sigma X$  и  $\Sigma V_y = \Sigma P_y = \Sigma Y$ .

Для рядов X (густота стояния растений) и Y (урожай) вычисляют суммы квадратов и суммы произведений XY (ковариация):

1. Для ряда X:

$$\text{Корректирующий фактор } C = (\Sigma X)^2 : N = (1145,6)^2 : 16 = 82025,0.$$

$$C_Y = \Sigma X^2 - C = (78,1^2 + 64,3^2 + 75,2^2 + 70,0^2 + \dots + 70,4^2 + 78,0^2 + 76,1^2 + 65,5^2) - 82025,0 = 497,5;$$

$$C_P = \Sigma P_x^2 : l - C = (293,7^2 + 264,7^2 + 299,7^2 + 287,5^2) : 4 - 82025,0 = 175,5;$$

$$C_V = \Sigma V_x^2 : n - C = (287,6^2 + 279,3^2 + 288,7^2 + 290,0^2) : 4 - 82025,0 = 17,5;$$

$$C_Z = C_Y - C_P - C_V = 497,5 - 175,5 - 17,5 = 304,5.$$

2. Для ряда Y:

$$C = (\Sigma Y)^2 : N = (632,5)^2 : 16 = 25003,5;$$

$$C_Y = \Sigma Y^2 - C = (38,2^2 + 36,4^2 + 40,1^2 + \dots + 38,5^2 + 37,2^2 + 34,2^2) - 25003,5 = 158,0;$$

$$C_P = \Sigma P_y^2 : l - C = (155,2^2 + 152,0^2 + 161,7^2 + 163,6^2) : 4 - 25003,5 = 22,2;$$

$$C_V = \Sigma V_y^2 : n - C = (155,8^2 + 155,9^2 + 174,0^2 + 146,8^2) : 4 - 25003,5 = 97,7;$$

$$C_Z = C_Y - C_P - C_V = 158,0 - 22,2 - 97,7 = 38,1.$$

3. Суммы произведений XY:

$$C = (\Sigma X) \times (\Sigma Y) : N = (1145,6 \times 632,5) : 16 = 45287,0;$$

$$C_Y = \Sigma XY - C = [(78,1 \times 38,2) + (64,3 \times 36,4) + (75,2 \times 40,1) + (70,0 \times 41,1) + \dots + (70,4 \times 36,9) + (78,0 \times 38,5) + (76,1 \times 37,2) + (65,5 \times 34,2)] - 45287,0 = 129,3;$$

$$C_P = \Sigma P_x P_y : l - C = [(293,7 \times 155,2) + (264,7 \times 152,0) + (299,7 \times 161,7) + (287,5 \times 163,6)] : 4 - 45287,0 = 41,3;$$

$$C_V = \Sigma V_x V_y : n - C = [(287,6 \times 155,8) + (279,3 \times 155,9) + (288,7 \times 174,0) + (290,0 \times 146,8)] : 4 - 45287,0 = 2,2;$$

$$C_Z = C_Y - C_P - C_V = 129,3 - 41,3 - 2,2 = 85,9.$$

Для дальнейших расчетов запишем полученные значения в таблицу ковариационного анализа (табл. 153).

Таблица 153 – Результаты ковариационного анализа

Источник вариации	Число степеней свободы	Сумма квадратов и произведений			Средний квадрат	$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$	$F_{01}$
		ряд $X$	ряд $XY$	ряд $Y$				
Общая	15	497,50	129,30	158,00	–			–
Повторений	3	175,50	41,30	22,20	–			–
Вариантов	3	17,50	2,20	97,70	32,57	18,72	4,07	32,57
Остаток I	9	304,50	85,80	38,10	4,23			4,23
По линии регрессии $C_b$	1	-	-	24,18	24,18	13,90	5,32	24,18
Остаток II	8	-	-	13,92	1,74			1,74

Остаток I позволяет вычислить два показателя:

1) коэффициент регрессии:

$$b_{yx} = \frac{\sum xy}{\sum x^2} = \frac{85,8}{304,5} = 0,28 \text{ ц};$$

коэффициент регрессии показывает, что при изменении количества растений на 1 тыс. шт./га урожайность изменяется на 0,28 ц/га.

2) сумму квадратов для регрессии:

$$C_b = \frac{(\sum xy)^2}{\sum x^2} = \frac{85,8^2}{304,5} = 24,18$$

при 1 степени свободы;

3) остаточная сумма квадратов после корректировки:

Остаток II = остаток I –  $C_b = 38,1 - 24,18 = 13,92$  при 8 (9–1) степенях свободы.

Средний квадрат остатка II, характеризующий ошибку опыта после внесения поправок, снизился почти в 2,5 раза (1,74 против 4,23).

Используя обычные формулы, вычисляем средние квадраты и  $F_{\text{факт.}}$ .  $F_{\text{теор.}}$  находим, используя справочные таблицы или функцию ФРАС-ПОВР в Microsoft Excel. В нашем примере вклад регрессии в дисперсию вариантов значим ( $F_{\text{факт.}} > F_{05}$  13,90 > 5,32) в связи с чем целесообразно провести корректировку урожайности (табл. 154).

Таблица 154 – Внесение поправок в средний урожай

Вариант	$X$	$\bar{x} - X$	$b_{yx}(\bar{x} - X) = 0,28(\bar{x} - X)$	Урожайность	
				фактическая $Y$	корректированная $Y_1 = Y + b_{yx}(\bar{x} - X)$
1	71,9	-0,3	-0,084	38,9	38,8
2	69,8	1,8	0,504	38,9	39,4
3	72,2	-0,6	-0,168	43,5	43,3
4	72,5	-0,9	-0,252	36,7	36,4
Среднее по опыту	$\bar{x} = 71,6$	0,00	0,00	$\bar{y} = 39,5$	$\bar{y}_1 = 39,5$

Для анализа частных различий вычисляют:

– ошибку средней разности:

$$s_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{s_{II}^2}{n}} = \sqrt{\frac{1,74}{4}} = 0,7 \text{ ц};$$

– ошибку разности средних  $s_d$ :

$$s_d = \sqrt{\frac{2s_{II}^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,74}{4}} = 0,9 \text{ ц};$$

– наименьшую существенную разность:

$$HCP_{05} = t_{05} s_d = 2,31 \times 0,9 = 2,08 \text{ ц.}$$

( $t_{05}=2,31$  при 8 степенях свободы)

Существенными на 5 % уровне значимости являются разности превышающие 2,08 ц.

### 5.10. Пробит-анализ

*Математика должна оказывать помощь, а не служить в качестве руководящей идеи.*

**В. Иогансен**

Для оценки силы воздействия повреждающих факторов, в частности пестицидов, микробиологических препаратов, радиоактивного излучения на биологические объекты используется специальный статистический метод – *количественный пробит-анализ*, разработанный С.І. Bliss (1935).

Основное и единственное назначение пробит-анализа заключается в определении смертельной или эффективной дозы некоторого фактора для живых объектов. Он является частным случаем корреляционного анализа, когда связь между изучаемыми явлениями выражается кривой регрессии S-образной формы. Эта кривая несимметрична – крутизна изгиба нижней и

верхней кривой неодинакова. Такая кривая лучше всего описывает зависимость между долей отрицательно (или положительно) реагирующих особей на биологически активный препарат (рис. 104). Называют их *кривые смертности*, *кривые эффекта* или *кривая доза-эффект*.

При изучении силы действия повреждающих факторов (излучений, химических средств борьбы с вредителями, болезнями и сорняками) чувствительность биологических объектов (определенного вида вредителей к инсектицидам или сорня-

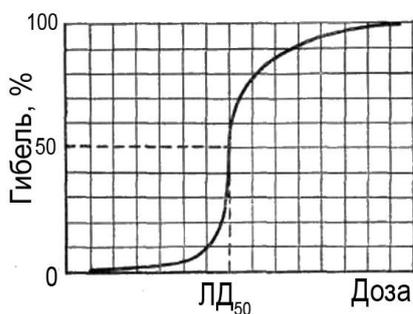


Рис. 104. Типичная кривая, выражающая зависимость доза-эффект

ков к гербицидам) характеризуется дозой, вызывающей полную их гибель, т. е. летальной дозой – ЛД (LD, CD). Величина ЛД<sub>50</sub> показывает, какая доза препарата необходима для данной популяции, чтобы вероятность гибели особей составляла 50 %, ЛД<sub>90</sub> – 90 % и т. д. В связи с тем, что чувствительность каждой особи индивидуальна, можно определить лишь среднее значение повреждающего фактора для группы особей. Величину ЛД устанавливают статистически. Если изучается действие фактора в форме наступления или не наступления, какого-либо события, например, хлороз листьев, повреждение точки роста, пожелтение центральной жилки листа и т. п., оперируют понятием эффективная доза (E<sub>30</sub>, E<sub>50</sub>, E<sub>90</sub> и т. д.).

Сложность постановки эксперимента по оценке воздействия повреждающих факторов состоит в том, что установить летальную дозу для отдельной особи практически невозможно, т. к. даже при получении смертельной дозы живой объект погибает не сразу, а через определенный промежуток времени. Если доза не летальная, то в этот промежуток времени биологический объект восстанавливается в первоначальном состоянии, которое, однако, не бывает полным. Поэтому для выявления ЛД экспериментатор не может добавлять дозу повреждающего фактора через определенные промежутки времени. Чтобы обойти эти трудности, принято выделять несколько групп биологических объектов (сорняков, возбудителей болезней, вредителей) – по группе на каждую дозу, и воздействовать на них повреждающим фактором с различным уровнем. Когда эффект действия фактора проявится, проводят подсчет погибших объектов. Для повышения точности оценки при планировании эксперимента необходимо учесть следующее:

- количество результативных исследуемых доз (уровней фактора) должно быть не менее 5, включать контроль и иметь 4-5 кратную повторность;
- исследуемые дозы должны изменяться в пропорциональном соотношении 1, 2, 4, 8, 16 и т. д.
- по исследуемым дозам должен быть достигнут 50%-ный эффект действия;
- наиболее достоверная интерпретация зависимости «доза-эффект» возможна в диапазоне эффектов от 16 до 84%.

Сущность пробит-анализа состоит в планировании и проведении эксперимента по определению зависимости «доза-эффект», линейной интерполяции и оптимизации параметров этой зависимости и, в конечном итоге, статистического расчета величины дозы, соответствующей заданному эффекту.

Математическая оценка данных зависимости процента гибели особей от различных доз препаратов, представленная в виде S-кривых, а также их практическое использование сложны и неудобны. Составление уравнения криволинейной регрессии для S-образной зависимости существенно не отличается от любых других криволинейных регрессий, описанных в разделе «Корреляция, регрессия».

При моделировании кривой «доза-эффект» необходимо соблюдение ряда вероятностных предположений:

- соответствие нормальному закону распределения генеральной совокупности данных;

- наличие репрезентативной выборки экспериментальных данных по дозам и повторностям эффекта воздействия;
- выбор уровня вероятности, соответствующего точности проводимого эксперимента (90, 95 и 99%).

Если экспериментальные данные соответствуют этим ограничениям, выполняется обычная процедура по трансформированию S-образной криволинейной зависимости в линейную. С этой целью исходные данные доз или концентраций препарата и соответствующие им показатели процентов гибели особей переводят в условные единицы. Для трансформации показателей процентов гибели используют условные единицы, называемые пробитами (*от англ. probability unit* – вероятностная единица). Перевод экспериментальных данных в пробиты производят с помощью специальной таблицы (табл. 155). Дозы или концентрации препаратов проще всего трансформировать путем перевода их значений в десятичные логарифмы.

Таблица 155 – Таблица для преобразования процента частоты гибели особей в пробиты

Единицы Десятки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	<u>5,00</u>	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	<u>6,64</u>	6,75	6,88	7,05	7,33
									99,99 %	– 8,72

Преобразовав исходные данные, строят график. На оси абсцисс откладывают логарифмы доз изучаемого препарата (или дозы облучения), а по оси ординат – процентное выражение гибели подопытных особей, трансформированные в пробиты. На этом графике легко определить ЛД<sub>50</sub>, а также приблизительно оценить любые другие значения дозы, соответствующие определенному проценту летальности.

Определять дозы по такому графику не только неудобно, но и не очень точно. Более точные результаты дает решение уравнения регрессии, по которому рассчитывают дозы для любого значения критерия ЛД. Чтобы решить это уравнение необходимо криволинейную зависимость преобразовать в линейную. Ось абсцисс, на которой откладываются дозы препарата ( $D$ ), преобразуют путем перевода дозы в логарифм дозы:  $x = \lg D$ . Если откладывать по оси абсцисс не дозы препарата ( $D$ ), а их логарифмы  $x$ , то получится симметричная кривая, которая часто имеет такой же вид, как и логарифмическая кривая накопленных частностей нормального распределения. Для ее преобразования в прямую (спрямления нормальной кривой) по

оси ординат откладывают значения  $y=\Psi(p)$ . Коэффициенты уравнения линейной регрессии рассчитывают по методу наименьших квадратов.

Например, необходимо оценить ЛД<sub>30</sub>, ЛД<sub>50</sub> и ЛД<sub>95</sub> препарата для уничтожения сорняков. Дозы препарата, общее число и погибших сорных растений приведены в таблице 156.

Таблица 156 – Исходные данные и промежуточные расчеты для определения ЛД гербицида

Доза D, г/га	Число сорных растений n, шт./м <sup>2</sup> .	Число погибших растений n <sub>1</sub> , шт./м <sup>2</sup> .	Доля погибших растений, p	$x=\lg D$ (ось X)	$y=\Psi(p)$	Значение пробит (ось Y), $y_1=y+5$
1	2	3	4	5	6	7
350	32	1	0,031	2,544	-1,87	3,13
425	27	5	0,185	2,628	-0,90	4,10
500	39	15	0,385	2,699	-0,29	4,71
575	34	18	0,529	2,760	0,07	5,07
650	30	23	0,767	2,813	0,73	5,73

В графе 1–3 записаны дозы препарата и результаты учета его действия. Вычисляем долю погибших растений  $p=n_1/n_2$  и  $x=\lg D$ , используя функцию Microsoft Excel «=LOG10(число)». Для доли погибших растений  $p$  находим значения функции, обратной к интегралу вероятностей  $\Psi(p) = y=\Psi(p)$ , с помощью функции «=НОРМ.СТ.ОБР(вероятность)» [«=НОРМ.СТ.ОБР(0,031)» возвращает значение -1,87 и т. д.]. При  $p<0,5$  значения  $y$  отрицательны. Чтобы избежать неудобств, заменяют  $y$  на  $y_1=y+5 = \Psi(p)+5$  (вместо 5 можно использовать любое другое положительное число, которое заведомо обеспечит только положительные значения  $y$ ; 5 – это минимально возможное для этого число; все вспомогательные таблицы составлены для  $\Psi(p)+5$ ). Величина  $y_1 = \Psi(p)+5$  называется *пробитом*. Строим точечный график, наносим на него линию линейного тренда, уравнение регрессии и точность аппроксимации (рис. 105).

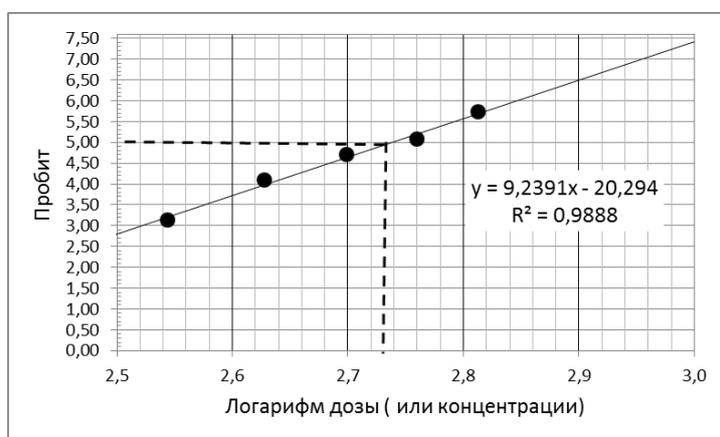


Рис. 105. График зависимости «доза-эффект».

Зависимость количества погибших растений, выраженное в пробитах ( $y_1 = \psi(p) + 5$ ), от логарифма дозы ( $x = \lg D$ ) описывается уравнением линейной регрессии  $y_1 = a + bx$  или  $\psi(p) + 5 = a + b \lg D$ . В нашем примере  $\psi(p) + 5 = 9,2391 \lg D - 20,294$ , где  $y = \psi(p) + 5$ ,  $x = \lg D$ ,  $b = 9,2391$ ,  $a = -20,294$ .  $R^2 = 0,9888$  указывает, что 98,88 % варьирования переменной  $y$  обусловлено изменчивостью переменной  $x$ . Чтобы определить ЛД<sub>50</sub> следует в уравнение регрессии подставить значение пробита для 50 % гибели сорных растений, которое берется из таблицы для преобразования процента частоты гибели особей в пробиты (табл. 155), и вычислить  $\lg D_{50}$ :

$$\psi(p) + 5 = a + b \lg D;$$

$$\lg D_{50} = \frac{(\psi(p) + 5) - a}{b}.$$

Пробит для 50 % гибели равен 5.

$$\lg D_{50} = \frac{(\psi(p) + 5) - a}{b} = \frac{5 - (-20,294)}{9,2391} = 2,738.$$

Для перехода от  $\lg D_{50}$  к дозе в натуральном измерении необходимо найти антилогарифм  $\lg 2,738$  равный 547. Таким образом, ЛД<sub>50</sub> = 547 г/га. Аналогичным образом вычисляют ЛД для любого процента гибели биологических объектов. Например, для ЛД<sub>95</sub>:

$$\lg D_{95} = \frac{(\psi(p) + 5) - a}{b} = \frac{6,65 - (-20,294)}{9,2391} = 2,916; \text{ ЛД}_{95} = 824 \text{ г/га.}$$

Найти значения ЛД можно и по графику (рис. 105). От пробита искомого процента гибели биологических объектов проводят горизонтальную линию до пересечения с линией регрессии и опускают перпендикуляр. На пересечении с осью  $X$  будет  $\lg D$  соответствующий выбранному проценту гибели. Антилогарифм этого логарифма соответствует искомой дозе.

Если имеется таблица перевода процента гибели в пробиты (табл. 155), то расчеты можно упростить (табл. 157). Строим график: по оси  $X$  откладываем  $\lg D$ ,  $Y$  – пробит. Линию регрессии проводим визуально, а при использовании Microsoft Excel – прокладываем линию тренда. Дальнейшие действия аналогичны описанным ранее.

Таблица 157 – Исходные данные для пробит-анализа

Доза D, г/га	Средняя гибель, %	$\lg D$ (ось X)	Значение пробит (ось Y)
350	3	2,544	3,12
425	19	2,628	4,12
500	38	2,699	4,69
575	53	2,760	5,08
650	77	2,813	5,74

Если зависимая переменная оценивается по шкале качественных признаков в баллах, то для проведения пробит-анализа следует провести преобразование, например в доли единицы. Рассмотрим технику расчетов на примере Г.Н. Зайцева (1984), оценивавшего зимостойкость интродуцированных в Ленинградскую область 80 экзотических древесных растений от географической широты их естественных ареалов (табл. 158).

Таблица 158 – Пробит анализ данных по зимостойкости деревьев

Широта, $X^{\circ}$ с.ш.	Устойчи- вость (Y), балл	Доля от едини- цы (вероятность проявления зи- мостойкости), $p$	$x=lgX$ (ось X)	$y=\psi(p)$	Значение пробит (ось Y), $\psi(p)+5$
1	2	3	4	5	6
20	5	0,999	1,301	3,09	8,09
30	4,74	0,948	1,477	1,63	6,63
35	3,76	0,752	1,544	0,68	5,68
40	2,86	0,572	1,602	0,18	5,18
45	1,71	0,342	1,653	-0,41	4,59
50	1,2	0,240	1,699	-0,71	4,29
59	1,01	0,202	1,771	-0,83	4,17

В 1 и 2 графу таблицы записываем исходные данные: географическую широту в градусах с. ш. ( $X$ ) и зимостойкость в баллах шкалы Вольфа ( $Y$ ). Значения функции  $Y$  преобразуем в доли единицы ( $p$ ). Для этого все значения переменной  $Y$  последовательно делим на ее максимальную величину (графа 3):  $5/5=1$  (~0,999),  $4,74/5=0,948$ ,  $3,76/5=0,752$  и т. д. Находим обратное значение стандартного нормального распределения для вероятностей из графы 3 из справочных таблиц или с помощью функции «=НОРМ.СТ.ОБР(вероятность)»: «=НОРМ.СТ.ОБР(0,999)» равно 3,09, «=НОРМ.СТ.ОБР(0,948)» равно 1,63 и т. д. (графа 5). Наконец прибавляем к полученным величинам 5 и получаем пробит (графа 6).

Строим график: по оси абсцисс откладываем  $lgX$ , ординат – пробит. В Microsoft Excel рассчитываем уравнение линейной регрессии (программа использует метод наименьших квадратов отклонений); наносим на график линию регрессии и уравнение регрессии (рис. 106).

Значение  $ED_{50}$  вычисляем так же, как и  $LD_{50}$ .  $lgX_{50} = 1,636$ , что соответствует  $ED_{50}=43,2^{\circ}$  с. ш. При необходимости выделить максимально широкую зону достоверного действия изучаемого фактора или норму данного явления находят среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ ). Это можно сделать двумя путями. Первый – определить  $\sigma$  по графику. В пробит-анализе  $\sigma$  располагается на 16 и 84 % суммарного эффекта изучаемого фактора, что соответствует 4 и 6 пробитам. На оси пробитов находим точки, соответствующие 4 и 6 пробитам, проводим перпендикуляры до пересечения с линией регрессии, откуда опускаем перпендикуляры до пересечения с осью  $X$  – это логарифмы  $\sigma$ :  $-\sigma=lg1,524$  и  $+\sigma=lg1,747$ , что соответствует  $33,3^{\circ}$  и  $55,8^{\circ}$  с. ш. Второй путь – рассчитать эти параметры по уравнению регрессии, которое в анализируемых экспериментальных данных  $y=-9,0078X+19,734$ , как это делалось в примерах, приведенных ранее. Интерпретировать полученные ре-

зультаты можно следующим образом: граница между ареалами зимостойких и не зимостойких для Ленинградской области древесными растениями проходит по  $43,2^{\circ}$  ш. ( $E_{50}$ ), северная и южная границы умеренной зоны в Европейской части РФ – соответственно по  $33,3^{\circ}$  и  $55,8^{\circ}$  ш.

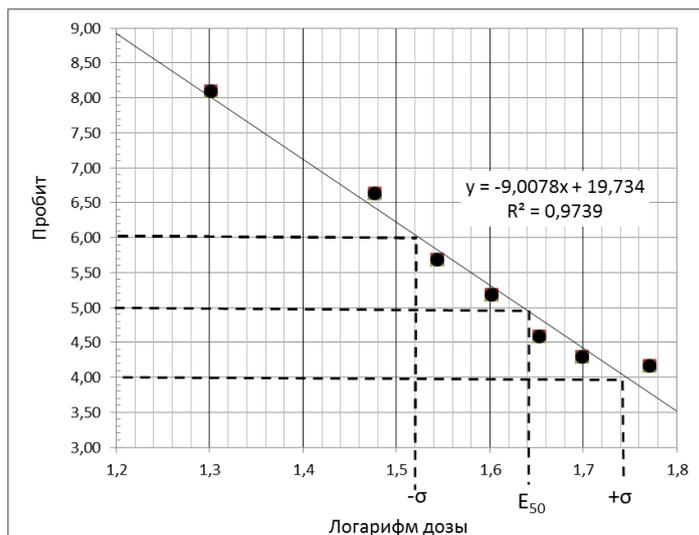


Рис. 106. График зависимости зимостойкости деревьев от широты их естественного ареала

Как видим, результаты расчета летальных и эффективных доз произведенных различными способами несколько различаются. В пробит-анализе главной причиной неточностей является обычно то, что логарифмическая кривая эффекта, даже для генеральной совокупности, не всегда имеет точности нормальную форму.

### 5.11 Кластерный анализ<sup>40</sup>

*Группировка – это непростой технический прием, позволяющий представить первичные данные в комплексном виде, но и глубоко осмысленное действие, направленное на выявление связей между явлениями.*

Г.Ф. Лакин

Кластерный анализ (от англ. *Cluster* – гроздь, скопление) решает задачу построения классификации, то есть разделения исходного множества объектов на группы (классы, кластеры). Варианты кластерного анализа – это множество вычислительных процедур, используемых для классификации объектов. *Классификация объектов* – это группирование их в классы так, чтобы объекты в каждом классе были более похожи друг на друга, чем на объекты из других классов. Более точно, *кластерный анализ* – это процедура упорядочивания объектов в сравнительно однородные классы на основе попарного сравнения этих объектов по предварительно определенным и измеренным критериям. При этом предполагается, что у исследователя нет данных ни о составе классов, ни об их отличии друг от

<sup>40</sup> Автор раздела докт. биол. наук С.Н. Щеглов

друга. Приступая к кластерному анализу, исследователь располагает лишь информацией о характеристиках (признаках) для объектов, позволяющей судить о сходстве (различии) объектов. В литературе часто встречаются синонимы кластерного анализа: автоматическая классификация, таксономический анализ, анализ образов (без обучения).

Техника кластеризации применяется в самых различных областях. Например, в области генетики и селекции появляется возможность провести классификацию некоторых генотипов (сортов) по комплексу признаков. При обычном подходе к классификации это невозможно. Допустим, если ранжировать значения каждого признака от большего к меньшему, можно попытаться выбрать лучшие генотипы (сорта). Но этот способ неэффективен, т. к. будут наблюдаться сильные различия в рангах и выбрать лучшую группу будет затруднительно. Кластерный анализ – это комбинаторная процедура, учитывающая одновременно все признаки и имеющая простой и наглядный результат.

Можно указать ряд *задач*, при решении которых кластерный анализ является более эффективным, чем другие многомерные методы:

- разбиение совокупности объектов на группы по измеренным признакам с целью дальнейшей проверки причин межгрупповых различий по внешним критериям;

- применение кластерного анализа как значительно более простого и наглядного аналога факторного анализа, когда ставится только задача группировки признаков на основе их корреляции;

- классификация объектов на основе непосредственных оценок различий между ними.

Несмотря на различие целей проведения кластерного анализа, можно выделить общую его последовательность как ряд относительно самостоятельных шагов, играющих существенную роль в прикладном исследовании:

1. Выбор переменных-критериев для кластеризации.
2. Выбор способа измерения расстояния между объектами, или кластерами.
3. Формирование кластеров.
4. Интерпретация результатов.
5. Проверка достоверности разбиения на классы.

Необходимость развития и использования методов кластерного анализа продиктована прежде всего тем, что они помогают построить научно обоснованные классификации, выявить внутренние связи между единицами наблюдаемой совокупности. Построение классификаций особенно актуально для слабоизученных явлений, когда необходимо установить наличие связей внутри совокупности и попытаться привнести в нее структуру.

Методы кластерного анализа могут применяться с целью сжатия информации, в условиях постоянного увеличения и усложнения потоков статистических данных. При этом в задачах прогнозирования весьма перспективно сочетание кластерного анализа с другими количественными методами (с корреляционно-регрессионным, факторным анализом и т.п.).

Как и любой другой метод, кластерный анализ имеет определенные *недостатки* и ограничения. Так, состав и количество кластеров зависит от выбираемых критериев разбиения. При сведении исходного массива данных к более компактному виду могут возникнуть определенные искажения,

а также потеряться индивидуальные черты отдельных объектов за счет замены их характеристик обобщенными значениями параметров кластеров.

Методы кластерного анализа можно разделить на две большие группы: агломеративные (объединяющие) и дивизимные (разделяющие). Агломеративные (от слова *agglomerate* – собирать) методы последовательно объединяют отдельные объекты в группы (кластеры), а дивизимные (от слова *division* – разделять) методы расчленяют группы на отдельные объекты. В свою очередь каждый метод как объединяющего, так и разделяющего типа может быть реализован при помощи различных алгоритмов. В частности наиболее доступным и поэтому наиболее популярным можно считать иерархический агломеративный кластерный анализ. Следует заметить, что как агломеративные, так и дивизимные алгоритмы трудоемки, и их сложно использовать для больших исследуемых совокупностей. Результаты реализации таких алгоритмов для большого удобства их визуального анализа принято изображать графически в виде дендрограммы (дерева).

В кластерном анализе существуют также методы, которые трудно отнести к первой или ко второй группе. Это так называемые итеративные методы. Сущность их заключается в том, что процесс классификации начинается с задания некоторых начальных условий (количество образуемых кластеров, порог завершения процесса классификации и т.д.). Итеративные методы в интуиции при выборе типа классификационных процедур и задания начальных условий разбиения, т. к. большинство этих методов очень чувствительны к изменению задаваемых параметров. Например, выбранное случайным образом число кластеров может не только сильно увеличить трудоемкость процесса классификации, но и привести к образованию «размытых» или мало наполняемых кластеров. Поэтому целесообразно сначала провести классификацию по одному из иерархических методов или на основании экспертных оценок, а затем уже подобрать начальное разбиение и статистический критерий для работы итерационного алгоритма.

В отличие от агломеративных и дивизимных методов итеративные алгоритмы могут привести к образованию пересекающихся кластеров, когда один объект может одновременно принадлежать нескольким кластерам.

Один из таких методов – *метод k-средних* – принадлежит к группе итеративных методов эталонного типа. Само название метода было предложено Дж. Мак-Куином в 1967 г.

В отличие от иерархических процедур, метод k-средних не требует вычисления и хранения матриц расстояний между объектами. Алгоритм этого метода предполагает использование только исходных значений. Для начала процедуры классификации должны быть заданы  $k$  случайно выбранных объектов, которые будут служить эталонами, то есть центрами кластеров. Считается, что алгоритмы эталонного типа достаточно удобны и быстродейственны. В этом случае важную роль играет выбор начальных условий, которые влияют на длительность процесса классификации и на его результаты.

Еще одним из итеративных методов классификации является метод поиска сгущений. Он не требует начального задания числа кластеров.

В теории и на практике существует несколько различных модификаций этого метода. Каждая модификация отличается задаваемым началь-

ным состоянием и критериями завершения классификации. Например, суть итеративного алгоритма типа «форель» заключается в применении гиперсферы заданного радиуса, которая перемещается в пространстве классификационных признаков с целью поиска локальных сгущений точек. Схема данного алгоритма в общем виде выглядит следующим образом.

Метод поиска сгущения требует вычисления матрицы расстояний между объектами. Затем выбирается объект, который является первоначальным центром первого кластера. Выбор такого объекта может быть произвольным, а может основываться на предварительном анализе точек и их окрестностей. При использовании второго подхода можно значительно сократить число итераций, приводящих к распределению всех точек по кластерам.

Выбранная точка принимается за центр гиперсферы заданного радиуса  $R$ . Определяется совокупность точек, попавших внутрь этой сферы, и для них вычисляются координаты центра (вектор средних значений признаков). Далее вновь рассматривается гиперсфера того же радиуса, но с новым центром, и для совокупности попавших в нее точек опять рассчитывается вектор средних значений, он принимается за новый центр сферы и т.д. Когда очередной пересчет координат центра сферы приводит к такому же результату, как и на предыдущем шаге, перемещение сферы прекращается, а точки, попавшие в нее, образуют кластер и из дальнейшего процесса кластеризации исключаются. Для всех оставшихся точек процедуры повторяются, то есть опять выбирается произвольный объект, который является первоначальным центром сферы радиуса  $R$ , и т.д. Существуют доказательства сходимости этого алгоритма для любых начальных точек и для совокупностей различного объема. Таким образом, работа алгоритма завершается за конечное число шагов и все точки оказываются распределенными по кластерам. Число образовавшихся кластеров заранее неизвестно и сильно зависит от выбора радиуса сферы.

Под *объектами* будем подразумевать конкретные предметы исследования, нуждающиеся в классификации. Такими объектами могут быть, например, особи растений и животных, сорта, гибриды и т.п.

*Признак* (свойство, переменная, характеристика) представляет собой конкретное свойство объекта.

Обычной формой представления исходных данных в задачах кластерного анализа служит прямоугольная матрица «объект – признак»:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{pmatrix}.$$

каждая строка которой представляет собой результат измерений  $k$  рассматриваемых признаков на одном из  $n$  обследованных объектов. В конкретных ситуациях может представлять интерес как группировка объектов, так и группировка признаков. В тех случаях, когда разница между этими двумя задачами несущественна, например, при описании некоторых алгоритмов, будем пользоваться только термином «объект», включая в это понятие и «признак».

Приведем пример, пусть имеется 13 объектов, у которых измерено два признака  $X$  и  $Y$  (табл. 159).

Таблица 159 – Совокупность объектов с двумя признаками

Объект	Признак X	Признак Y
1	28	20
2	12	47
3	26	16
4	37	28
5	36	26
6	11	44
7	12	45
8	37	25
9	27	15
10	10	46
11	34	24
12	28	17
13	11	48

Непосредственный анализ таблицы данных не позволяет увидеть то, что является очевидным, но после построения диаграммы рассеяния (рис. 107) совокупность объектов распадается на три хорошо различимые группы.

Объекты внутри кластера более «похожи» друг на друга, чем на объекты других групп. Таким образом, кластерный анализ ориентирован на выделение некоторых геометрически удаленных групп, внутри которых объекты близки.

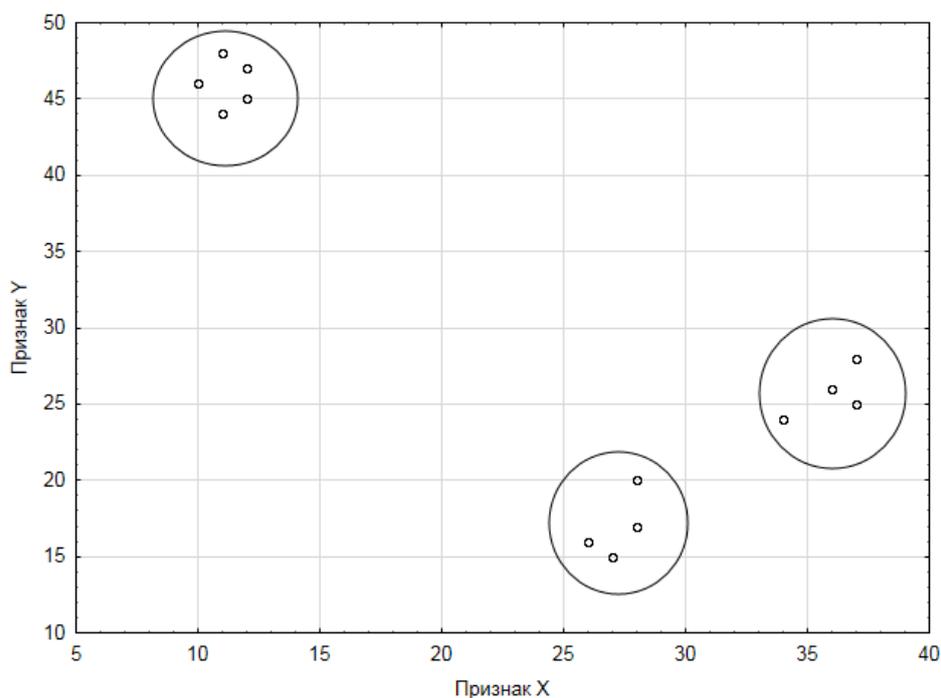


Рис. 107. Диаграмма рассеяния

Матрица  $X$  не является единственным способом представления данных в задачах кластерного анализа. Иногда исходная информация задана в виде квадратной матрицы:

$$R = (r_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, k,$$

элемент  $r_{ij}$  определяет степень близости  $i$ -го объекта к  $j$ -му объекту.

В кластерном анализе для количественной оценки сходства вводится понятие «расстояние между объектами». Кроме термина «расстояние» в литературе часто встречаются и другие термины – «метрика», «мера», которые подразумевают метод вычисления того или иного конкретного расстояния.

Если каждый объект описывается  $m$  признаками, то он может быть представлен как точка в  $m$ -мерном пространстве, и сходство с другими объектами будет определяться как соответствующее расстояние.

Большинство алгоритмов кластерного анализа полностью исходят из матрицы расстояний (или близостей), либо требуют вычисления отдельных ее элементов, поэтому, если данные представлены в форме  $X$ , то первым этапом решения задачи поиска кластеров будет выбор способа вычисления расстояний, или близости, между объектами или признаками.

Относительно проще решается вопрос об определении близости между признаками. Как правило, кластерный анализ признаков преследует те же цели, что и факторный анализ – выделение групп связанных между собой признаков, отражающих определенную сторону изучаемых объектов. Мерами близости в этом случае служат различные статистические коэффициенты связи.

*Расстоянием между  $i$ -м и  $j$ -м объектами* в пространстве признаков называется такая величина  $d_{ij}$ , которая удовлетворяет следующим аксиомам:

- 1)  $d_{ij} \geq 0$  (неотрицательность);
- 2)  $d_{ij} = d_{ji}$  (симметрия);
- 3)  $d_{ij} + d_{jq} \geq d_{iq}$  (неравенство треугольника, здесь  $q$  – номер объекта);
- 4) если  $d_{ij} \neq 0$ , то  $i \neq j$  (различимость неотожествленных объектов);
- 5) если  $d_{ij} = 0$ , то  $i = j$  (неразличимость тождественных объектов).

*Меру близости (сходства) объектов* удобно представить как величину, обратную расстоянию между объектами.

В многочисленных изданиях, посвященных кластерному анализу, описано более 50 различных способов вычисления расстояния между объектами. Выбор расстояния является узловым моментом исследования. От него во многом зависит окончательный вариант разбиения объектов на классы при данном алгоритме. Чаще других используются следующие *меры расстояния между объектами*:

- 1) евклидово расстояние

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2;$$

- 2) взвешенное евклидово расстояние

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^m w_k (x_{ik} - x_{jk})^2;$$

3) расстояние Минковского

$$d_{ij} = \left( \sum_{k=1}^m |x_{ik} - x_{jk}|^p \right)^{1/p};$$

4) расстояние *sity-block* (расстояние городских кварталов)

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^m |x_{ik} - x_{jk}|,$$

где:  $d_{ij}$  – расстояние между  $i$ -м и  $j$ -м объектами;  
 $m$  – число переменных (признаков), которыми описываются объекты;  
 $x_{ik}, x_{jk}$  – значения  $k$ -ой переменной соответственно у  $i$ -го и  $j$ -го объектов;  
 $w_k$  – вес, приписываемый  $k$ -ой переменной, пропорциональный степени важности признака в задаче классификации;  
 $p$  – показатель степени, определяемый исследователем.

*Евклидово расстояние* – одно из наиболее известных расстояний, которое доступно для восприятия и понимания в случае количественных признаков. Часто применяется также *квадратичное евклидово расстояние*, равное квадрату  $d_{ij}$ .

В ряде случаев используется *взвешенное евклидово расстояние*, при вычислении которого учитываются весовые коэффициенты  $w_k$ , придающие отдельным слагаемым в сумме большую значимость.

Очень напоминает выражение для евклидова расстояния так называемое *обобщенное степенное расстояние Минковского*, в котором в степенях вместо двойки используется другая величина. В общем случае эта величина обозначается символом  $p$ . При  $p = 2$  получаем обычное евклидово расстояние. Выбор конкретного значения степенного показателя  $p$  осуществляется самим исследователем.

Частным случаем расстояния Минковского является так называемое *Хеммингово расстояние*, или *расстояние городских кварталов (sity-block)*, соответствующее  $p = 1$ . Это расстояние широко используется для дихотомических (имеющих всего два значения) качественных признаков, относящихся к номинальной шкале. В этом случае оно равно числу несовпадений значений соответствующих признаков для рассматриваемых  $i$ -го и  $j$ -го объектов.

Как видно, метрика Минковского фактически представляет собой большое семейство метрик, включающее и наиболее популярные.

Однако существуют и принципиально отличающиеся от метрик Минковского методы вычисления расстояния между объектами. Так, *расстояние Махаланобиса* имеет достаточно специфические свойства. Оно связано с корреляциями переменных. Когда корреляции между переменными равны нулю, расстояние Махаланобиса эквивалентно квадрату евклидова расстояния.

В более широком смысле под *объектами* можно понимать не только исходные предметы исследования, представленные в матрице «объект – признак» в виде отдельной строки или отдельными точками в многомерном признаковом пространстве, но и отдельные группы таких точек, объединенные тем или иным алгоритмом в кластер. В этом случае возникает вопрос: что понимать под расстоянием между такими скоплениями точек

(кластерами) и как его вычислять? Иными словами, необходимо определить правила вычисления *расстояния между группами объектов* или *меры близости (сходства) двух групп объектов* (в отличие от меры расстояния между объектами), которые будут важны при объединении кластеров.

Отметим, что для определенных расстояний между кластерами разнообразных возможностей еще больше, нежели при вычислении расстояния между двумя наблюдениями в многомерном пространстве. Эта процедура осложняется тем, что в отличие от точек кластеры занимают определенный объем многомерного пространства, имеют протяженность и состоят их многих точек.

В методе древовидной кластеризации предусмотрены различные правила иерархического объединения в кластеры.

1. Правило *single Linkage* (одиночной связи). На первом шаге объединяются два наиболее близких объекта, т. е. имеющие максимальную меру сходства. На следующем шаге к ним присоединяется объект с максимальной мерой сходства с одним из объектов кластера, т.е. для его включения в кластер требуется максимальное сходство лишь с одним членом кластера.

Метод называют еще методом ближайшего соседа, так как расстояние между двумя кластерами определяется как расстояние между двумя наиболее близкими объектами в различных кластерах. Это правило «называет» объекты для формирования кластеров. Недостатком данного метода является образование слишком больших продолговатых кластеров

2. Правило *complete Linkage* (полных связей). Данный метод позволяет устранить недостаток, присущий методу одиночной связи. Суть правила в том, что два объекта, принадлежащих одной и той же группе (кластеру), имеют коэффициент сходства, который меньше некоторого порогового значения  $S$ . В терминах евклидова расстояния это означает, что расстояние между двумя точками (объектами) кластера не должно превышать некоторого порогового значения  $d$ . Таким образом,  $d$  определяет максимально допустимый диаметр подмножества, образующего кластер. Этот метод называют еще методом наиболее удаленных соседей, так как при достаточно большом пороговом значении  $d$  расстояние между кластерами определяется наибольшим расстоянием между любыми двумя объектами в различных кластерах.

3. Правило *unweighted pair-group average* (невзвешенного попарного среднего). В данном методе расстояние между двумя кластерами определяется как среднее расстояние между всеми парами объектов в них. Метод эффективен, когда объекты в действительности формируют различные группы, однако он работает одинаково хорошо и в случаях протяженных (цепочного типа) кластеров

4. *Weighted pair-group average* (взвешенное попарное среднее). Метод идентичен предыдущему, за исключением того, что при вычислении размеры соответствующих кластеров используются в качестве весовых коэффициентов. Желательно этот метод использовать, когда предполагаются неравные размеры кластеров

5. Unweighted pair-group centroid (невзвешенный центроидный). Расстояние между двумя кластерами определяется как расстояние между их центрами тяжести.

6. Weighted pair-group centroid (взвешенный центроидный). Идентичен предыдущему, за исключением того, что при вычислениях используют веса для учета разности между размерами кластеров. Поэтому, если имеются (или подозреваются) значительные отличия в размерах кластеров, этот метод оказывается предпочтительнее предыдущего

7. Ward's method (метод Уорда). В этом методе в качестве целевой функции применяют внутригрупповую сумму квадратов отклонений, которая есть не что иное, как сумма квадратов расстояний между каждой точкой (объект) и средней по кластеру, содержащему этот объект. На каждом шаге объединяются такие два кластера, которые приводят к минимальному увеличению целевой функции, т.е. внутригрупповой суммы квадратов отклонений. Этот метод направлен на объединение близко расположенных кластеров. Замечено, что метод Уорда приводит к образованию кластеров примерно равных размеров и имеющих форму гиперсфер.

Использование различных мер сходства для объединения объектов (кластеров) приводит к различным кластерным структурам и влияет на качество кластеризации. Поэтому соответствующая мера должна выбираться с учетом имеющихся сведений о существующей структуре совокупности объектов.

Приведем пример изучения сортов яблони по показателям силы роста. Для этого можно использовать один из наиболее часто используемых алгоритмов кластерного анализа – метод Уорда (рис. 108).

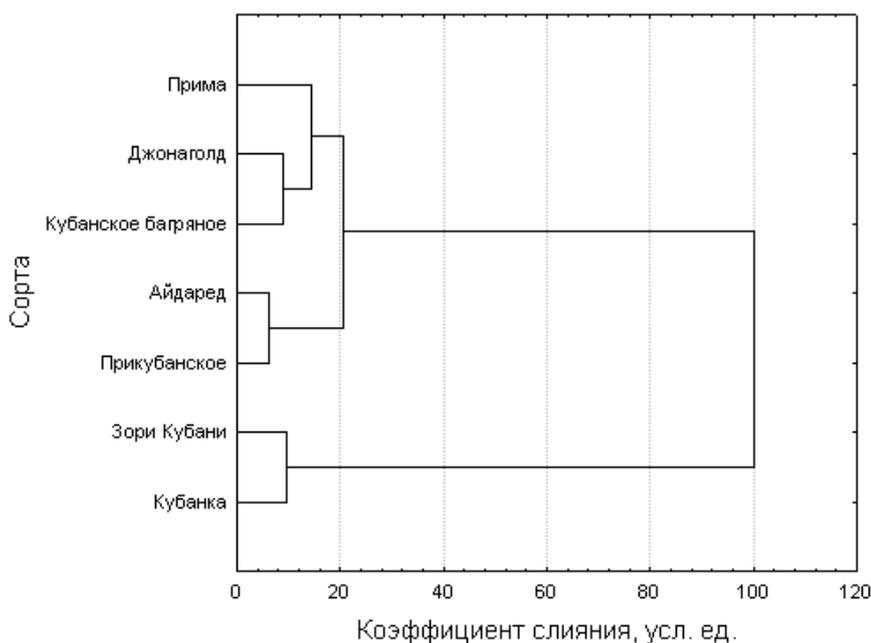


Рис. 108. Кластерный анализ сортов яблони

При «разрезании» дендрита на уровне 15 усл.ед. выделяются три кластера. В первый кластер вошли сорта Прима, Джонаголд и Кубанское багряное, во второй – Айдаред и Прикубанское, в третий – сорта Зори Кубани и Кубанка. Корректность кластерного решения была проверена с помощью дисперсионного анализа (табл. 160).

Таблица 160 – Результаты дисперсионного анализа выделенных кластеров сортов яблони

Изменчивость	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера	Дисперсия	Доля в общей дисперсии, %
Окружность штамба					
Между кластерами	2	0,001	6,9	0,000	0,0
Внутри кластеров	4	0,001	–	0,001	100,0
Высота дерева					
Между кластерами	2	0,444	24,4*	0,180	90,9
Внутри кластеров	4	0,018	–	0,018	9,1
Ширина кроны вдоль ряда					
Между кластерами	2	0,189	31,5*	0,080	92,9
Внутри кластеров	4	0,006	–	0,010	7,1
Ширина кроны поперек ряда					
Между кластерами	2	0,101	24,74*	0,040	91,1
Внутри кластеров	4	0,004	–	0,010	8,9

Из таблицы 160 видно, что выделенные группы сортов статистически достоверно различаются практически по всем учтенным признакам, за исключением окружности штамба.

Средние значения признаков выделенных групп сортов приведены в таблице 161.

Таблица 161 – Средние значения признаков силы роста в выделенных группах

Кластер	Окружность штамба	Высота дерева	Ширина кроны вдоль ряда	Ширина кроны поперек ряда
1	0,29	3,03	2,10	2,00
2	0,28	2,90	1,97	1,80
3	0,25	2,20	1,55	1,60

Из таблицы 161 можно заключить, что все изученные сорта можно разделить на три группы: с высокими, средними и низкими показателями силы роста. К первой группе относятся сорта: Прима, Джонаголд и Кубанское багряное, ко второй группе – Айдаред и Прикубанское, к третьей группе – Зори Кубани и Кубанка.

Сравнительный анализ характеристик урожайности и силы роста показывает, что наиболее урожайные сорта относятся ко второй и третьей группе, со средними и низкими показателями силы роста.

## Вопросы

1. Основные понятия и задачи в статистических методах анализа.
2. Что такое вариационный ряд? Как группируются данные при построении вариационных рядов?
3. Назовите статистические показатели, характеризующие вариационный ряд.
4. Понятие об изменчивости, совокупности и выборке. В чем состоит отличие генеральной совокупности от выборочной?
5. Чем отличается количественная изменчивость от качественной?
6. Распределение частот и его графическое изображение.
7. Средние величины. Какими они бывают и где используются?
8. Что такое доверительный интервал?
9. В каких ситуациях и как проводят проверку принадлежности варианты к совокупности?
10. Что такое распределение? Какие распределения чаще всего встречаются в агрохимических исследованиях?
11. Критерий достоверности оценок. Что это такое и как они используются?
12. Назовите параметрические критерии оценок?
13. Назовите непараметрические критерии оценок?
14. Дайте определение наименьшей существенной разности?
15. Как пользоваться наименьшей существенной разностью?
16. Что такое статистическая гипотеза? Как выдвигаются и каким образом проверяются?
17. Как проверяется гипотеза о законах распределения?
18.  $H_0$ -гипотеза. Где используется и как проверяется?
19. Корреляция. Корреляционная связь и корреляционная зависимость. Классификация корреляций. Что характеризует коэффициент корреляции?
20. Коэффициент детерминации. Что он характеризует?
21. Преобразование корреляций. В каких случаях и для чего преобразуются корреляции?
22. Регрессия. Классификация регрессий. Что характеризует коэффициент регрессии?
23. Доверительный интервал для коэффициентов корреляции и регрессии. Как вычисляют и используют?
24. Корреляционный анализ. Для каких целей используется при анализе результатов в агрономических исследованиях?
25. Регрессионный анализ. Для каких целей используется при анализе результатов в агрономических исследованиях?
26. Что необходимо учитывать при интерпретации результатов корреляционного и регрессионного анализов?
27. Значение корреляционного и регрессионного анализов в опытной работе.
28. В чем сущность дисперсионного анализа?
29. Какие предположения, лежат в основе дисперсионного анализа?
30. Назовите источники варьирования переменной в вегетационном опыте?
31. Назовите источники варьирования переменной в полевом опыте?
32. Особенности постановки экспериментов, результаты которых планируется оценивать методом дисперсионного анализа?
33. Дисперсионный анализ результатов однофакторного полевого эксперимента. В какой последовательности проводят оценку результатов?
34. Особенности дисперсионного анализа результатов опыты, поставленного методом рендомизированных повторений?
35. Особенности дисперсионного анализа результатов опыты, поставленного стандартным методом?
36. Особенности дисперсионного анализа результатов опыты, поставленного методом латинского квадрата и латинского прямоугольника?

37. Дисперсионный анализ результатов многофакторных экспериментов. Какие источники варьирования выделяют в экспериментах поставленных методом рендомизированных повторений и расщепленных делянок?
38. Как выполнить дисперсионный анализ данных опыта с повторными учетами?
39. Как выполнить дисперсионный анализ данных опыта проведенного в течение нескольких лет?
40. Преобразование исходных данных. В каких случаях оно необходимо?
41. Что такое ковариация?
42. Расскажите об областях применения ковариационного анализа.
43. В каких ситуациях необходимо выполнить корректировку данных с помощью ковариационного анализа?
44. Назначение пробит-анализа. Где он используется?
45. Какие существуют методы классификации объектов по нескольким признакам?
46. Как представляются результаты кластерного анализа?

Значения критерия Стьюдента  $t$ 

Число степеней свободы, $\nu$	Доверительные уровни		
	$P_1=95\%$ $P_1=0,95$	$P_2=99\%$ $P_2=0,99$	$P_3=99,9\%$ $P_3=0,999$
1	12,706	63,657	-
2	4,303	9,925	31,598
3	3,182	5,841	12,941
4	2,776	4,604	8,610
5	2,571	4,032	6,859
6	2,447	3,707	5,959
7	2,365	3,499	5,405
8	2,306	3,355	5,041
9	2,262	3,250	4,781
10	2,228	3,169	4,587
11	2,201	3,106	4,437
12	2,179	3,055	4,318
13	2,160	3,012	4,221
14	2,145	2,977	4,140
15	2,131	2,947	4,073
16	2,120	2,921	4,015
17	2,110	2,898	3,965
18	2,101	2,878	3,922
19	2,093	2,861	3,883
20	2,086	2,845	3,850
21	2,080	2,831	3,819
22	2,074	2,819	3,792
23	2,069	2,807	3,767
24	2,064	2,797	3,745
25	2,060	2,787	3,725
26	2,056	2,779	3,707
27	2,052	2,771	3,690
28	2,048	2,763	3,674
29	2,045	2,756	3,659
30	2,042	2,750	3,646
35	2,030	2,724	3,591
40	2,021	2,704	3,551
45	2,014	2,690	3,520
50	2,008	2,678	3,496
55	2,004	2,669	3,476
60	2,000	2,660	3,460
70	1,994	2,648	3,435
80	1,989	2,638	3,416
90	1,986	2,631	3,402
100	1,982	2,625	3,390
120	1,980	2,617	3,373
>120	1,960	2,5758	3,2905
	Уровень значимости		
	5% или 0,05	1% или 0,01	0,1 % или 0,001

Арифметический треугольник

											Коэффициенты долей частных групп при $p=0,5$							
				1		1												
$n=2$				1		2		1			0,25							
$n=3$				1		3		3		1	0,125							
$n=4$				1		4		6		4	1	0,0625						
$n=5$				1		5		10		10	5	1	0,03125					
$n=6$				1		6		15		20	15	6	1	0,015625				
$n=7$				1		7		21		35	35	21	7	1	0,0078125			
$n=8$				1		8		28		56	70	56	28	8	1	0,00390625		
$n=9$				1		9		36		84	126	126	84	36	9	1	0,001953125	
$n=10$				1		10		45		120	210	252	210	120	45	10	1	0,0009765625

Примечание. Таблицу можно легко продолжить до любого  $n$ , складывая два рядом стоящих числа строки и записывая сумму в нижеследующей строке в промежутке между ее слагаемыми.

Значения интеграла вероятностей для разных значений  $t$ 

$t$	Сотые доли $t$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0000	0080	0160	0239	0319	0399	0478	0558	0638	0717
0,1	0797	0876	0955	1034	1114	1192	1271	1350	1428	1507
0,2	1585	1663	1741	1819	1897	1974	2051	2128	2205	2282
0,3	2358	2434	2510	2586	2661	2737	2812	2886	2961	3035
0,4	3108	3182	3255	3328	3401	3473	3545	3616	3688	3759
0,5	3829	3899	3969	4039	4108	4177	4245	4313	4381	4448
0,6	4515	4581	4647	4713	4778	4843	4907	4971	5035	5098
0,7	5161	5223	5285	5346	5407	5467	5527	5587	5646	5705
0,8	5763	5821	5878	5935	5991	6047	6102	6157	6211	6265
0,9	6319	6372	6424	6476	6528	6579	6629	6679	6729	6778
1,0	6827	6875	6923	6970	7017	7063	7109	7154	7199	7243
1,1	7287	7330	7373	7415	7457	7499	7540	7580	7620	7660
1,2	7699	7737	7775	7813	7850	7887	7923	7959	7995	8030
1,3	8064	8098	8182	8165	8198	8230	8262	8293	8324	8355
1,4	8385	8415	8444	8473	8501	8529	8557	8584	8611	8638
1,5	8664	8690	8715	8740	8764	8788	8812	8836	8859	8882
1,6	8904	8926	8948	8969	8990	9011	9031	9051	9070	9089
1,7	9108	9127	9146	9164	9182	9199	9216	9233	9249	9265
1,8	9281	9297	9312	9327	9342	9357	9371	9385	9399	9412
1,9	9425	9439	9451	9464	9476	9488	9500	9512	9523	9534
2,0	9545	9556	9566	9576	9586	9596	9608	9615	9625	9634
2,1	9643	9652	9660	9668	9676	9684	9692	9700	9707	9715
2,2	9722	9729	9736	9743	9749	9755	9762	9768	9774	9780
2,3	9786	9791	9797	9802	9807	9812	9817	9822	9827	9832
2,4	9836	9840	9845	9849	9853	9857	9861	9866	9869	9872
2,5	9876	9879	9883	9886	9889	9892	9895	9898	9901	9904
2,6	9907	9909	9912	9915	9917	9920	9922	9924	9926	9929
2,7	9931	9933	9935	9937	9939	9940	9942	9944	9946	9947
2,8	9949	9950	9952	9953	9955	9956	9956	9959	9960	9961
2,9	9963	9964	9965	9966	9967	9968	9969	9970	9971	9972
3,0	9973	9974	9975	9976	9976	9977	9978	9979	9979	9980
3,1	9981	9981	9982	9983	9983	9984	9984	9985	9985	9986
3,2	9986	9987	9987	9988	9988	9988	9989	9989	9990	9990
3,3	9990	9991	9991	9991	9992	9992	9992	9992	9993	9993
3,4	9993	9993	9994	9994	9994	9994	9995	9995	9995	9995
3,5	9995	9995	9996	9996	9996	9996	9996	9996	9997	9997

*Примечание.* Значения вероятности даны числами после запятой.

Значения функции  $f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$  (ординаты нормальной кривой)

$t$	Сотые доли $t$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	39894	39892	39886	39876	39862	39844	39822	39797	39767	39733
0,1	39695	39654	39608	39559	39505	39448	39387	39322	39253	39181
0,2	39104	39024	38940	38853	38762	38667	38568	38466	38361	38251
0,3	38139	38023	37903	37780	37654	37524	37391	37255	37115	36973
0,4	36827	36678	36526	36371	36213	36053	35889	35723	35553	35381
0,5	35207	35029	34849	34667	34482	34294	34105	33912	33718	33521
0,6	33322	33121	32918	32713	32506	32297	32086	31874	31659	31443
0,7	31225	31006	30785	30563	30339	30114	29887	29659	29430	29200
0,8	28969	28737	28504	28269	28034	27798	27562	27324	27086	26848
0,9	26609	26369	26129	25888	25647	25406	25164	24923	24681	24439
1,0	24197	23955	23713	23471	23230	22988	22747	22506	22265	22025
1,1	21785	21546	21307	21069	20831	20594	20357	20121	19886	19652
1,2	19419	19186	18954	18724	18494	18265	18037	17810	17585	17360
1,3	17137	16915	16694	16474	16256	16038	15822	15608	15395	15183
1,4	14973	14764	14556	14350	14146	13943	13742	13542	13344	13147
1,5	12952	12758	12566	12376	12188	12001	11816	11632	11450	11270
1,6	11092	10915	10741	10567	10396	10226	10059	09893	09728	09566
1,7	09405	09246	09089	08938	08780	08628	08478	08329	08183	08038
1,8	07895	07754	07614	07477	07341	07206	07074	06943	06814	06687
1,9	06562	06438	06316	06195	06077	05959	05844	05730	05618	05508
2,0	05399	05292	05186	05082	04980	04879	04780	04682	04586	04491
2,1	04398	04307	04217	04128	04041	03955	03871	03788	03706	03626
2,2	03547	03470	03394	03319	03246	03174	03103	03034	02965	02898
2,3	02833	02768	02705	02643	02582	02522	02463	02406	02349	02294
2,4	02239	02186	02134	02083	02033	01984	01936	01888	01842	01797
2,5	01753	01709	01667	01625	01585	01545	01506	01468	01431	01394
2,6	01358	01323	01289	01256	01223	01191	01160	01130	01100	01071
2,7	01042	01014	00987	00961	00935	00909	00885	00861	00837	00814
2,8	00792	00770	00748	00727	00707	00687	00668	00649	00631	00613
2,9	00595	00578	00562	00545	00530	00514	00499	00485	00470	00457
3,0	00443	00430	00417	00405	00393	00381	00370	00358	00348	00337
3,1	00327	00317	00307	00298	00288	00279	00271	00262	00254	00246
3,2	00238	00231	00224	00216	00210	00203	00196	00190	00184	00178
3,3	00172	00167	00161	00156	00151	00146	00141	00136	00132	00127
3,4	00123	00119	00115	00111	00107	00104	00100	00097	00094	00090
3,5	00087	00084	00081	00079	00076	00073	00071	00068	00066	00063
3,6	00061	00059	00057	00055	00053	00051	00049	00047	00046	00044
3,7	00042	00041	00039	00038	00037	00035	00034	00033	00031	00030
3,8	00029	00028	00027	00026	00025	00024	00023	00022	00021	00021
3,9	00020	00019	00018	00018	00017	00016	00016	00015	00014	00014
4,0	00013	00009	00006	00004	00002	00002	00001	00001	00000	00000

*Примечание.* Значения вероятности даны числами после запятой.

Приложение 5

Значения критерия  $F$  на 5%-ном уровне значимости (вероятность 95%)

Степени свободы для меньшей дисперсии (знаменателя)	Степени свободы для большей дисперсии (числителя)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24	50	100
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	249	252	253
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,36	19,37	19,38	19,39	19,41	19,45	19,47	19,49
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81	8,78	8,74	8,64	8,58	8,56
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,77	5,70	5,66
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,78	4,74	4,68	4,53	4,44	4,40
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,27	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,84	3,75	3,71
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,57	3,41	3,32	3,28
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,34	3,28	3,12	3,03	2,98
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	3,07	2,90	2,80	2,76
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,91	2,74	2,64	2,59
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,86	2,79	2,61	2,50	2,45
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,76	2,69	2,50	2,40	2,35
13	4,64	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,84	2,77	2,72	2,67	2,60	2,42	2,32	2,26
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,77	2,70	2,65	2,60	2,53	2,35	2,24	2,19
15	4,54	3,60	3,29	3,06	2,90	2,79	2,70	2,64	2,59	2,55	2,48	2,29	2,18	2,12
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,24	2,13	2,07
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,62	2,55	2,50	2,45	2,38	2,19	2,08	2,02
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,15	2,04	1,98
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,55	2,48	2,43	2,38	2,31	2,11	2,00	1,94
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,52	2,45	2,40	2,35	2,28	2,08	1,96	1,90
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,05	1,93	1,87
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,47	2,40	2,35	2,30	2,23	2,03	1,91	1,84
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,45	2,38	2,32	2,28	2,20	2,00	1,88	1,82
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,43	2,36	2,30	2,26	2,18	1,98	1,86	1,80
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,41	2,34	2,25	2,24	2,16	1,96	1,84	1,77
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	1,95	1,82	1,76
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	1,91	1,78	1,72
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,34	2,27	2,21	2,12	2,09	1,89	1,76	1,69
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,07	2,00	1,79	1,66	1,59
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,02	1,95	1,74	1,60	1,52
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,30	2,19	2,10	2,03	1,97	1,92	1,85	1,63	1,48	1,39

Значения критерия  $F_{\alpha}$  на 1%-ном уровне значимости (вероятность 99%)

Сте- пень свободы для мень- шей дис- персии (зна- мена- теля)	Степени свободы для большей дисперсии (числителя)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24	50	100
1	4052	4999	5403	5625	5764	5889	5928	5981	6022	6056	6106	6234	6302	6334
2	98,49	99,01	99,17	99,25	99,30	99,33	99,34	99,36	99,38	99,40	99,42	99,46	99,48	99,49
3	34,12	30,81	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,34	27,23	27,05	26,60	26,35	26,23
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	14,66	14,54	14,37	13,93	13,69	13,57
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,45	10,27	10,15	10,05	9,89	9,47	9,24	9,13
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,72	7,31	7,09	6,99
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	7,00	6,84	6,71	6,62	6,47	6,07	5,85	5,75
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,19	6,03	5,91	5,82	5,67	5,28	5,06	4,96
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,62	5,47	5,35	5,26	5,11	4,73	4,51	4,41
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,21	5,06	4,95	4,85	4,71	4,33	4,12	4,01
11	9,85	7,20	6,22	5,67	5,32	5,07	4,88	4,74	4,63	4,54	4,40	4,02	3,80	3,70
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,65	4,50	4,39	4,30	4,16	3,78	3,56	3,46
13	9,07	6,70	5,74	5,20	4,86	4,62	4,44	4,30	4,19	4,10	3,96	3,59	3,37	3,27
14	8,86	6,51	5,56	5,03	4,69	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,80	3,43	3,21	3,11
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89	3,80	3,67	3,29	3,07	2,97
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	3,89	3,78	3,69	3,61	3,45	3,18	2,96	2,86
17	8,40	6,11	5,18	4,67	4,34	4,10	3,93	3,79	3,68	3,59	3,45	3,08	2,86	2,76
18	8,28	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,85	3,71	3,60	3,51	3,37	3,00	2,78	2,68
19	8,18	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,77	3,68	3,52	2,43	3,30	2,92	2,70	2,63
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,71	3,56	3,45	3,37	3,23	2,86	2,63	2,53
21	8,02	5,78	4,87	4,37	4,04	3,81	3,65	3,51	3,40	3,31	3,17	2,80	2,58	2,47
22	7,94	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,59	3,45	3,35	3,26	3,12	2,75	2,53	2,42
23	7,88	5,66	4,76	4,26	3,94	3,71	3,54	3,41	3,30	3,21	3,07	2,70	2,48	2,37
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,50	3,36	3,25	3,17	3,03	2,66	2,44	2,33
25	7,77	5,57	4,68	4,18	3,86	3,63	3,46	3,32	3,21	3,13	2,99	2,62	2,40	2,29
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,42	3,29	3,17	3,09	2,96	2,58	2,36	2,25
28	7,64	5,45	4,57	4,07	3,76	3,53	3,36	3,23	3,11	3,03	2,90	2,52	2,30	2,18
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,06	2,98	2,84	2,47	2,24	2,13
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,88	2,80	2,66	2,29	2,05	1,94
50	7,17	5,06	4,20	3,72	3,41	3,18	3,02	2,88	2,78	2,70	2,56	2,18	1,94	1,81
100	6,90	4,82	3,98	3,51	3,20	2,99	2,82	2,69	2,59	2,51	2,36	1,98	1,73	1,59

Значения функции  $\psi\left(\frac{R}{n+1}\right)$ 

$\frac{R}{n+1}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,00	∞	-3,09	-2,88	-2,75	-2,65	-2,58	-2,51	-2,46	-2,41	-2,37
0,01	-2,53	-2,29	-2,26	-2,23	-2,20	-2,17	-2,14	-2,12	-2,10	-2,07
0,02	-2,05	-2,03	-2,01	-2,00	-1,98	-1,96	-1,94	-1,93	-1,91	-1,90
0,03	-1,88	-1,87	-1,85	-1,84	-1,83	-1,81	-1,80	-1,79	-1,77	-1,76
0,04	-1,75	-1,74	-1,73	-1,72	-1,71	-1,70	-1,68	-1,67	-1,66	-1,65
0,05	-1,64	-1,64	-1,63	-1,62	-1,61	-1,60	-1,59	-1,58	-1,57	-1,57
0,06	-1,55	-1,55	-1,54	-1,53	-1,52	-1,51	-1,51	-1,50	-1,49	-1,48
0,07	-1,48	-1,47	-1,46	-1,45	-1,45	-1,44	-1,43	-1,43	-1,42	-1,41
0,08	-1,41	-1,40	-1,39	-1,39	-1,38	-1,37	-1,37	-1,36	-1,35	-1,35
0,09	-1,34	-1,33	-1,33	-1,32	-1,32	-1,31	-1,30	-1,30	-1,29	-1,29
0,10	-1,28	-1,28	-1,27	-1,26	-1,26	-1,25	-1,25	-1,24	-1,24	-1,23
0,11	-1,23	-1,22	-1,22	-1,21	-1,21	-1,20	-1,20	-1,19	-1,19	-1,18
0,12	-1,18	-1,17	-1,17	-1,16	-1,16	-1,15	-1,15	-1,14	-1,14	-1,13
0,13	-1,13	-1,12	-1,12	-1,11	-1,11	-1,10	-1,10	-1,09	-1,09	-1,09
0,14	-1,08	-1,08	-1,07	-1,07	-1,06	-1,06	-1,05	-1,05	-1,05	-1,04
0,15	-1,04	-1,03	-1,03	-1,02	-1,02	-1,02	-1,01	-1,01	-1,01	-1,00
0,16	-0,99	-0,99	-0,99	-0,98	-0,98	-0,97	-0,97	-0,97	-0,96	-0,96
0,17	-0,95	-0,95	-0,95	-0,94	-0,94	-0,93	-0,93	-0,93	-0,92	-0,92
0,18	-0,92	-0,91	-0,91	-0,90	-0,90	-0,90	-0,89	-0,89	-0,89	-0,88
0,19	-0,88	-0,87	-0,87	-0,87	-0,86	-0,86	-0,86	-0,85	-0,85	-0,85
0,20	-0,84	-0,84	-0,83	-0,83	-0,83	-0,82	-0,82	-0,82	-0,81	-0,81
0,21	-0,81	-0,80	-0,80	-0,80	-0,79	-0,79	-0,79	-0,78	-0,78	-0,78
0,22	-0,77	-0,77	-0,77	-0,76	-0,76	-0,76	-0,75	-0,75	0,75	-0,74
0,23	-0,74	-0,74	-0,73	-0,73	-0,73	-0,72	-0,72	-0,72	-0,71	-0,71
0,24	-0,71	-0,70	-0,70	-0,70	-0,69	-0,69	-0,69	-0,68	-0,68	-0,68
0,25	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	-0,66	-0,66	-0,66	-0,65	-0,65	-0,65
0,26	-0,64	-0,64	-0,64	-0,63	-0,63	-0,63	-0,63	-0,62	-0,62	-0,62
0,27	-0,61	-0,61	-0,61	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,59	-0,59	-0,59
0,28	-0,58	-0,58	-0,58	-0,57	-0,57	-0,57	-0,57	-0,56	-0,56	-0,56
0,29	-0,55	-0,55	-0,55	-0,54	-0,54	-0,54	-0,54	-0,53	-0,53	-0,53
0,30	-0,53	-0,52	-0,52	-0,52	-0,51	-0,51	-0,51	-0,50	-0,50	-0,50
0,31	-0,50	-0,49	-0,49	-0,49	-0,48	-0,48	-0,48	-0,47	-0,47	-0,47
0,32	-0,47	-0,46	-0,46	-0,46	-0,46	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45	-0,44
0,33	-0,44	-0,44	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43	-0,43	-0,42	-0,42	-0,42
0,34	-0,41	-0,41	-0,41	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,39	-0,39	-0,39
0,35	-0,39	-0,38	-0,38	-0,38	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,36	-0,36
0,36	-0,36	-0,36	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,34	-0,34	-0,34	-0,33
0,37	-0,33	-0,33	-0,33	-0,32	-0,32	-0,32	-0,32	-0,31	-0,31	-0,31
0,38	-0,31	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,29	-0,29	-0,29	-0,28	-0,28
0,39	-0,28	-0,28	-0,27	-0,27	-0,27	-0,27	-0,26	-0,26	-0,26	-0,26
0,40	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,24	-0,24	-0,24	-0,24	-0,23	-0,23
0,41	-0,23	-0,23	-0,22	-0,22	-0,22	-0,21	-0,21	-0,21	-0,21	-0,20
0,42	-0,20	-0,20	-0,20	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,18	-0,18	-0,18
0,43	-0,18	-0,17	-0,17	-0,17	-0,17	-0,16	-0,16	-0,16	-0,16	-0,15
0,44	-0,15	-0,15	-0,15	-0,14	-0,14	-0,14	-0,14	-0,13	-0,13	-0,13
0,45	-0,13	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,10
0,46	-0,10	-0,10	-0,10	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,08	-0,08	-0,08
0,47	-0,08	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,05
0,48	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03	-0,03
0,49	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,00

## Продолжение приложения 6

$\frac{R}{n+1}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,50	+0,00	+0,00	+0,01	+0,01	+0,01	+0,01	+0,02	+0,02	+0,02	+0,02
0,51	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
0,52	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07
0,53	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10
0,54	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12
0,55	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15
0,56	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17
0,57	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20
0,58	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23
0,59	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25
0,60	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28
0,61	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30
0,62	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33
0,63	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36
0,64	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38
0,65	0,39	0,39	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41
0,66	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,44
0,67	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46
0,68	0,47	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49
0,69	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51	0,52	0,52	0,52
0,70	0,52	0,53	0,53	0,53	0,54	0,54	0,54	0,54	0,55	0,55
0,71	0,55	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57	0,57	0,57	0,58	0,58
0,72	0,58	0,59	0,59	0,59	0,59	0,60	0,60	0,60	0,61	0,61
0,73	0,61	0,62	0,62	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63	0,64	0,64
0,74	0,64	0,65	0,65	0,65	0,66	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67
0,75	0,67	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69	0,69	0,70	0,70	0,70
0,76	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73	0,74
0,77	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77
0,78	0,77	0,78	0,78	0,78	0,79	0,79	0,79	0,80	0,80	0,80
0,79	0,81	0,81	0,81	0,82	0,82	0,82	0,83	0,83	0,83	0,84
0,80	0,84	0,85	0,85	0,85	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87
0,81	0,88	0,88	0,89	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,91	0,91
0,82	0,92	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95
0,83	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99
0,84	0,99	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03
0,85	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08
0,86	1,08	1,09	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12
0,87	1,13	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15	1,16	1,16	1,17	1,17
0,88	1,18	1,18	1,19	1,19	1,20	1,20	1,21	1,21	1,22	1,22
0,89	1,23	1,23	1,24	1,24	1,25	1,25	1,26	1,26	1,27	1,28
0,90	1,28	1,29	1,29	1,30	1,30	1,31	1,32	1,32	1,33	1,33
0,91	1,34	1,35	1,35	1,36	1,37	1,38	1,37	1,39	1,39	1,40
0,92	1,41	1,41	1,42	1,43	1,43	1,44	1,45	1,45	1,46	1,47
0,93	1,48	1,48	1,49	1,50	1,51	1,51	1,52	1,53	1,54	1,55
0,94	1,55	1,56	1,57	1,58	1,59	1,60	1,61	1,62	1,63	1,64
0,95	1,64	1,65	1,66	1,67	1,68	1,70	1,71	1,72	1,73	1,74
0,96	1,75	1,76	1,77	1,79	1,80	1,81	1,83	1,84	1,85	1,87
0,97	1,88	1,90	1,91	1,93	1,94	1,96	1,98	2,00	2,01	2,03
0,98	2,05	2,07	2,10	2,12	2,14	2,17	2,20	2,23	2,26	2,29
0,99	2,33	2,37	2,41	2,46	2,51	2,58	2,65	2,75	2,88	3,09

## Критические значения X-критерия Ван-дер-Вардена

n	$n_1-n_2=0$ или 1		$n_1-n_2=2$ или 3		$n_1-n_2=4$ или 5	
	Уровни значимости $\alpha$ , %		Уровни значимости $\alpha$ , %		Уровни значимости $\alpha$ , %	
	5	1	5	1	5	1
8	2,40	-	2,30	-	-	-
9	2,48	-	2,40	-	-	-
10	2,60	3,20	2,49	3,10	2,30	-
11	2,72	3,40	2,58	3,40	2,40	-
12	2,86	3,60	2,79	3,58	2,68	3,40
13	2,96	3,71	2,91	3,64	2,78	3,50
14	3,11	3,94	3,06	3,88	3,00	3,76
15	3,24	4,07	3,19	4,05	3,06	3,88
16	3,39	4,26	3,36	4,25	3,28	4,12
17	3,49	4,44	3,44	4,37	3,36	4,23
18	3,63	4,60	3,60	4,58	3,53	4,50
19	3,73	4,77	3,69	4,71	3,61	4,62
20	3,86	4,94	3,84	4,92	3,78	4,85
21	3,96	5,10	3,92	5,05	3,85	4,96
22	4,08	5,26	4,06	5,24	4,01	5,17
23	4,18	5,40	4,15	5,36	4,08	5,27
24	4,29	5,55	4,27	5,53	4,23	5,48
25	4,39	5,68	4,36	5,65	4,30	5,58
26	4,50	5,83	4,48	5,81	4,44	5,76
27	4,59	5,95	4,56	5,92	4,51	5,85
28	4,68	6,09	4,68	6,07	4,64	6,03
29	4,78	6,22	4,76	6,19	4,72	6,13
30	4,88	6,35	4,87	6,34	4,84	6,30
31	4,97	6,47	4,95	6,44	4,91	6,39
32	5,07	6,60	5,06	6,58	5,03	6,55
33	5,15	6,71	5,13	6,69	5,10	6,64
34	5,25	6,84	5,24	6,82	5,21	6,79
35	5,33	6,95	5,31	6,92	5,28	6,88
36	5,42	7,06	5,41	7,05	5,38	7,02
37	5,50	7,17	5,48	7,15	5,45	7,11
38	5,59	7,28	5,58	7,27	5,55	7,25
39	5,67	7,39	5,65	7,37	5,62	7,33
40	5,75	7,50	5,74	7,49	5,72	7,47
41	5,83	7,62	5,81	7,60	5,79	7,56
42	5,91	7,72	5,90	7,71	5,88	7,69
43	5,99	7,82	5,97	7,81	5,95	7,77
44	6,04	7,93	6,06	7,92	6,04	7,90
45	6,14	8,02	6,12	8,01	6,10	7,98
46	6,21	8,13	6,21	8,12	6,19	8,10
47	6,29	8,22	6,27	8,21	6,25	8,18
48	6,36	8,32	6,35	8,31	6,34	8,29
49	6,43	8,41	6,42	8,40	6,39	8,37
50	6,50	8,51	6,51	8,50	6,48	8,48
P	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01

Критические значения  $z$ -критерия знаков при разных уровнях значимости  $\alpha$  и объеме выборки  $n$

$n$	$\alpha, \%$										
	5	1		5	1		5	1		5	1
6	6	—	30	21	23	54	35	37	78	49	51
7	7	—	31	22	24	55	36	38	79	49	52
8	8	8	32	23	24	56	36	39	80	50	52
9	8	9	33	23	25	57	37	39	81	50	53
10	9	10	34	24	25	58	37	40	82	51	54
11	10	11	35	24	26	59	38	40	83	51	54
12	10	11	36	25	27	60	39	41	84	52	55
13	11	12	37	25	27	61	39	41	85	53	55
14	12	13	38	26	28	62	40	42	86	53	56
15	12	13	39	27	28	63	40	43	87	54	56
16	13	14	40	27	29	64	41	43	88	54	57
17	13	15	41	28	30	65	41	44	89	55	58
18	14	15	42	28	30	66	42	44	90	55	58
19	15	16	43	29	31	67	42	45	91	56	59
20	15	17	44	29	31	68	43	46	92	56	59
21	16	17	45	30	32	69	44	46	93	57	60
22	17	18	46	31	33	70	44	47	94	57	60
23	17	19	47	31	33	71	45	47	95	58	61
24	18	19	48	32	34	72	45	48	96	59	62
25	18	20	49	32	34	73	46	48	97	59	62
26	19	20	50	33	35	74	46	49	98	60	63
27	20	21	51	33	36	75	47	50	99	60	63
28	20	22	52	34	36	76	48	50	100	61	64
29	21	22	53	35	37	77	48	51	—	—	—
P	0,05	0,01	—	0,05	0,01	—	0,05	0,01	—	0,05	0,01

Критические значения U-критерия Уилкоксона (Манна-Уитни)  
(односторонний критерий, P=0,01)

$n_2$	$n_1$																$n_2$
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
3	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	5	3
4	0	1	1	2	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	9	10	4
5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	5
6		3	4	6	7	8	9	11	12	14	15	16	18	19	20	22	6
7			6	7	9	11	12	14	16	18	19	21	23	24	26	28	7
8				9	11	13	15	17	20	22	24	26	28	30	32	34	8
9					14	16	19	21	23	26	28	31	33	36	38	40	9
10						19	22	24	27	30	33	36	38	41	44	47	10
11							25	28	31	34	37	41	44	47	50	53	11
12								31	35	38	42	46	49	53	56	60	12
13									39	43	47	51	55	59	63	67	13
14										47	51	56	60	65	69	73	14
15											56	61	66	70	75	80	15
16												66	71	76	82	87	16
17													77	82	88	94	17
18														88	94	100	18
19															101	107	19
20																114	20

Продолжение приложения 9 (двусторонний критерий, P = 0,01)

$n_2$	$n_1$																$n_2$		
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		19	20
5	0	0	0															5	
6	0	0	1	2														6	
7	0	0	1	3	4													7	
8	0	1	2	4	6	7												8	
9	0	1	3	5	7	9	11											9	
10	0	2	4	6	9	11	13	16										10	
11	0	2	5	7	10	13	16	19	21									11	
12	1	3	6	9	12	15	18	21	24	28								12	
13	1	4	7	10	13	17	20	24	27	31	34							13	
14	1	4	7	11	15	18	22	26	30	34	38	42						14	
15	2	5	8	12	16	20	25	29	33	37	42	46	51					15	
16	2	5	9	13	18	22	27	31	36	41	46	50	55	60				16	
17	2	6	10	15	19	24	29	34	39	44	49	54	60	65	70			17	
18	2	6	11	16	21	26	31	37	42	47	53	59	64	70	75	77	81	18	
19	3	7	12	17	22	28	34	39	45	51	57	63	69	75	81	87	93	19	
20	3	8	13	18	24	30	36	42	48	54	60	67	73	79	86	92	99	105	23
21	3	8	14	19	25	32	38	44	51	58	64	71	78	84	91	98	105	112	21
22	4	9	14	21	27	34	40	47	54	61	68	75	82	89	97	104	111	118	22
23	4	9	15	22	29	36	43	50	57	64	72	79	87	94	102	109	117	125	23
24	4	10	16	23	30	37	45	52	60	68	76	83	91	99	107	115	123	131	24
25	5	10	17	24	32	39	47	55	63	71	79	88	96	104	113	121	129	138	25

Критические значения парного Т-критерия Уилкоксона  
(односторонний критерий)

Число парных наблюдений, $n$	Уровни значимости $\alpha$ , %		Число парных наблюдений, $n$	Уровни значимости $\alpha$ , %	
	5	1		5	1
5	0	-	14	25	16
6	2	0	15	30	19
7	3	0	16	35	23
8	5	1	17	41	28
9	8	3	18	47	33
10	10	5	19	53	38
11	13	7	20	60	42
12	17	10	21	67	50
13	21	12	22	74	56
P	0,05	0,01	-	0,05	0,01

Продолжение приложения 10 (двусторонний критерий)

Число парных наблюдений, $n$	Уровни значимости $\alpha$ , %		Число парных наблюдений, $n$	Уровни значимости $\alpha$ , %	
	5	1		5	1
6	1	-	16	31	21
7	3	-	17	36	24
8	5	1	18	41	29
9	7	3	19	47	33
10	9	4	20	53	39
11	12	6	21	60	44
12	15	8	22	67	50
13	18	11	23	74	56
14	22	14	24	82	62
15	26	17	25	90	69
P	0,05	0,01	-	0,05	0,01

*Примечание.* Для  $n > 25$  критические значения Т-критерия можно определить по формуле:

$$T_{st} = \frac{n(n+1)}{4} - t \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}},$$

где  $n$  — число парных наблюдений;  $t$  зависит от принятого уровня значимости, т. е.  $t_{05} = 1,96$  и  $t_{01} = 2,58$ .

Значения критерия  $\chi^2$ 

Число степеней свободы	Уровень значимости, Р							
	0,99	0,95	0,75	0,50	0,25	0,10	0,05	0,01
1			0,10	0,45	1,32	2,71	3,84	6,63
2	0,02	0,10	0,58	1,39	2,77	4,61	5,90	9,21
3	0,11	0,35	1,21	2,37	4,11	6,25	7,81	11,34
4	0,30	0,71	1,92	3,36	5,39	7,78	9,49	13,28
5	0,55	1,15	2,67	4,35	6,63	9,24	11,07	15,09
6	0,87	1,64	3,45	5,35	7,84	10,64	12,59	16,81
7	1,24	2,17	4,25	6,35	9,04	12,02	14,07	18,48
8	1,65	2,73	5,07	7,34	10,22	13,36	15,51	20,09
9	2,09	3,33	5,90	8,34	11,39	14,68	16,92	21,67
10	2,56	3,94	6,74	9,34	12,55	15,99	18,31	23,21
11	3,05	4,57	7,58	10,34	13,70	17,28	19,68	24,72
12	3,57	5,23	8,44	11,34	14,85	18,55	21,03	26,22
13	4,11	5,89	9,30	12,34	15,98	19,81	22,36	27,69
14	4,66	6,57	10,17	13,34	17,12	21,06	23,68	29,14
15	5,23	7,26	11,04	14,34	18,25	22,31	25,00	30,58
16	5,81	7,96	11,91	15,34	19,37	23,54	26,30	32,00
17	6,41	8,67	12,79	16,34	20,49	24,77	27,59	33,41
18	7,01	9,39	13,68	17,34	21,60	25,99	28,87	34,81
19	7,63	10,12	14,56	18,34	22,72	27,20	30,14	36,19
20	8,26	10,85	15,45	19,34	23,83	28,41	31,41	37,57
21	8,90	11,59	16,34	20,34	24,93	29,62	32,67	38,93
22	9,54	12,34	17,23	21,34	26,04	30,81	33,92	40,29
23	10,20	13,09	18,12	22,34	27,14	32,01	35,17	41,64
24	10,86	13,85	19,01	23,34	28,24	33,20	36,42	42,98
25	11,52	14,61	19,91	24,34	29,34	34,38	37,65	44,31
26	12,20	15,38	20,81	25,34	30,43	35,56	38,89	45,64
27	12,88	16,15	21,71	26,34	31,53	36,74	40,11	46,93
28	13,56	16,93	22,61	27,34	32,62	37,92	41,34	48,28
29	14,26	17,71	23,51	28,34	33,71	39,09	42,56	49,59
30	14,95	18,49	24,41	29,34	34,80	40,26	43,77	50,89
40	22,16	26,51	29,05	33,66	45,62	51,80	55,76	63,69
50	29,71	34,76	37,69	42,94	56,33	63,17	67,50	76,15
60	37,48	43,19	46,46	52,29	66,98	74,40	79,08	88,38
70	45,44	51,74	55,33	61,70	77,58	85,53	90,53	100,42
80	53,54	60,39	64,28	71,14	88,13	96,58	101,88	112,33
90	61,75	69,13	73,29	80,62	98,64	107,56	113,14	124,12
100	70,06	77,93	82,36	90,13	109,14	118,50	124,34	135,81

Приложение 12

Значения z, соответствующие значениям выборочного коэффициента корреляции  $r_{xy}$

$r_{xy}$	Сотые доли коэффициента корреляции									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,000	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080	0,090
0,1	0,100	0,110	0,121	0,131	0,141	0,151	0,161	0,172	0,182	0,192
0,2	0,203	0,213	0,224	0,234	0,245	0,255	0,266	0,277	0,288	0,299
0,3	0,310	0,321	0,332	0,343	0,354	0,365	0,377	0,388	0,400	0,412
0,4	0,424	0,436	0,448	0,460	0,472	0,485	0,497	0,510	0,523	0,536
0,5	0,549	0,563	0,576	0,590	0,604	0,618	0,633	0,648	0,663	0,678
0,6	0,693	0,709	0,725	0,741	0,758	0,775	0,793	0,811	0,829	0,848
0,7	0,867	0,887	0,908	0,929	0,951	0,973	0,996	1,020	1,045	1,071
0,8	1,099	1,127	1,157	1,188	1,221	1,256	1,293	1,333	1,376	1,422
0,9	1,472	1,528	1,589	1,658	1,738	1,832	1,946	2,092	2,298	2,647
0,99	2,647	2,700	2,759	2,826	2,903	2,995	3,106	3,250	3,453	3,800

Приложение 13

Значения величины Q, соответствующие 5%-ному уровню значимости  $\alpha$  и числу групп (градаций), входящих в дисперсионный комплекс

Числа степени свободы k	Число градаций $\alpha$										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	3,5	4,3	4,9	5,3	5,6	5,9	6,1	6,3	6,5	6,7	6,8
7	3,3	4,2	4,7	5,1	5,4	5,5	5,8	6,0	6,2	6,3	6,4
8	3,3	4,0	4,5	4,9	5,2	5,4	5,6	5,8	5,9	6,1	6,2
9	3,2	4,0	4,4	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,7	5,9	6,0
10	3,1	3,9	4,3	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,6	5,7	5,8
11	3,1	3,8	4,2	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,5	5,6	5,7
12	3,1	3,8	4,2	4,5	4,8	5,0	5,1	5,3	5,4	5,5	5,6
13	3,1	3,7	4,2	4,5	4,7	4,9	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5
14	3,0	3,7	4,1	4,4	4,6	4,8	5,0	5,1	5,3	5,4	5,5
15	3,0	3,7	4,1	4,4	4,6	4,8	4,9	5,1	5,2	5,3	5,4
16	3,0	3,7	4,1	4,3	4,6	4,7	4,9	5,0	5,2	5,3	5,4
17	3,0	3,6	4,0	4,3	4,5	4,7	4,9	5,0	5,1	5,2	5,3
18	3,0	3,6	4,0	4,3	4,5	4,7	4,8	5,0	5,1	5,2	5,3
19	3,0	3,6	4,0	4,3	4,5	4,6	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2
20	3,0	3,6	4,0	4,2	4,5	4,6	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2
24	2,9	3,5	3,9	4,2	4,4	4,5	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1
30	2,9	3,5	3,8	4,1	4,3	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0
40	2,9	3,4	3,8	4,0	4,2	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9
60	2,8	3,4	3,7	4,0	4,2	4,3	4,4	4,6	4,7	4,7	4,8
120	2,8	3,4	3,7	3,9	4,1	4,2	4,4	4,5	4,6	4,6	4,7

Коэффициенты для пересчета урожайности зерна (семян) при различной уборочной влажности на урожайность стандартной 14 %-ной влажности.

Целые проценты уборочной влажности	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,047	1,045	1,044	1,043	1,042	1,041	1,040	1,038	1,037	1,036
11	1,035	1,034	1,033	1,031	1,030	1,029	1,028	1,027	1,026	1,024
12	1,023	1,022	1,021	1,020	1,019	1,017	1,016	1,015	1,014	1,013
13	1,012	1,010	1,009	1,008	1,007	1,006	1,005	1,003	1,002	1,001
14	1,000	0,999	0,998	0,997	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,990
15	0,988	0,987	0,986	0,985	0,984	0,983	0,981	0,980	0,979	0,978
16	0,977	0,976	0,974	0,973	0,972	0,971	0,970	0,969	0,967	0,966
17	0,965	0,964	0,963	0,962	0,960	0,959	0,958	0,957	0,956	0,955
18	0,953	0,952	0,951	0,950	0,949	0,948	0,947	0,945	0,944	0,943
19	0,942	0,941	0,940	0,938	0,937	0,936	0,935	0,934	0,933	0,931
20	0,930	0,929	0,928	0,927	0,926	0,924	0,923	0,922	0,921	0,920
21	0,919	0,917	0,916	0,915	0,914	0,913	0,912	0,910	0,909	0,908
22	0,907	0,906	0,905	0,903	0,902	0,901	0,900	0,899	0,898	0,896
23	0,895	0,894	0,893	0,892	0,891	0,890	0,888	0,887	0,886	0,885
24	0,884	0,882	0,881	0,880	0,879	0,878	0,877	0,876	0,874	0,873
25	0,872	0,871	0,870	0,869	0,867	0,866	0,865	0,864	0,863	0,862
26	0,860	0,859	0,858	0,857	0,856	0,855	0,853	0,852	0,851	0,850
27	0,849	0,848	0,847	0,845	0,844	0,843	0,842	0,841	0,840	0,838
28	0,837	0,836	0,835	0,833	0,832	0,831	0,830	0,829	0,828	0,827
29	0,826	0,824	0,823	0,822	0,821	0,820	0,819	0,817	0,816	0,815
30	0,814	0,813	0,812	0,810	0,809	0,808	0,807	0,806	0,805	0,803
31	0,802	0,801	0,800	0,799	0,798	0,797	0,795	0,794	0,793	0,792
32	0,791	0,790	0,788	0,787	0,786	0,785	0,784	0,783	0,781	0,780
33	0,779	0,778	0,777	0,776	0,774	0,773	0,772	0,771	0,770	0,769
34	0,767	0,766	0,765	0,764	0,763	0,762	0,760	0,759	0,758	0,757
35	0,756	0,755	0,753	0,752	0,751	0,750	0,749	0,748	0,747	0,745
36	0,744	0,743	0,742	0,741	0,740	0,738	0,737	0,736	0,735	0,734
37	0,733	0,731	0,730	0,729	0,728	0,727	0,726	0,724	0,723	0,722
38	0,721	0,720	0,719	0,717	0,716	0,715	0,714	0,713	0,712	0,710
39	0,709	0,708	0,707	0,706	0,705	0,703	0,702	0,701	0,700	0,699
40	0,698	0,697	0,695	0,694	0,693	0,692	0,691	0,690	0,688	0,687

Коэффициенты для пересчета урожайности побочной продукции на стандартную 16 %-ную влажность.

Цели про- цен- ты убо- роч- ной влаж- но- сти	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,071	1,070	1,069	1,068	1,067	1,065	1,064	1,063	1,062	1,061
11	1,060	1,058	1,057	1,056	1,055	1,054	1,052	1,051	1,050	1,049
12	1,048	1,046	1,045	1,044	1,043	1,042	1,040	1,039	1,038	1,037
13	1,036	1,035	1,033	1,032	1,031	1,030	1,029	1,027	1,026	1,025
14	1,024	1,023	1,021	1,020	1,019	1,018	1,017	1,015	1,014	1,013
15	1,012	1,011	1,010	1,008	1,007	1,006	1,005	1,004	1,002	1,001
16	1,000	0,999	0,998	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,990	0,989
17	0,988	0,987	0,986	0,985	0,983	0,982	0,981	0,980	0,979	0,977
18	0,976	0,975	0,974	0,973	0,971	0,970	0,969	0,968	0,967	0,965
19	0,964	0,963	0,962	0,961	0,960	0,958	0,957	0,956	0,955	0,954
20	0,952	0,951	0,950	0,949	0,948	0,946	0,945	0,944	0,943	0,942
21	0,940	0,939	0,938	0,937	0,936	0,935	0,933	0,932	0,931	0,930
22	0,929	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,921	0,920	0,919	0,918
23	0,917	0,915	0,914	0,913	0,912	0,911	0,910	0,908	0,907	0,906
24	0,905	0,904	0,902	0,901	0,900	0,899	0,898	0,896	0,895	0,894
25	0,893	0,892	0,890	0,889	0,888	0,887	0,886	0,885	0,883	0,882
26	0,881	0,880	0,879	0,877	0,876	0,875	0,874	0,873	0,871	0,870
27	0,869	0,868	0,867	0,865	0,864	0,863	0,862	0,861	0,860	0,858
28	0,857	0,856	0,855	0,854	0,852	0,851	0,850	0,849	0,848	0,846
29	0,845	0,844	0,843	0,842	0,840	0,839	0,838	0,837	0,836	0,835
30	0,833	0,832	0,831	0,830	0,829	0,827	0,826	0,825	0,824	0,823
31	0,821	0,820	0,819	0,818	0,817	0,815	0,814	0,813	0,812	0,811
32	0,810	0,808	0,807	0,806	0,805	0,804	0,802	0,801	0,800	0,799
33	0,798	0,796	0,795	0,794	0,793	0,792	0,790	0,789	0,788	0,787
34	0,786	0,785	0,783	0,782	0,781	0,780	0,779	0,777	0,776	0,775
35	0,774	0,773	0,771	0,770	0,769	0,768	0,767	0,765	0,764	0,763

Коэффициенты для пересчета урожайности семян подсолнечника, льна  
и конопли на стандартную 12 %-ную влажность.

Целые проценты уборочной влажности	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	1,057	1,056	1,054	1,053	1,052	1,051	1,050	1,049	1,048	1,046
8	1,045	1,044	1,043	1,042	1,041	1,040	1,039	1,037	1,036	1,035
9	1,034	1,033	1,032	1,031	1,029	1,028	1,027	1,026	1,025	1,024
10	1,023	1,022	1,020	1,019	1,018	1,017	1,016	1,015	1,014	1,012
11	1,011	1,010	1,009	1,008	1,007	1,006	1,004	1,003	1,002	1,001
12	1,000	0,999	0,998	0,997	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,990
13	0,989	0,987	0,986	0,985	0,984	0,983	0,982	0,981	0,979	0,978
14	0,977	0,976	0,975	0,974	0,973	0,972	0,970	0,969	0,968	0,967
15	0,966	0,965	0,964	0,962	0,961	0,960	0,959	0,958	0,957	0,956
16	0,955	0,953	0,952	0,951	0,950	0,949	0,948	0,947	0,945	0,944
17	0,943	0,942	0,941	0,940	0,939	0,937	0,936	0,935	0,934	0,933
18	0,932	0,931	0,929	0,928	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,922
19	0,920	0,919	0,918	0,917	0,916	0,915	0,914	0,912	0,911	0,910
20	0,909	0,908	0,907	0,906	0,904	0,903	0,902	0,901	0,900	0,899
21	0,898	0,897	0,895	0,894	0,893	0,892	0,891	0,890	0,889	0,887
22	0,886	0,885	0,884	0,883	0,882	0,881	0,879	0,878	0,877	0,876
23	0,875	0,874	0,873	0,872	0,870	0,869	0,868	0,867	0,866	0,865
24	0,864	0,862	0,861	0,860	0,859	0,858	0,857	0,856	0,854	0,853
25	0,852	0,851	0,850	0,849	0,848	0,847	0,845	0,844	0,843	0,842

Коэффициенты для пересчета урожайности семян многолетних бобовых трав  
на стандартную 13 %-ную влажность

Целые проценты уборочной влажности	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	1,092	1,091	1,090	1,089	1,087	1,086	1,085	1,084	1,083	1,082
6	1,080	1,079	1,078	1,077	1,076	1,075	1,074	1,072	1,071	1,070
7	1,069	1,068	1,067	1,066	1,064	1,063	1,062	1,061	1,060	1,059
8	1,057	1,056	1,055	1,054	1,053	1,052	1,051	1,049	1,048	1,047
9	1,046	1,045	1,044	1,043	1,041	1,040	1,039	1,038	1,037	1,036
10	1,034	1,033	1,032	1,031	1,030	1,029	1,028	1,026	1,025	1,024
11	1,023	1,022	1,021	1,020	1,018	1,017	1,016	1,015	1,014	1,013
12	1,011	1,010	1,009	1,008	1,007	1,006	1,005	1,003	1,002	1,001
13	1,000	0,999	0,998	0,997	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,990
14	0,989	0,987	0,986	0,985	0,984	0,983	0,982	0,980	0,979	0,978
15	0,977	0,976	0,975	0,974	0,972	0,971	0,970	0,969	0,968	0,967
16	0,966	0,964	0,963	0,962	0,961	0,960	0,959	0,957	0,956	0,955
17	0,954	0,953	0,952	0,951	0,949	0,948	0,947	0,946	0,945	0,944
18	0,943	0,941	0,940	0,939	0,938	0,937	0,936	0,934	0,933	0,932
19	0,931	0,930	0,929	0,928	0,926	0,925	0,924	0,923	0,922	0,921
20	0,920	0,918	0,917	0,916	0,915	0,914	0,913	0,911	0,910	0,909
21	0,908	0,907	0,906	0,905	0,903	0,902	0,901	0,900	0,899	0,898
22	0,897	0,895	0,894	0,893	0,892	0,891	0,890	0,889	0,887	0,886
23	0,885	0,884	0,883	0,882	0,880	0,879	0,878	0,877	0,876	0,875
24	0,874	0,872	0,871	0,870	0,869	0,868	0,867	0,866	0,864	0,863
25	0,862	0,861	0,860	0,859	0,857	0,856	0,855	0,854	0,853	0,852
26	0,851	0,849	0,848	0,847	0,846	0,845	0,844	0,843	0,841	0,840
27	0,839	0,838	0,837	0,836	0,834	0,833	0,832	0,831	0,830	0,829
28	0,828	0,826	0,825	0,824	0,823	0,822	0,821	0,820	0,818	0,817
29	0,816	0,815	0,814	0,813	0,811	0,810	0,809	0,808	0,807	0,806
30	0,805	0,803	0,802	0,801	0,800	0,799	0,798	0,797	0,795	0,794
31	0,793	0,792	0,791	0,790	0,789	0,787	0,786	0,785	0,784	0,783
32	0,782	0,780	0,779	0,778	0,777	0,776	0,775	0,774	0,772	0,771
33	0,770	0,769	0,768	0,767	0,766	0,764	0,763	0,762	0,761	0,760
34	0,759	0,757	0,756	0,755	0,754	0,753	0,752	0,751	0,749	0,748
35	0,747	0,746	0,745	0,744	0,743	0,741	0,740	0,739	0,738	0,737

Коэффициенты для пересчета урожайности семян многолетних и однолетних  
злаковых трав на стандартную 15 %-ную влажность

Целые проценты уборочной влажности	Десятые доли процента уборочной влажности									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	1,118	1,116	1,115	1,114	1,113	1,112	1,111	1,109	1,108	1,107
6	1,106	1,105	1,104	1,102	1,101	1,100	1,099	1,098	1,096	1,095
7	1,094	1,093	1,092	1,091	1,089	1,088	1,087	1,086	1,085	1,084
8	1,082	1,081	1,080	1,079	1,078	1,076	1,075	1,074	1,073	1,072
9	1,071	1,069	1,068	1,067	1,066	1,065	1,064	1,062	1,061	1,060
10	1,059	1,058	1,056	1,055	1,054	1,053	1,052	1,051	1,049	1,048
11	1,047	1,046	1,045	1,044	1,042	1,041	1,040	1,039	1,038	1,036
12	1,035	1,034	1,033	1,032	1,031	1,029	1,028	1,027	1,026	1,025
13	1,024	1,022	1,021	1,020	1,019	1,018	1,016	1,015	1,014	1,013
14	1,012	1,011	1,009	1,008	1,007	1,006	1,005	1,004	1,002	1,001
15	1,000	0,999	0,998	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,989
16	0,988	0,987	0,986	0,985	0,984	0,982	0,981	0,980	0,979	0,978
17	0,976	0,975	0,974	0,973	0,972	0,971	0,969	0,968	0,967	0,966
18	0,965	0,964	0,962	0,961	0,960	0,959	0,958	0,956	0,955	0,954
19	0,953	0,952	0,951	0,949	0,948	0,947	0,946	0,945	0,944	0,942
20	0,941	0,940	0,939	0,938	0,936	0,935	0,934	0,933	0,932	0,931
21	0,929	0,928	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,921	0,920	0,919
22	0,918	0,916	0,915	0,914	0,913	0,912	0,911	0,909	0,908	0,907
23	0,906	0,905	0,904	0,902	0,901	0,900	0,899	0,898	0,896	0,895
24	0,894	0,893	0,892	0,891	0,889	0,888	0,887	0,886	0,885	0,884
25	0,882	0,881	0,880	0,879	0,878	0,876	0,875	0,874	0,873	0,872
26	0,871	0,869	0,868	0,867	0,866	0,865	0,864	0,862	0,861	0,860
27	0,859	0,858	0,856	0,855	0,854	0,853	0,852	0,851	0,849	0,848
28	0,847	0,846	0,845	0,844	0,842	0,841	0,840	0,839	0,838	0,837
29	0,835	0,834	0,833	0,832	0,831	0,829	0,828	0,827	0,826	0,825
30	0,924	0,822	0,821	0,820	0,819	0,818	0,816	0,815	0,814	0,813
31	0,812	0,811	0,809	0,808	0,807	0,806	0,805	0,804	0,802	0,801
32	0,800	0,799	0,798	0,797	0,795	0,794	0,793	0,792	0,791	0,789
33	0,788	0,787	0,786	0,785	0,784	0,782	0,781	0,780	0,779	0,778
34	0,776	0,775	0,774	0,773	0,772	0,771	0,769	0,768	0,767	0,766
35	0,765	0,764	0,762	0,761	0,760	0,759	0,758	0,756	0,755	0,754

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

*Познавать, открывать, опубликовать – вот судьба ученого.*

**Арагон**

*Умение точно цитировать – талант гораздо более редкий, чем кажется.*

**Пьер Бейль**

1. Абдужаббаров, З.И. Методические указания по проведению полевых и вегетационных опытов с микроудобрениями под культуру риса / З.И. Абдужаббаров, И.М. Местер, А.Г. Багдасаров. – Самарканд: СамаркСХИ, 1988. – 22 с.
2. Агеев, В.В. Планирование, методология, методика, модификации длительных опытов с удобрениями и математико-статистические методы обработки экспериментальных данных / В.В. Агеев, А.И. Подколзин, С.В. Динякова. – Ставрополь: СтГАУ, 2007. – 384 с.
3. Агрохимические методы исследования почв / Отв. ред. А. В. Соколов. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
4. Агрохимия. Практикум / Под ред. И.Р. Вильдфлуша и С.П. Кукреша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 368 с.
5. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / Под ред. В.И. Кирюшина и А.Л. Иванова. – М.: Росинформагротех, 2005. – 784 с.
6. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановская. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
7. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
8. Айзерман, М.А. Выбор вариантов: основы теории / М.А. Айзерман, Ф.Т. Алескерев. – М.: Наука, 1990. – 380 с.
9. Аксенов, С.М. Физико-химические методы в агрохимии / С.М. Аксенов, М.П. Банкин. – Л.: Изд-во Ленинг. ун-та, 1986. – 136 с.
10. Александрова, Л.Н. Лабораторно-практические занятия по почвоведению / Л.Н. Александрова, О.А. Найденова. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 295 с.
11. Алексеев, Р.И. Руководство по вычислению и обработке результатов количественного анализа / Р.И. Алексеев, Ю.И. Коровин. – М.: Атомиздат, 1972. – 72 с.
12. Андреев, С.А. Программы для статистической обработки результатов сельскохозяйственного эксперимента на программируемых микрокалькуляторах / С.А. Андреев. – М.: Москов. ин-т инженеров с.-х. производства, 1989. – 84 с.
13. Антомонов, Ю.Г. Моделирование биологических систем / Ю.Г. Антомонов. – Киев: Наукова думка, 1977. – 248 с.
14. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 488 с.
15. Асаров, Х.К. Практикум по агрохимии / Х.К. Асаров. – М.: Просвещение, 1979. – 191 с.
16. Афанасьев, Р.А. Особенности методики полевых исследований и статистической обработки их результатов при изучении эффективности дифференцированного применения удобрений / Р.А. Афанасьев // Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных: сб. статей – М.: Агроконсалт, 2003. С. 258–271.
17. Баславская, С.С. Практикум по физиологии растений / С.С. Баславская, О.М. Трубецкова. – М.: Изд-во МГУ, 1964. – 328 с.
18. Батунер, Л.М. Математические методы в химической технике / Л.М. Батунер, М.Е. Позин. – Л.: Химия, 1968. – 824 с.

19. Бейли, Н. Статистические методы в биологии / Н. Бейли. – М.: Изд-во «Мир», 1963 – 271 с.
20. Биометрический анализ в биологии / Отв. ред. Г.Н. Зайцев. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 160 с.
21. Благовещенский, Ю.Н. Анализ данных полевых опытов методами непараметрической статистики // Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / Ю.Н. Благовещенский, В.П. Самсонова. – М.: Агроконсалт, 2003. С. 32–65.
22. Благовещенский, Ю.Н. Непараметрические методы в почвенных исследованиях / Ю.Н. Благовещенский, В.П. Самсонова, Е.А. Дмитриев. – М.: Наука, 1987. – 96 с.
23. Блейк, Л. Изменения химических свойств воздушно-сухих образцов почвы при хранении и интерпретация этих изменений при проведении длительных опытов / Л. Блейк, К.У.Т. Гулдин, С.Дж.Б. Мотт, П.Р. Поултон // Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных. – М.: Агроконсалт, 2003. С. 135–155.
24. Болдырев Н.К. Методические указания по определению доз удобрений на запланированный урожай сельскохозяйственных культур в условиях орошения / Н.К. Болдырев, Е.А. Зверева. – М.: ВНИИА, 1986. – 84 с.
25. Боровиков, В. Программа «СТАТИСТИКА» для студентов и инженеров / В. Боровиков. – М.: Изд-во Компьютер Пресс, 2001. – 301 с.
26. Боровков, В.П. Популярное введение в программу Statistica / В.П. Боровков. – М.: Компьютер пресс, 1998. – 266 с.
27. Бородин, И.Н. Краткая методика и техника проведения полевых опытов / И.Н. Бородин. – Ростов-на-Дону, 1957. – 128 с.
28. Бочаров, М.К. Методы математической статистики в географии / М.К. Бочаров. – М.: Мысль, 1971. – 371 с.
29. Браун, Д. Методы исследования и учета растительности / Д. Браун. – М.: Изд-во ИЛ, 1957. – 316 с.
30. Браунли, К.А. Статистическая теория и методология в науке и технике / К.А. Браунли. – М.: Наука, 1977. – 407 с.
31. Бродский, В.З. Введение в факторное планирование эксперимента / В.З. Бродский. – М.: Наука, 1976. – 224 с.
32. Вавилов, П.П. Практикум по растениеводству / П.П. Вавилов, В.В. Гриценко, В.С. Кузнецов. – М.: Колос, 1983. – 352 с.
33. Вагнер, Ф. Техника полевых опытов / Ф. Вагнер. – М.: Колос, 1965. – 184 с.
34. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
35. Важенин, И.Г. Методические указания по агрохимическому обследованию и картографированию почв на содержание микроэлементов / И.Г. Важенин. – М.: Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева, 1976. – 80 с.
36. Вальтер, О.А. Практикум по физиологии растений с основами биохимии / О.А. Вальтер, Л.М. Пиневиц, Н.Н. Варасова. – М.-Л.: Госиздат с.-х. литературы, 1957. – 341 с.
37. Варюшкина, Н.М. Методические указания по проведению исследований с изотопом азота  $^{15}\text{N}$  и определению элементов питания в лизиметрических водах / Н.М. Варюшкина, М.Н. Мельникова. – ВНИИА, 1978. – 30 с.
38. Васильев, И.П. Практикум по земледелию / И.П. Васильев, А.М. Туликов, Г.И. Баздырев, А.В. Захаренко, А.Ф. Сафонов. – М.: Колос, 2004. – 424 с.
39. Вахмистров, Д.Б. Растения без почв / Д.Б. Вахмистров. – М.: Детская литература, 1965. – 111 с.
40. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 195 с.
41. Веллингтон, П. Методика оценки проростков семян / П. Веллингтон. – М.: Колос, 1973. – 175 с.

42. Верховская, И.Н. Методика меченых атомов в биологии / Под ред. А.М. Кузина / И.Н. Верховская, Н.А. Габелова, Е.Г. Зиновьева, В.М. Клечковский, А.М. Кузин, Я.В. Мамуль, Е.Г. Плышевская, Г.М. Франк, Я.Л. Шетман.– М.: Изд-во МГУ, 1955. – 452 с.
43. Викторов, Д.П. Практикум по физиологии растений / Д.П. Викторов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1991. – 160 с.
44. Вильямс, В.Р. К вопросу об организации научно-исследовательской работы в сельскохозяйственном производстве / В.Р. Вильямс // Советская агрономия. 1939. № 1. // Вильямс В.Р. Собрание сочинений. Т. 8. С. 262–267.
45. Вильямс, В.Р. Научные основы улучшения почв / В.Р. Вильямс. Собрание сочинений. Т. 8. – М.: Госсельхозиздат, 1951. С. 9-23.
46. Вильямс, В.Р. Опытное дело, научно-исследовательские институты и учебное дело / В.Р. Вильямс. Собрание сочинений. Т. 9. – М.: Госсельхозиздат, 1951. С. 345-349.
47. Витязев, В.Г. Методические указания для практических занятий «Характеристика и оценка агрофизических свойств почв по данным анализов» / В.Г. Витязев, М.В. Стратонович. – М.: МСХА, 1978. – 44 с.
48. Власюк, П.А. Метод меченых атомов в агрофизиологии / П.А.Власюк, Е.С. Косматый. – Киев: Изд-во УкАНСХН, 1959. – 328 с.
49. Вознесенский, В.Л. Первичная обработка экспериментальных данных / В.Л. Вознесенский. – Л.: Наука, 1969. – 84 с.
50. Волков, Ф.А. Методика исследований в садоводстве / Ф.А. Волков. – М.: ВСТИСП, 2005.-94 с.
51. Волобуева, В.Ф., Серегина И.И. Вегетационный метод исследования / В.Ф. Волобуева, И.И. Серегина. – М.: Изд-во РГАУ–МСХА, 2010. – 117 с.
52. Вольф, В.Г. Статистическая обработка опытных данных / В.Г. Вольф. – М.: Колос, 1966. – 254 с.
53. Воробьева, Л.А. Теория и методы химического анализа почв / Л.А. Воробьева. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 136 с.
54. Воронова, Е.П. Методы анализов и использование их результатов для агрономической характеристики почв / Е.П. Воронова. – Краснодар: КубСХИ, 1975. – 90 с.
55. Выгодская, Н.Н. Теория и эксперимент в дистанционных исследованиях растительности / Н.Н. Выгодская, И.И. Горшкова. – Л.: Гидрометеониздат, 1987. – 248 с.
56. Выращивание овощей в гидропонных теплицах / Под ред. Д.Д. Крылова. – Киев: Урожай, 1977. – 129 с.
57. Гавриленко, В.Ф. Большой практикум по физиологии растений /В.Ф. Гавриленко, М.Е. Ладыгина, Л.М. Хандобина. – М.: Высшая школа, 1975. – 392 с.
58. Ганжара, Н.Ф. Практикум по почвоведению / Н.Ф. Ганжара, Б.А. Борисов, Р.Ф. Байбеков. – М.: Агроконсалт, 2002. – 280 с.
59. Гершевич, Э.Г. Планирование и проведение полевых исследований на мерзлотных почвах: методические рекомендации / Э.Г. Гершевич, А.Я. Жежер. – Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1984. – 39 с.
60. Гинзбург, Э.Х. Разложение дисперсий и проблемы селекции / Э.Х. Гинзбург, З.С. Никоро. – Новосибирск: Наука, 1982. – 126 с.
61. Глотов, Н.В. Биометрия / Н.В. Глотов, Л.А. Животовский, Н.В. Хованов, Н.Н. Хромов-Борисов. – Л.: Изд-во Ленинг. ун-та, 1982. – 264 с.
62. Глуховцев, В.В. Практикум по основам научных исследований в агрономии / В.В. Глуховцев, В.Г. Кириченко, С.Н. Зудилин. – М.: Колос, 2006. – 240 с.
63. Гмураман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмураман. – М.: Высшая школа, 1972. – 368 с.
64. Головин, П.Н. Практикум по общей фитопатологии / П.Н. Головин, М.В. Арсеньева, А.Т. Тропова, З.И. Шестиперова.– Л.: Колос, 1977. – 239 с.
65. Голубев, Б.А. Лизиметрические методы исследования в почвоведении и агрохимии / Б.А. Голубев. – М.: Наука, 1967. – 111 с.

66. Горбылева, А.И. Почвоведение. Лабораторный практикум / А.И. Горбылева, В.Б. Воробьев, М.И. Иванова, Б.А. Калько, Е.И. Петровский. – Минск: Изд-во «Дизайн ПРО», 2000. – 192 с.
67. Горянский, М.М. Методика полевых опытов на орошаемых землях / М.М. Горянский. – Киев: Урожай, 1970. – 84 с.
68. Гребенников, А.М. Методические положения по выбору наиболее эффективных сидеральных агроценозов для воспроизводства плодородия типичных черноземов Центрально-Чернозёмной зоны / А.М. Гребенников. – М.: Почв ин-т им. В.В. Докучаева. – 2011. – 53 с.
69. Грейг-Смит, П. Количественная экология растений / П. Грейг-Смит. – М.: Мир, 1967. – 360 с.
70. Гукова, М.М. Методика опытного дела в агрономии / М.М. Гукова. – М.: Изд-во УДН, 1987. – 90 с.
71. Демусенко, П.М. Методика сопутствующих наблюдений на агротехнических опытах / П.М. Демусенко. – М., 1958.
72. Демьянов, Н.Я. Общие приемы анализа растительных веществ. Агрономическая химия / Н.Я. Демьянов. – М.-Петроград: Госиздат, 1923. – 242 с.
73. Деревицкий, Н.Ф. Вопросы методики полевого опыта / Н.Ф. Деревицкий. – Кишинев: Штиинца, 1960. – 143 с.
74. Деревицкий, Н.Ф. Опытное дело в растениеводстве / Н.Ф. Деревицкий. – Кишинев: Штиинца, 1962. – 616 с.
75. Державин, Л.М. Использование метода полевого опыта в агрохимии. Л.М. Державин, Е.В. Седова, Н.С. Позднякова // Агрохимия. 1984. № 4. С. 103-118.
76. Державин, Л.М. Методика разработки нормативных показателей выноса и коэффициентов использования питательных веществ сельскохозяйственными культурами из минеральных удобрений и почвы / Л.М. Державин, Р.Н. Попова, Н.И. Дегтярева, Т.Н. Вакао. – М.: ЦИНАО, 1982. – 57 с.
77. Дзюба, В.А. Многофакторные опыты и методы биометрического анализа экспериментальных данных / В.А. Дзюба. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – 76 с.
78. Дзюба, В.А. Планирование многофакторных опытов и методы статистической обработки экспериментальных данных / В.А. Дзюба, Б.Н. Шмелев. – Краснодар: ВНИИ риса, 2004. – 82 с.
79. Дзюба, В.А. Теоретическое и прикладное растениеводство: на примере пшеницы, ячменя и риса; науч.-метод. пособие / В.А. Дзюба. – Краснодар, 2010. – 475 с.
80. Дмитриев, Е.А. Математическая статистика в почвоведении / Е.А. Дмитриев. – М.: Книжный дом Либроком, 2009. – 328 с.
81. Добровольский, В.В. Практикум по географии почв с основами почвоведения / В.В. Добровольский. – М.: Просвещение, 1982. – 127 с.
82. Доспехов, Б.А. Методика опытной работы в школе / Б.А. Доспехов, Г.И. Гордиенко. – М.: Просвещение, 1975. – 127 с.
83. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.
84. Доспехов, Б.А. Основы методики полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Просвещение, 1967. – 176 с.
85. Доспехов, Б.А. Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1972. – 206 с.
86. Доспехов, Б.А. Практикум по земледелию / Б.А. Доспехов, И.П. Васильев, А.М. Туликов. – М.: Колос, 1977. – 368 с.
87. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Финансы и статистика. Книга 1., 1986. – 366 с.; Книга 2., 1987. – 351 с.
88. Дубровский, С.А. Прикладной многомерный статистический анализ / С.А. Дубровский. – М.: Финансы и статистика, 1982.-216 с.
89. Дубслаф, Ганс. Введение севооборотов с учетом местных условий / Ганс Дубслаф. – М.: Колос, 1966. – 264 с.

90. Дюран, Б. Кластерный анализ / Б. Дюран, П. Оделл. – М.: Статистика, 1977. – 105 с.
91. Ежов, Г.И. Руководство к практическим занятиям по сельскохозяйственной микробиологии / Г.И. Ежов. – М.: Высшая школа, 1981. – 271 с.
92. Елагин, И.Н. Некоторые особенности методики полевых и вегетационных опытов с рисом / И.Н. Елагин, Н.С. Тур, В.П. Сычев // Вестн. с.-х. науки. 1976. № 5. С. 85-91.
93. Есаулко, А.Н. Лабораторный практикум по агрохимии для агрономических специальностей / А.Н. Есаулко, В.В. Агеев, Ю.И. Гречишкина, О.Ю. Лобанкова, Л.С. Горбатко, В.И. Радченко, А.И. Подколзин, Р.Н. Мусов. – Ставрополь: АГРУС, 2007. – 260 с.
94. Ещенко, В.Е. Основы опытного дела в растениеводстве / В.Е. Ещенко, М.Ф. Трифонова, П.Г. Копытко, А.М. Соловьев, И.П. Фирсов, В.А. Шевченко / Под ред. В.Е. Ещенко и М.Ф. Трифоновой. – М.: Колос, 2009. – 268 с.
95. Жежер, А.Я. Методические рекомендации по планированию экспериментов в земледелии / А.Я. Жежер, В.Г. Потанин. Краснообск: СибНИИСХ, 1994. – 52 с.
96. Жежер, А.Я. Стратегия и тактика исследований в земледелии на основе теории планирования эксперимента. Методические рекомендации / А.Я. Жежер, А.М. Криков, А.Н. Власенко, О.Д. Сорокин. – Новосибирск: СО РАСХН, 1999. – 110 с.
97. Жуков, В.А. Математические методы оценки агроклиматических ресурсов / В.А. Жуков, А.Н. Полевой, А.Н. Витченко, С.А. Даниелов. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 207 с.
98. Журбицкий, З.И. Теория и практика вегетационного метода / З.И. Журбицкий. – М.: Наука, 1968. – 260 с.
99. Зайдель, А.Н. Ошибки измерений физических величин / А.Н. Зайдель. – Л.: Наука, 1974. – 108 с.
100. Зайцев, Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1990. – 226 с.
101. Зайцев, Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
102. Зайцев, Г.Н. Методика биометрических расчетов / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1973. – 256 с.
103. Закс, Л. Статистическое оценивание / Л. Закс. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
104. Зильберштейн, Х.И. Случайные ошибки анализа и границы обнаружения элементов / Х.И. Зильберштейн // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук. – 1978. – № 9/4. – С. 39-48
105. Зубков, А.Ф. Методические указания по оценке агробиоцентрических связей с помощью путевого регрессионного анализа / А.Ф. Зубков. – Л.: Изд-во АФИ, 1973.
106. Зырин, Н.Г. Физико-химические методы исследования почв / Н.Г. Зырин. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 382 с.
107. Зырин, Н.Г. Физико-химические методы исследования почв / Н.Г. Зырин, Д.С. Орлов. – М.: МГУ, 1964. – 348 с.
108. Иванов, Н.Н. Методы физиологии и биохимии растений / Н.Н. Иванов. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1946. – 494 с.
109. Иванова, Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей / Т.И. Иванова. – М.: Агропромиздат, 1989. – 235 с.
110. Иванюкович, Г.А. Статистический анализ экологических данных. Практикум решения задач с помощью пакета программ Statistica / Г.А. Иванюкович. – СПб: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2010. – 204 с.
111. Изотопы и радиация в сельском хозяйстве. Т. 1 / Под ред. В.В. Рачинского. – М.: Агропромиздат, 1989. – 302 с.
112. Изотопы и радиация в сельском хозяйстве. Т. 2 / Под ред. В.В. Рачинского. – М.: Агропромиздат, 1989. – 366 с.
113. Ильин, И.Р. Таблицы для статистической обработки экспериментальных данных / И.Р. Ильин. – Кишинев: Штиинца, 1976. – 150 с.

114. Ильинский, А.А. Практикум по плодоводству / А.А. Ильинский. – М.: Агропромиздат, 1988. – 175 с.
115. Информационные методы синтеза моделей биологических систем / Под ред. О.Г. Чораяна. – Киев: Вища школа, 1982. – 240 с.
116. Йогансен, В. Элементы точного учения об изменчивости и наследственности с основами биологической вариационной статистики / В. Йогансен. – М.-Л.: СХГИЗ, 1933. – 410 с.
117. Йожеф, Сэги. Методы почвенной микробиологии / С. Йожеф. – М.: Колос, 1983. – 296 с.
118. Караченцев, В.В. Сравнительная оценка эффективности методов определения норм минеральных удобрений под рис / В.В. Караченцев, А.Х. Шеуджен // Агропромышленный комплекс юга России. – VI неделя науки МГТИ. 2001. С. 178-179.
119. Кендалл, М. Статистические выводы и связи / М. Кендалл, А. Стьюарт. – М.: Наука, 1973. – 988 с.
120. Кидин, В.В. Техника лабораторных работ в агрохимических исследованиях / В.В. Кидин. – М.: РГАУ-МСХА, 2006. – 151 с.
121. Ким, Д. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Д. Ким, Ч. Мьюллер, У. Клекка и др. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
122. Кириченко, К.С. К методике определения признаков заболачивания почвы рисовых полей / К.С. Кириченко // Тр.ВЦСРХ. 1933. Вып. 1. С. 52-54.
123. Кирюшин, Б.Д. Методика научной агрохимии. Часть 2. Постановка опытов и статистика – агрономическая оценка их результатов / Б.Д. Кирюшин – М.: МСХА, 2005. – 199 с.
124. Кирюшин, Б.Д. Модификация полевых стационаров и их значение для научной агрономии и практического земледелия. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / Б.Д. Кирюшин, А.Ф. Сафонов. – М.: Агроконсалт, 2003. С. 188–216.
125. Клейн, Р.М. Методы исследования растений / Р.М. Клейн, Д.Т. Клейн. – М.: Колос, 1974. – 527 с.
126. Ключковский, В.М. Руководство к практическим занятиям по агрохимии. Часть 2 / В.М. Ключковский, А.Г. Шестаков. – М.: Сельхозгиз, 1937. – 288 с.
127. Климентов, Б.В. Полевые опыты в колхозах и совхозах / Б.В. Климентов. – М.: Сельхозгиз, 1959. – 226 с.
128. Кобзаренко, В.И. Курсовая работа по методике постановки полевых и вегетационных опытов / В.И. Кобзаренко, И.Н. Батура, В.Ф. Волобуева, И.И. Серегина. – М.: РГАУ, 2010. – 70с.
129. Кобзаренко, В.И. Учебно-методическая практика по агрохимии. Практикум по агрохимии / В.И. Кобзаренко, В.Ф. Волобуева, под ред. В.В. Кидина. – М.: КолосС, 2008. С. 513–581.
130. Ковалев, В.М. Совершенствование методов исследований и задачи моделирования в растениеводстве // В.М. Ковалев // Вест. с.-х. науки. 1986. № 10. с. 17-24.
131. Ковалев, В.М. Теория урожая / В.М. Ковалев. – М.: МСХА, 2003. – 332 с.
132. Коваль, С.Ф. Растение в опыте / С.Ф. Коваль, В.П. Шаманин. – Омск: ОмГАУ, 1999. – 204 с.
133. Козлова, З.М. Моисеев В.П. Практикум по агрометеорологии / З.М. Козлова, В.А. Завалашин. – Л.: Гидрометеоздат, 1973. – 240 с.
134. Колесников, А.Ф. Основы математической обработки результатов измерений / А.Ф. Колесников. – Томск.: Изд-во Томского ун-та, 1963. – 50 с.
135. Комар, С. Радиоактивные изотопы в биологии и сельском хозяйстве / С. Комар. – М.: ИЛ, 1957. – 408 с.
136. Константинов, П.Н. Избранные сочинения / П.Н. Константинов. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 696 с.
137. Константинов, П.Н. Основы сельскохозяйственного опытного дела / П.Н. Константинов. – М.: Сельхозгиз, 1952. – 446 с.

138. Копнин, П.В. Эксперимент и его роль в познании / П.В. Копнин // Вопросы философии. 1955. №4. С. 29-40.
139. Кочергин, А.Н. Методы и формы познания / А.Н. Кочергин. – М.: Наука, 1990. – 236 с.
140. Красинский, А.П. Наука сельскому хозяину / А.П. Красинский. – М.: Госиздат, 1923. – 75 с.
141. Красинский, А.П. Навоз, торф и компост / А.П. Красинский. – М.-Л.: Госиздат, 1925, – 46 с.
142. Красинский, А.П. Трехполье, многолетье и питание растений / А.П. Красинский. – М.-Л.: Молодая гвардия, 1927, – 67 с.
143. Красинский А.П. Вопросы полеводства на опытном поле Сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева / А.П. Красинский. – М.: Новый агроном, 1928. – 86 с.
144. Краткие методические указания по проведению государственных испытаний регуляторов роста растений. – М.: ЦИНАО, 1984. – 43 с.
145. Крищенко, В.П. Методы оценки качества растительной продукции / В.П. Крищенко. – М.: Колос, 1983. – 192 с.
146. Крылов, А.Н. Лекции о приближенных вычислениях / А.Н. Крылов. – Л.: Изд-во АН СССР, 1933. – 541 с.
147. Кудрявцева, А.А. Методика и техника постановки полевого опыта на стационарных участках / А.А. Кудрявцева. – М.: Сельхозгиз, 1959. – 319 с.
148. Кузнецов, А.В. Лекции по методике агрохимических исследований. Вегетационный метод в агрохимии / А.В. Кузнецов. – М.: Изд-во УДН, 1977. – 44 с.
149. Кузнецов, В.С. Практикум по растениеводству / В.С. Кузнецов. – М.: Колос, 1977. – 184 с.
150. Кузнецов, С.И. Методы изучения водных микроорганизмов / С.И. Кузнецов, Г.А. Дубинина. – М.: Наука, 1989. – 288 с.
151. Кулаичев, А.П. Методы и средства комплексного анализа данных / А.П. Кулаичев. – М.: ФОРУМ-ИНФРА, 2006. – 512 с.
152. Кулюкин А.Н. Школьнику об агрохимии закрытого грунта / А.Н. Кулюкин. – М.: Просвещение, 1985. – 92 с.
153. Курец, В.К. Статистическое моделирование системы связей растение-среда / В.К. Курец, Э.Г. Попов. – Л.: Наука, 1991. – 152 с.
154. Курсанов, А.Л. Ученый и аудитория / А.Л. Курсанов. – М.: Наука, 1982. – 272 с.
155. Лазеева, Г.С. Спектрально-изотопный метод в агрохимии и биологии / Г.С. Лазеева, А.А. Петров, Л.Б. Сирота. – Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербург. ун-та, 1999. – 448 с.
156. Лакин, Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
157. Ланге, К.А. Организация управления научным исследованием / К.А. Ланге. – Л.: Наука, 1971. – 210 с.
158. Ларешин, В.Г. Практикум по почвоведению. Раздел Картирование почв / В.Г. Ларешин, А.Н. Ерошина, П.Д. Мелиников. – М.: Изд-во УДН, 1988. – 68 с.
159. Ларин, И.В. Избранные труды / И.В. Ларин. – М.: Колос, 1978.- 432 с.
160. Лебедевцев, А.Н. Некоторые основные вопросы организации опытов на постоянных участках. / А.Н. Лебедевцев. Избранные труды. – М.: Сельхозгиз, 1960. С. 462-480.
161. Лебедевцев, А.Н. Пробные снопы как способ учета урожая на опытных делянках. / А.Н. Лебедевцев. Избранные труды. – М.: Сельхозгиз, 1960. С. 481-546.
162. Лебедевцев, А.Н. Вегетационный метод. Лебедевцев А.Н. Избранные труды / А.Н. Лебедевцев. – М.: Сельхозгиз, 1960. С. 450-461.
163. Лебедевцев, А.Н. Пробные снопы как способ учета урожая на опытных делянках. Лебедевцев А.Н. Избранные труды / А.Н. Лебедевцев. – М.: Сельхозгиз, 1960. С. 481-546.
164. Леонтович, А.В. Вариационная статистика / А.В. Леонтович, Г.А. Григорьев, А.И. Мандзюк. – М.: Сельхозгиз, 1935. – 204 с.

165. Лисовой, Н.В. Статистическая обработка экспериментальных данных долгосрочных полевых опытов и математическое моделирование. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / Н.В. Лисовой, В.П. Филатов, И.Г. Барышев. – М.: Агроконсалт, 2003. С. 117–134.
166. Литвинов, С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве / С.С. Литвинов. – М.: ВНИИ овощеводства, 2011. – 650 с.
167. Литтл, Т. Сельскохозяйственное опытное дело / Т. Литтл, Ф. Хиллз. – М.: Колос, 1981. – 320 с.
168. Лобашев, П.Г. Полевой метод / П.Г. Лобашев. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1935. – 279 с.
169. Лукомец, В.М. Методика проведения полевых агротехнических опытов с различными культурами / В.М. Лукомец, Н.М. Тишков, В.Ф. Баранов, В.Т. Пивень, Уго Торо Корреа. – Краснодар: ВНИИМК., 2010. – 327 с.
170. Лыков, А.М. Практикум по земледелию с основами почвоведения / А.М. Лыков, А.М. Туликов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 207 с.
171. Лысенко, Т.Д. Колхозные хаты – лаборатории и агронаука. / Т.Д. Лысенко. Агробиология. – М.: Госсельхозиздат, 1952. С. 201-219.
172. Лысогоров, С.Д. Практикум по орошаемому земледелию / С.Д. Лысогоров, В.А. Ушкаренко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 128 с.
173. Любичев, А.А. Дисперсионный анализ в биологии / А.А. Любичев. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 200 с.
174. Максимов, В.Н. Многофакторный эксперимент в биологии / В.Н. Максимов. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 280 с.
175. Мамонтов, В.Г. Практическое руководство по химии почв / В.Г. Мамонтов, А.А. Гладков, М.М. Кузелев. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 225 с.
176. Марков, В.М. Методика полевых опытов с овощными культурами / В.М. Марков, М.А. Тиброва. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 104 с.
177. Маркова, Е.В. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей / Е.В. Маркова, А.Н. Лисенков. – М., 1973. – 219 с.
178. Маркова, Е.В. Комбинаторные планы в задачах многофакторного эксперимента / Е.В. Маркова, А.Н. Лисенков. – М.: Наука, 1979. – 348 с.
179. Мельник, А.В. Применение программируемых микрокалькуляторов для статистической обработки результатов агрономических исследований / А.В. Мельник. – Умань: УмСХИ, 1985. – 51 с.
180. Менделеев, Д.И. Работы по сельскому хозяйству и лесоводству / Д.И. Менделеев. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 620 с.
181. Методика опытных работ на сенокосах и пастбищах / Под ред. Н.С. Конюшкова, Т.А. Работнова и И.А. Цаценкина. – М.: Сельхозгиз, 1961. – 288 с.
182. Методика опытных работ по рису / Отв. ред. Г.Г. Гушин // Тр.РОС.1937. Вып. 8. –96 с.
183. Методика опытов на сенокосах и пастбищах. Часть 1. – М.: ВНИИ кормов, 1971. – 232 с.
184. Методика опытов на сенокосах и пастбищах. Часть 2. – М.: ВНИИ кормов, 1971. – 176 с.
185. Методика полевого опыта в овощеводстве и бахчеводстве / Под ред. В.Ф. Белика и Г.Л. Бондаренко. – М.: Колос, 1979. – 210 с.
186. Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами / Отв. ред. А.В. Соколов и Д.Л. Аскинази. – М.: Наука, 1967. – 184 с.
187. Методика полевых опытов с кормовыми культурами. – М.: ВНИИ кормов, 1971. – 157 с.
188. Методика составления и использования крупномасштабных почвенных карт / Под ред. Н.Н. Поддубного. – М.: Колос, 1976. – 224 с.
189. Методические и организационные основы проведения и агроэкологического мониторинга в интенсивном земледелии / Под ред. Н.З. Милащенко и Ш.И. Литвака. – М.: ВИУА, 1991. – 356 с.

190. Методические рекомендации по проведению опытов с овощными культурами в сооружениях защищенного грунта / Отв. за вып. Н.М. Дворецкова. – М.: ВАСХНИЛ, 1976. – 108 с.
191. Методические указания по полевому испытанию гербицидов в растениеводстве. – М.: ВНИИЗР, 1981. – 46 с.
192. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Часть 1 / В.Г. Минеев, В.Д. Панников, Е.П. Трепачев и др. – М.: ВИУА, 1986. – 147 с.
193. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Часть 2 / Под ред. В.Д. Панникова. – М.:ВИУА, 1983. – 171 с.
194. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Часть 3. Анализ растений / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: ВИУА, 1985. – 132 с.
195. Методические указания по проведению полевых опытов с удобрениями Географической сети на 10-ю пятилетку / Под ред. В.Д. Панникова. – М.: ВИУА, 1976. – 139 с.
196. Методическое и аналитическое обеспечение организации и проведения исследований по технологии производства винограда / Науч. ред. К.А. Серпуховитина. – Краснодар: СКЗНИИС и В, 2010. – 182 с.
197. Методическое руководство по лабораторной карантинной экспертизе растительных материалов и почвы / Под ред. Т.И. Роговой. – М.: Изд-во МСХ СССР, 1960. – 176 с.
198. Методологические и методические аспекты почвоведения / Отв. ред. И.М. Гагжиев. – Новосибирск: Наука, 198. – 168 с.
199. Методологические проблемы современной науки. – М.: Наука, 1978. – 386 с.
200. Методы агрохимических анализов почв и растений / Отв. ред. П. В. Протасов. – Ташкент: ВНИИ хлопководства, 1977. – 187 с.
201. Методы агрохимических, агрофизических и микробиологических исследований в поливных хлопковых районах / Отв. ред. М.А. Белоусов. – Ташкент: ВНИИ по хлопководству, 1963. – 439 с.
202. Методы анализа объектов окружающей среды / Отв. ред. В.В. Малахов.– Новосибирск: Наука, 1988. – 144 с.
203. Методы минералогического и микроморфологического изучения почв / Отв. ред. Н.И. Горбунов. – М.: Наука, 1971. – 176 с.
204. Методы определения болезней и вредителей сельскохозяйственных растений / Перевод с немец. К.В. Попковой и В.А. Шмыгли. – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.
205. Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям / Под ред. Б.С. Маслова. – М.: Колос, 1983. – 319 с.
206. Методы применения изотопа азота  $^{15}\text{N}$  в агрохимии / Под ред. Д.А. Коренькова. – М.: Колос, 1977. – 159 с.
207. Меченые атомы в исследованиях питания растений и применения удобрений / Отв. ред. В.М. Клечковский, А.В. Соколов, В.М. Зезюлинский. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 175 с.
208. Митропольский, А.К. Техника статистических вычислений / А.К. Митропольский. – М.: Наука, 1971. – 576 с.
209. Михайлова Л.А. Особенности питания и удобрение основных сельскохозяйственных культур на почвах Предуралья / Л.А. Михайлова, Т.А. Кротких. – Пермь: Пермская ГСХА, 2012. – 223 с.
210. Моисейченко, В.Ф. Методика опытного дела в плодоводстве и овощеводстве / В.Ф. Моисейченко. – Киев: Вища школа, 1988. – 141 с.
211. Молостов, А.С. Методика полевого опыта / А.С. Молостов. – М.: Колос, 1966. – 239 с.
212. Мостеллер, Ф. Анализ данных и регрессия / Ф. Мостеллер, Дж. Тьюки // М.: Финансы и статистика, 1982. Вып. 1. – 224 с. Вып. 2 – 240 с.
213. Муравин, Э.А. Практикум по агрохимии / Э.А. Муравин, Л.В. Обуховская, Л.В. Ромодина. – М.: КолосС, 2005. – 288 с.

214. Муромцев, Н.А. Лизиметрические исследования водного, теплового и пищевого режимов почв в луговом и полевом земледелии. Методическое руководство / Н.А. Муромцев, Н.А. Семенов, В.Ф. Кирдин, А.Н. Смирнов, Э.Н. Садовская. – Немчиновка: ВНИИ кормов, 2007. – 56 с.
215. Муха, В.Д. Практикум по агропочвоведению / В.Д. Муха, Д.В. Муха, А.Л. Ачкасов. – М.: Колос, 2010. – 367 с.
216. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
217. Налимов, В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.
218. Небольсин, А.Н. Интерпретация результатов агрохимических исследований с использованием статистических моделей. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина. – М.: Агроконсалт, 2003. С. 74–84.
219. Недокучаев, Н.К. Вегетационный метод / Н.К. Недокучаев. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1931.
220. Недокучаев, Н.К. Опытное дело в полевом земледелии. Теория и практика / Н.К. Недокучаев. – М.: Госиздат, 1929. – 388 с.
221. Недокучаев, Н.К. Полевой метод. Краткое руководство по методике полевых опытов / Н.К. Недокучаев. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1930. – 224 с.
222. Немчинов, В.С. Сельскохозяйственная статистика с основами общей теории / В.С. Немчинов. – М.: Сельхозгиз, 1946. – 345 с.
223. Неуньлов, Б.А. Применение радиоизотопа фосфора (P32) для определения усвояемых фосфатов в посевах рисовых полей / Б.А. Неуньлов, Н.Е. Стрельченко, Л.И. Карпова // Агрохимия. 1968. № 1. С. 117-124.
224. Новиков, А.М. Методология / А.М. Новиков, Д.А. Новиков. – М.: СИНТЕГ, 2007. – 668 с.
225. Нога, Г.С. Опыты и наблюдения над растениями / Г.С. Нога. – М.: Просвещение, 1976. – 176 с.
226. Овчаров К.Е. Власть человека над жизнью растений / К.Е. Овчаров. – М.: ВНИИА, 1986. – 84 с.
227. Опытное дело в полевом земледелии / Под ред. Г.Ф. Никитенко. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 190 с.
228. Опыты полевые с удобрениями. Порядок проведения. ОСТ 10106 – 87.
229. Орешкина, Н.С. Статистические оценки пространственной изменчивости свойств почв / Н.С. Орешкина. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 112 с.
230. Орманджи, К.С. Контроль качества полевых работ / К.С. Орманджи. – М.: Росагропромиздат, 1991. – 191 с.
231. Основные методы фитопатологических исследований / Под ред. А.Е. Чумакова. – М.: Колос, 1974. – 190 с.
232. Основы научных исследований / Под ред. В.И. Крутова и В.В. Попова. – М.: Высшая школа, 1989. – 400 с.
233. Особенности применения методов с использованием изотопов азота в агрохимических исследованиях. – М.: ВНИИА, 1990. – 32 с.
234. Павлова, М.Д. Практикум по агрометеорологии / М.Д. Павлова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 184 с.
235. Павлюков, В.Г. Практикум по тропическому растениеводству / В.Г. Павлюков. – М.: Изд-во УДН, 1988. – 270 с.
236. Пекеньо Перес, Х. Практикум по тропическому земледелию / Х. Пекеньо Перес. – М.: Изд-во УДН, 1987. – 280 с.
237. Перегудов, В.Н. Метод наименьших квадратов и его применение в исследованиях / В.Н. Перегудов. – М.: Колос, 1965. – 86 с.
238. Перегудов, В.Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов / В.Н. Перегудов. – М.: Колос, 1978. – 183 с.

239. Перегудов, В.Н. Проведение многофакторных опытов с удобрениями и математический анализ их результатов / В.Н. Перегудов, Т.И. Иванова, Т.К. Егорова, В.С. Лазер, В.С. Пушенков, М.И. Сотникова. – М.: ВИУА., 1976. – 112 с.
240. Перегудов, В.Н. Статистические методы обработки данных полевого опыта / В.Н. Перегудов. – М.: Сельхозгиз, 1948. – 296 с.
241. Пересыпкин, В.Ф. Практикум по методике опытного дела в защите растений / В.Ф. Пересыпкин, С.Н. Коваленко, В.С. Шелестова, М.К. Асатур. – М.: Агропромиздат, 1989. – 175 с.
242. Петербургский, А.В. Как и чем питаются растения / А.В. Петербургский. – М.: Наука, 1964. – 184 с.
243. Петербургский, А.В. Лабораторный практикум для лаборантов агрохимических лабораторий / А.В. Петербургский, В.П. Замота. – М.: Высшая школа, 1965. – 168 с.
244. Петербургский, А.В. Практикум по агрономической химии / А.В. Петербургский. – М.: Колос, 1968. – 496 с.
245. Пирс, С. Полевые опыты с плодовыми деревьями / С. Пирс. – М.: Колос, 1969. – 244 с.
246. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с.
247. Пиуновский, Б.А. Практикум по мелиоративному земледелию / Б.А. Пиуновский. – М.: Агропромиздат, 1986. – 271 с.
248. Плохинский, Н.А. Алгоритмы биометрии / Н.А. Плохинский. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 150 с.
249. Плохинский, Н.А. Биометрия / Н.А. Плохинский. – Новосибирск: Изд-во Сиб. Отд. АН СССР, 1961. – 364 с.
250. Плохинский, Н.А. Математические методы в биологии / Н.А. Плохинский. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 265 с.
251. Подольский, А.С. Фенологический прогноз / А.С. Подольский. – М.: Колос, 1974. – 288 с.
252. Полевой определитель почв / Под ред. Н.И. Полупана, Б.С. Носко и В.П. Кузьмичева. – Киев: Урожай, 1981. – 320 с.
253. Полевой опыт / Под ред. П.Г. Найдина. – М.: Колос, 1968. – 328 с.
254. Политова, И.Д. Практикум по общей и сельскохозяйственной статистике / И.Д. Политова, С.С. Сергеев, А.П. Зинченко, А.М. Гатаулин. – М.: Колос, 1967. – 512 с.
255. Политова, И.Д. Практикум по общей теории статистики и сельскохозяйственной статистике / И.Д. Политова, С.С. Сергеев, А.П. Зинченко, А.М. Гатаулин. – М.: Статистика, 1980. – 303 с.
256. Поморский, Ю.Л. Методы биометрических исследований / Ю.Л. Поморский. – Л.: Ленинг. обл. изд-во, 1935. – 400 с.
257. Попов, В.А. Методика полевых мелиоративных опытов в растениеводстве / В.А. Попов, Н.В. Островский. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – 57 с.
258. Пособие по проведению анализов почв и составлению агрохимических картограмм / Под руков. Н.П. Карпинского и К.А. Гаврилова. – М.: Россельхозиздат, 1969. – 328 с.
259. Посыпанов, Г.С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха / Г.С. Посыпанов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 300 с.
260. Потапов, В.А. Методы обработки экспериментальных данных в плодоводстве / В.А. Потапов, В.И. Кашин, А.Г. Курсанов. – М.: Колос, 1997. – 144 с.
261. Потапов, С.П. Методика постановки опытов с плодовыми, ягодными и цветочно-декоративными растениями / С.П. Потапов, А.А. Чувикова, Т.Г. Черных, А.А. Коваль. – М.: Просвещение, 1982. – 239 с.
262. Поултон, П.Р. Практические рекомендации по отбору образцов почвы и растений и их хранению при проведении длительных опытов. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / П.Р. Поултон. – М.: Агроконсалт, 2003. С. 239–257.

263. Практикум по агрохимии / Под ред. В.В. Кидина. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
264. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
265. Практикум по агрохимии / Под ред. И.Р. Вильдфлуша и С.П. Кукреша. – Минск: Урожай, 1998. – 270 с.
266. Практикум по минеральному питанию и водному обмену растений. Санкт-Петербург: Изд-во С. Петер.ун-та, 1996. – 164 с.
267. Практикум по почвоведению / Отв. за выпуск Ю.А. Штомпель и В.С. Цховребов. – Краснодар: Советская Кубань, 2003. – 328 с.
268. Практикум по почвоведению / Под ред. И.С. Кауричева. – М.: Агропромиздат, 1986. – 336 с.
269. Практикум по почвоведению / Под ред. И.С. Кауричева. – М.: Колос, 1980. – 272 с.
270. Практикум по сельскохозяйственной фитопатологии / Под ред. В.А. Шкаликова. – М.: Колос, 2004. – 208 с.
271. Практикум по физиологии растений / Под ред. В.Б. Иванова. – М.: Изд-во «Академия», 2004. – 144 с.
272. Практикум по физиологии растений / Под ред. Н.Н. Третьякова. – М.: Колос С, 2003. – 288 с.
273. Приемы анализа полевых опытов и лабораторных исследований некоторыми методами математической статистики / Отв. ред. Г.А. Алиев. – Душанбе: ТаджСХИ, 1976. – 104 с.
274. Прохорова, З.А., Фрид А.С. Изучение и моделирование плодородия почв на базе длительного полевого опыта / З.А. Прохорова. – М.: Наука, 1993. – 189 с.
275. Прянишников, Д.Н. Вегетационный метод и его роль в агрохимическом исследовании / Д.Н. Прянишников. Избранные сочинения. Т. 3. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. С. 610-628.
276. Прянишников, Д.Н. Метод изолированного питания и его значение при изучении некоторых вопросов физиологии растений / Д.Н. Прянишников. Избранные сочинения. Т. 2. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 436-442.
277. Прянишников, Д.Н. О нормальных смесях для песчаных и водных культур / Д.Н. Прянишников. Избранные сочинения. Т. 2. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 443-455.
278. Прянишников, Д.Н. Полевые опыты с удобрениями / Д.Н. Прянишников. Избранные сочинения. Т. 3. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. С. 581-609.
279. Прянишников, Д.Н. Сталин и химизация нашего земледелия / Д.Н. Прянишников. Избранные сочинения. Т. 3. – М.: Госсельхозиздат, 1953. С. 45-57.
280. Прянишников, Д.Н. Полевые опыты с удобрениями. Д.Н. Прянишников. Избранные сочинения / Д.Н. Прянишников // Т. 3. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. С. 581–609.
281. Пузаченко, Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях / Ю.Г. Пузаченко. – М.: Издат. центр «Академия», 2004. – 416 с.
282. Пустовой, И.В. Практикум по агрохимии / И.В. Пустовой, В.И. Филин, А.В. Корольков. – М.: Колос, 1995. – 336 с.
283. Пустыльник, Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е.И. Пустыльник. – М.: Наука, 1968. – 282 с.
284. Пядтягин, М.Е. Математическая обработка агрономических и зоотехнических наблюдений / М.Е. Пядтягин. – Краснодар: Крас.кн. изд-во, 1965. – 148 с.
285. Радов, А.С. Практикум по агрохимии / А.С. Радов, И.В. Пустовой, А.В. Корольков. – М.: Агропромиздат, 1985. – 312 с.
286. Ракицкий, П.Ф. Биологическая статистика / П.Ф. Ракицкий. – Минск: Изд-во «Высшая школа», 1964. – 327 с.
287. Раменский, Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель / Л.Г. Раменский. – М.: Сельхозгиз, 1938.-650 с.
288. Рао, С.Р. Линейные статистические методы и их применение / С.Р. Рао. – М.: Наука, 1968. – 548 с.

289. Ринькис, Г.Я. Методы анализа почв и растений / Г.Я. Ринькис, Х.К. Рамане, Т.А. Куницкая.– Рига: Зинтне. 1987. – 174 с.
290. Роде, А.А. Система методов исследования в почвоведении / А.А. Роде. – Новосибирск: Наука, 1971. – 92 с.
291. Рожков, В.А. Методы изучения корневых систем растений в поле и лаборатории / В.А. Рожков, И.В. Кузнецова, Х.Р. Рахматуллоев. –М.: Изд-во ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 51 с.
292. Романенков, В.А. Использование статистических методов при исследовании информационных баз данных длительных опытов по органическому веществу почвы. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / В.А. Романенков, С.О. Канзываа, Л.К. Шевцова. – М.: Агроконсалт, 2003. С. 105–116.
293. Романовский, В.И. Применение математической статистики в опытном деле / В.И. Романовский. – М.: Гостехиздат, 1947. – 247 с.
294. Ротмистров, В. Методика полевого опыта. Одесское опытное поле / В. Ротмистров. – Одесса, 1906. – 84 с.
295. Рубанов, И.А. Методические указания по применению математических методов планирования эксперимента в сельском хозяйстве / И.А. Рубанов, Н.Н. Михайлов, А.А. Тимохина. – М.: Колос, 1973. – 64 с.
296. Руге, У. Практикум по физиологии роста и развития растений / У. Руге. – М.: Изд-во ИЛ, 1955. – 192 с.
297. Рузавин, Г.И. Методология научного исследования / Г.И. Рузавин. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1978.
298. Руководство к практическим занятиям по микробиологии / Под ред. Н.С. Егорова. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 215 с.
299. Руководство по апробации сельскохозяйственных культур / Ред. П.Е. Маринич и Д.Д. Брежнев. – М.: Колос, 1966. – 456 с.
300. Руководство по составлению почвенных и агрохимических карт / Под ред. А.В. Соколова. – М.: Колос, 1964. – 384 с.
301. Русин, Г.Г. Физико-химические методы анализа в агрохимии / Г.Г. Русин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 303 с.
302. Савич, В.И. Экспрессные методы оценки обеспеченности почв элементами питания и уровня загрязнения токсикантами / В.И. Савич, В.Г. Сычев, Л.Л. Шишов, А.Г. Замараев, П. Санчес, А.В. Аларкон. – М.: МСХА, 2004. – 152 с.
303. Сазанов, В.И. Сельскохозяйственное опытное дело в растениеводстве и его методика / В.И. Сазанов. – М.: Сельхозгиздат, 1962. – 112 с.
304. Сапожников, Н.А. Использование почвенных карт и агрохимических картограмм при разработке системы удобрения / Н.А.Сапожников, Н.Л. Благовидов, М.Ф. Корнилов, Н.Н. Рюмин. – Л.: Колос, 1965. – 160 с.
305. Свешников, А.А. Основы теории ошибок / А.А. Свешников. – Л.: Изд-во Ленинг. ун-та, 1972. – 116 с.
306. Себер, Дж. Линейный регрессионный анализ / Дж. Себер. – М.: Изд-во «Мир», 1980. – 456 с.
307. Семенов, Н.А. Лизиметрические исследования в луговодстве / Н.А. Семенов, Н.А. Муромцев, Г.А. Сабитов, Б.И. Коротков. – М., 2005. - 494 с.
308. Семенов, В.А. Полевой опыт. Новая концепция. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / В.А. Семенов. – М.: Агроконсалт, 2003. С. 8–31.
309. Семенов, Н.А. Программы регрессионного анализа и прогнозирования временных рядов. Пакеты ПАРИС и МАВР / Н.А. Семенов. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 111 с.
310. Сильвестров, Д.С. Пакеты прикладных программ статистического анализа / Д.С. Сильвестров, Н.А. Семенов, В.В. Марщук. – Киев: Техника, 1990. – 176 с.
311. Синякова, Л.А. Практикум по основам агрономии с ботаникой / Л.А. Синякова, Т.А. Степанова, В.Ф. Цупак. – М.: Колос, 1984. – 336 с.

312. Сиротенко, О.Л. Имитационная система поддержки и обобщения результатов многолетних опытов в земледелии. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / О.Л. Сиротенко, В.А. Романенков, Л.К. Шевцова. – М.: Агроконсалт, 2003. С. 84–89.
313. Сказкин, Ф.Д. Летние практические занятия по физиологии растений / Ф.Д. Сказкин, М.С. Миллер, Г.А. Обухова, В.В. Аникеев, В.П. Новиков, О.В. Редман. – М.: Просвещение, 1973. – 208 с.
314. Сказкин, Ф.Д. Практикум по физиологии растений / Ф.Д. Сказкин, Е.И. Ловчиновская, Т.А. Красносельская, М.С. Миллер, В.В. Аникеев. – М.: Изд-во Советская наука, 1953. – 311 с.
315. Сметанин, А.П. Методики опытных работ по селекции, семеноводству, семеноведению и контролю за качеством семян риса / А.П. Сметанин, В.А. Дзюба, А.И. Апрод. – Краснодар: ВНИИ риса, 1972. – 156 с.
316. Смирнов, В.И. Сельскохозяйственное опытное дело в растениеводстве и его методика / В.И. Смирнов. – М.: Сельхозиздат, 1962.
317. Смиряев, А.В., Гохман М.В. Биометрические методы в селекции растений / А.В. Смиряев, М.В. Гохман. – М.: Агропромиздат, 1985. – 214 с.
318. Смородинов М.И. Рекомендации по использованию радиоизотопных методов для определения физико-химических свойств грунтов / М.И. Смородинов, А.А. Морозов, И.В. Лавров. – М., 1971. – 49 с.
319. Снедекор, Д.У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии / Д.У. Снедекор. – М.: Сельхозгиз, 1961. – 497 с.
320. Совершенствование методики проведения длительных полевых опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / Под ред. В.А. Семенова. – М.: Агроконсалт, 2003. – 276 с.
321. Соколов А.В. Применение изотопа фосфора в агрохимических исследованиях / А.В. Соколов, И.П. Сердобольский. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 64 с.
322. Соколов, А.В. Вегетационный метод / А.В. Соколов, А.И. Ахромейко, В.Н. Панфилов. – М.: Сельхозгиз, 1938. – 292 с.
323. Составление и использование почвенных карт / Под ред. А.Д. Кашанского. – М.: Агропромиздат, 1987. – 273 с.
324. Спиридонов, Ю.Я. Методическое руководство по изучению гербицидов, применяемых в растениеводстве / Ю.Я. Спиридонов, Г.Е. Ларина, В.Г. Шестаков. – М.: ВНИИ фитопатологии, 2009. – 252 с.
325. Стебут, И.А. О сельскохозяйственном опытном деле / И.А. Стебут. Избранные сочинения. Т. 2. – М.: Сельхозиздат, 1957. С. 452-467.
326. Степанов, Н.С. Практикум по основам агрономии / Н.С. Степанов, И.И. Костецкий. – М.: Колос, 1981. – 240 с.
327. Строна, И.Г. Методика изучения силы роста семян полевых культур / И.Г. Строна. – М.: Колос, 1964. – 136 с.
328. Сысуев, В.А. Методические аспекты оптимизации продукционного процесса в растениеводстве путем дифференцированного использования природных, биологических и техногенных факторов. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / В.А. Сысуев, Ф.Ф. Мухамадьяров. – М.: Агроконсалт, 2003. С. 156–175.
329. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. – М.: ГЕОС, 2006. – 400 с.
330. Теппер, Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. – М.: Изд-во Дрофа, 2004. – 256 с.
331. Титова, В.И. Практикум по агроэкологии / В.И. Титова, Е.В. Дабахова, М.В. Дабахов. – Н.Новгород: Нижегородская ГСХА, 2005. – 138 с.
332. Торшин, С.П. Практикум по сельскохозяйственной радиологии / С.П. Торшин, Г.А. Смольга, А.С. Пельтцер. – М.: РГАУ-МСХА, 2011. – 125 с.

333. Трейман, А.А. Питательные смеси для песчаной культуры пшеницы. Методические рекомендации / А.А. Трейман. – Новосибирск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 1991. – 37 с.
334. Тьюки, Дж. Анализ результатов наблюдений / Дж. Тьюки. – М.: Мир, 1981. – 693 с.
335. Тюрин, Ф.Н. Непараметрические методы статистики / Ф.Н. Тюрин. – М.: Знание, 1978. – 64 с.
336. Тюрин, Ю.В. Статистический анализ данных на компьютере / Ю.В. Тюрин, А.А. Макаров. – М.: Инфра-М, 1998. – 527 с.
337. Уиттекер, Э. Математическая обработка результатов наблюдений / Э. Уиттекер, Г. Робинсон. – Л.-М.: ОНТИ, 1935. – 364 с.
338. Уишарт, Дж., Сандерс Г. Основы методики полевого опыта / Дж. Уишарт, Г. Сандерс. – М.: Изд-во ИЛ, 1958. – 206 с.
339. Уланова, Е.С. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии / Е.С. Уланова, В.Н. Забелин. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 207 с.
340. Уланова, Е.С. Методы статистического анализа в агрометеорологии / Е.С. Уланова, О.Д. Сиротенко. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 198 с.
341. Уорсинг, А. Методы обработки экспериментальных данных / А. Уорсинг, Дж. Геффнер. – М.: ИЛ, 1953. – 348 с.
342. Урбах, В.Ю. Биометрические методы / В.Ю. Урбах. – М.: Наука, 1964. – 416 с.
343. Урбах, В.Ю. Математическая статистика для биологов и медиков / В.Ю. Урбах. – М.: Наука, 1963. – 323 с.
344. Ушаков, Е.В. Введение в философию и методологию науки / Е.В. Ушаков. – М.: КНОРУС, 2008. – 592 с.
345. Файерабенд, П. Избранные труды по методологии науки / П. Файерабенд. – М.: Прогресс, 1986. – 336 с.
346. Федин, М.А. Статистические методы генетического анализа / М.А. Федин, Д.Я. Силис, А.В. Смиряев. – М.: Колос, 1980. – 207 с.
347. Федорец, Н.Г. Методика исследования почв урбанизированных территорий / Н.Г. Федорец, М.В. Медведева. – Петрозаводск, 2009. – 83 с.
348. Федоров, А.И. Методы математической статистики в биологии и опытно-деловом деле / А.И. Федоров. – Алма-Ата: Кайнар, 1967, – 163 с.
349. Федоров, В.В. Теория оптимального эксперимента / В.В. Федоров. – М., 1971. – 312 с.
350. Федоровский, Д.В. Методы изучения микропестроты почв / Д.В. Федоровский. – М.: Наука, 1978. – 127 с.
351. Филиппова, Т. Е. Методика оценки агрохимических показателей плодородия почвы в условиях ландшафтного стационара. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / Т.Е. Филиппова, Д.А. Иванов. – М.: Агроконсалт, 2003. С. 217–238.
352. Филипченко, Ю.А. Изменчивость и методы ее изучения / Ю.А. Филипченко. – М.: Наука, 1978. – 204 с.
353. Финни, Д. Введение в теорию планирования экспериментов / Д. Финни. – М.: Наука, 1970. – 287 с.
354. Финни, Д. Применение статистики в опытно-деловом деле / Д. Финни. – М., Госстатиздат, 1957. – 176 с.
355. Фишер, Р.А. Статистические методы для исследователей / Р.А. Фишер. – М.: Госстатиздат, 1958. – 248 с.
356. Франс, Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Х.М.Дж. Торнли. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.
357. Фрид, А.С. Методы сравнения вариантов в длительных полевых опытах. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / А.С. Фрид. – М.: Агроконсалт, 2003. С. 66–73.
358. Фрид, А.С. Пространственное варьирование и временная динамика плодородия почв в длительных полевых опытах / А.С. Фрид. – М.: Почв.ин-т им. В.В. Докучаева, 2002. – 80 с.

359. Фролов, И.Т. Очерки методологии биологического исследования. Система методов биологии / И.Т. Фролов. – М.: Изд-во ЛКИ, 2013. – 288 с.
360. Хазиев, Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. – М.: Наука, 1990. – 189 с.
361. Хикс, Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Ч. Хикс. – М.: Мир, 1967. – 408 с.
362. Химмельблау, Д. Анализ процессов статистическими методами / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1973. – 957 с.
363. Хмельницкий, Р.А. Современные методы исследования агрономических объектов / Р.А. Хмельницкий. – М.: Высшая школа, 1981. – 256 с.
364. Хомяков, Д.М. Методика использования (хранения, накопления, оценки, обмена и практического применения) информации полевых опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / Д.М. Хомяков, Р.А. Искандарян. – М.: Агроконсалт, 2003. С. 90–104.
365. Хотимский, В.И. Выравнивание статистических рядов по методу наименьших квадратов (способ Чебышева) / В.И. Хотимский. – М.: Госстатиздат, 1959. – 88 с.
366. Хохлов, Н.Ф. Методика выявления эффектов регулирования агрофизического состояния почвы в длительном полевом опыте. Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных / Н.Ф. Хохлов. – М.: Агроконсалт, 2003. С. 176–187.
367. Христич, А.Г. Сельскохозяйственная статистика с основами экономической статистики / А.Г. Христич. – М.: Колос, 1967. – 464 с.
368. Худенко, М.Н. Основы исследований в агрохимии / М.Н. Худенко, А.Ф. Дружинин. – Саратов: СарГАУ, 2003. – 140 с.
369. Хьюитт, Э. Песчаные и водные культуры в изучении питания растений / Э. Хьюитт. – М.: Изд-во ИЛ, 1960 – 398 с.
370. Хьютсон, А. Дисперсионный анализ / А. Хьютсон. – М.: Статистика, 1971. – 88 с.
371. Цупак, В.Ф. Практикум по основам агрономии с ботаникой / В.Ф. Цупак, Л.А. Синякова, Т.А. Степанова. – Л.: Колос, 1973. – 360 с.
372. Чарьков, А.К. Математическая обработка результатов химического анализа / А.К. Чарьков. – Л.: Химия. 1984. –168 с.
373. Чернавина, И.А. Большой практикум по физиологии растений: минеральное питание. Физиология клетки. Рост и развитие / И.А. Чернавина, Н.Г. Потапов, Л.Г. Косулина, Т.Е. Кренделева. – М.: Высшая школа, 1978. – 408 с.
374. Чупрова, В.В. Большой практикум по почвоведению с основами геологии / В.В. Чупрова, Н.Л. Кураченко, А.А. Белоусов, О.А. Власенко. – Красноярск: КрасноярГАУ, 2007. – 375 с.
375. Шевцова, Л.К. Программа и методы исследования гумусного состояния почв длительных опытов Геосети, реперных участков и полигонов агроэкологического мониторинга / Л.К. Шевцова. – М.: ВНИИ А, 2008 – 36 с.
376. Шемн, Е.В. Лабораторные методы исследования физических свойств почв / Е.В. Шемн, Т.Н. Початкова, Т.А. Рычева, А.М. Сидорова, А.В. Смагин, А.Б. Умарова. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 55 с.
377. Шестаков А.Г. Руководство к практическим занятиям по агрохимии. Часть 2 / А.Г. Шестаков. – М.: Сельхозгиз, 1940. – 448 с.
378. Шеуджен, А.Х. Диагностика питания риса макро- и микроэлементами / А.Х. Шеуджен, Н.В. Воробьев, Н.Е. Алешин, М.А. Скаженник, А.В. Ларкин. – Краснодар, 1996. – 36 с.
379. Шеуджен, А.Х. Законы научного земледелия – фундамент агрохимической науки / А.Х. Шеуджен, С.В. Есипенко // Энтузиасты аграрной науки. – Краснодар. Вып. 16. 2014. С. 16-22
380. Шеуджен, А.Х. Расчет доз внесения фосфорных и калийных удобрений на посевах риса / А.Х. Шеуджен, Н.Е. Алешин, Т.Н. Бондарева //Рис России. 1996. Т. 4. № 3 (8). С. 62-64.

381. Шеуджен, А.Х. Агробиогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 878 с.
382. Шеуджен, А.Х. Агрохимическое обследование почв и составление картограмм / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, А.А. Тенеков. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 44 с.
383. Шеуджен, А.Х. Агрохимия в России / А.Х. Шеуджен, В.Г. Сычев. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 726 с.
384. Шеуджен, А.Х. Агрохимия. Часть 1. История и методология агрохимии / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – 1280 с.
385. Шеуджен, А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП, «Адыгея», 2003. – 1028 с.
386. Шеуджен, А.Х. Законы земледелия – научная основа сохранения плодородия почв и эффективного применения удобрений / А.Х. Шеуджен, Н.С. Котляров, Л.М. Онищенко. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2004. – 36 с.
387. Шеуджен, А.Х. Зарождение и развитие земледелия на Северном Кавказе / А.Х. Шеуджен, Е.М. Харитонов, Г.А. Галкин, А.К. Тхакушинов. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2001. – 952 с.
388. Шеуджен, А.Х. Метод меченых атомов в агрохимических исследованиях / А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Т.Н. Бондарева. – Краснодар, КубГАУ, 2014. – 73 с.
389. Шеуджен, А.Х. Методика лабораторных, вегетационных и полевых опытов с микроудобрениями в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Н.Е. Алешин, Э.Р. Авакян, Н.Г. Туманян, Д.З. Долев. – Майкоп: Изд-во МСХ РА, 1995. – 37 с.
390. Шеуджен, А.Х. Методы агрохимических исследований и статистическая оценка их результатов. Шеуджен, А.Х., Куркаев В.Т., Котляров Н.С. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: Изд-во «Афиша» С. 922–1007.
391. Шеффе, Г. Дисперсионный анализ / Г. Шеффе. – М.: Наука, 1980. – 512 с.
392. Шишов, Л.Л. Лизиметры в почвенных исследованиях / Л.Л. Шишов, И.С. Кауричев, В.А. Большакова, Н.А. Муромцев, И.М. Яшин, Л.П. Орлова. – М.: Почв.ин-т им. В.В. Докучаева, 1998. – 264 с.
393. Шмидт, В.М. Математические методы в ботанике / В.М. Шмидт. – Л.: Изд-во Ленинг. ун-та, 1984. – 288 с.
394. Штофф, В.А. Введение в методологию научного познания / В.А. Штофф. – Л.: ЛГУ, 1972. – 326 с.
395. Шубин, М.М. Организация и методика полевых опытов в колхозах и совхозах / М.М. Шубин. – М.: Колос, 1965. – 124 с.
396. Щиголов, Б.М. Математическая обработка наблюдений / Б.М. Щиголов. – М.: Госфизматиздат, 1962, – 344 с.
397. Энгельгардт, А.Н. Избранные сочинения / А.Н. Энгельгардт - М.: Госсельхозиздат, 1959. – 755 с.
398. Энгельгардт, А.Н. Избранные сочинения / А.Н. Энгельгардт. – М.: Сельхозиздат, 1959. – 755 с.
399. Юдин, Ф.А. Методика агрохимических исследований / Ф.А. Юдин. – М.: Колос, 1980 – 366 с.
400. Явтушенко, В.Е. Методические указания по проведению стационарных комплексных опытов с удобрениями на эродированных почвах / В.Е. Явтушенко, С.М. Цигуткин, Г.С. Липкина. – М.: ВИУА, 1986. – 56 с.
401. Ягодин, Б.А. Вегетационный метод исследования / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.Ф. Волобуева, О.Л. Янишевский. – М.: МСХА, 2002. – 72 с.
402. Яковлев, К.П. Математическая обработка результатов измерений / К.П. Яковлев. – М.: Гостехтеоретиздат, 1953. – 372 с.
403. Якушев, В.П. Статистический анализ опытных данных. Непараметрические критерии / В.П. Якушев, В.М. Буре. – СПб.: АФИ, 2001. – 61 с.

## С Л О В А Р Ь Т Е Р М И Н О В

*Как ни коротки слова «да», «нет», все же они требуют самого серьезного размышления.*

**Пифагор**

*Дайте объяснение употребляемым словам, и вы избавите человечество от многих его заблуждений.*

**Р. Декарт**

### А

**Аберрация** – отклонение от чего-нибудь, а также искажение чего-нибудь.

**Абиотическая среда** – неживая, нежизненная часть природной среды.

**Абиотические факторы** – освещение, температура, влажность и другие, необходимые для жизни условия, возникновение и действие которых прямо не зависят от деятельности живых организмов.

**Абсолютная вероятная погрешность среднего** (предельная абсолютная ошибка, предельная ошибка выборки или погрешность измерения) – максимально возможная разница между выборочным и генеральным средними при принятой вероятности;  $\Delta_c = t \cdot s_x$ .

**Абсолютная влажность воздуха** – отношение массы водяного пара к объему воздуха ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ).

**Абсолютная погрешность измерения** – погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

**Абсолютное вероятное отклонение случайной величины** – максимально возможная величина разницы между случайной величиной и средним при принятой вероятности.

**Абсолютное знание** – полное, исчерпывающее воспроизведение обобщенных представлений об объекте, обеспечивающее абсолютное совпадение образа с объектом. Абсолютное знание не может быть опровергнуто или изменено в будущем.

**Абсолютное значение погрешности** – значение погрешности без учета ее знака (модуль погрешности).

**Абсолютное измерение** – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и/или использовании значений физических констант.

**Абсолютное черное тело** – объект с коэффициентом отражения, равным нулю, полностью поглощающий падающее на него излучение.

**Абсолютный прирост** – разница между последующим и предыдущим уровнем.

**Абсолютный статистический показатель** – общий (сводный) признак массового явления.

**Абсорбция** – поглощение вещества из жидкой или газовой смеси всем объемом абсорбента, в т. ч. элементов питания корнями растений из почвы или листьями при некорневой подкормке растений.

**Абстрагирование** – 1) мысленное отвлечение от несущественных свойств, связей, отношений предметов и выделение нескольких сторон, интересующих исследователя; 2) теоретическое обобщение опыта или мысленное выделение главного, наиболее существенных связей при отвлечении от всех остальных. Используются два типа абстракций: отождествление – для образования понятий о системе, классах; изолирование – для выделения главного.

**Абстракция идеализации** – мысленное представление вещей или процессов, не существующих в реальном мире. При этом свойства мысленно изучаемого предмета или явления доводятся до оптимальных значений.

**Абсцизовая кислота (АБК)** – природный гормональный ингибитор роста растений терпеноидной природы.

**Абсцисса** – первая из координат точки в декартовой прямоугольной системе координат на плоскости или в пространстве.

**Автоконтур** – система копирования поверхности почвы, устанавливаемая на сельскохозяйственных машинах.

**Автокорреляционная функция (корреляционная функция)** – специальная характеристика случайного процесса, которая показывает, как взаимосвязаны колебания реализации случайной функции.

**Автоматика** – отрасль науки и техники, охватывающая теорию и принципы построения систем управления производственными, измерительными, испытательными и информационными технологическими процессами, действующими без непосредственного участия человека, но в антропотехнических системах под его информатиометрическим наблюдением.

**Автотрофы** – организмы, создающие органическое вещество из  $\text{CO}_2$ , воды и минеральных солей в результате фотосинтеза или хемосинтеза.

**Агрикультура (агрокультура)** – 1) раздел агрономии, изучающий способы пользования землей и повышения плодородия почвы; 2) обработка земли с целью выращивания культурных растений; 3) совокупность мероприятий по улучшению культуры земледелия.

**Агроантропобиоценоз** – сообщество растений, животных и микроорганизмов, населяющих участок среды обитания с более или менее однородными условиями жизни, регулируемые с участием человека.

**Агробιοгеохимическая классификация химических элементов** – 1) макроэлементы – элементы, содержащиеся в сухой массе растений в количестве  $> 0,1\%$ ; 2) мезоэлементы –  $0,1-0,01\%$ ; 3) микроэлементы –  $0,01-0,0001\%$ ; 4) ультрамикроэлементы –  $< 0,0001\%$ ; 5) инертные элементы – элементы образующие главную подгруппу VIII-й группы периодической системы Д.И. Менделеева; б) техногенные элементы – элементы, не обнаруженные в земной коре, поступление которых в растение связано с техногенезом. (предложена А.Х. Шеудженом.).

**Агробιοгеохимия** – наука, изучающая взаимодействие живой и не живой природы в агробιοгеоценозе. Термин «агробιοгеохимия» состоит из трех греческих слов: agros (поле), bios (жизнь), geo (земля) и средневекового латинского (al)chimia (наука о веществах, их составе, свойствах и взаимных превращениях).

**Агроландшафт** – 1) территориальная система, в которой взаимосвязаны как природные, так и антропогенно-техногенные элементы; 2) техногенный ландшафт, который формируется под влиянием интенсивного техногенного воздействия.

**Агрономическая химия (агрохимия)** – 1) наука о минеральном питании растений, химических и биохимических процессах в почве и растениях, применении удобрений и других агрохимических средств, с целью воспроизводства и улучшения плодородия почв, повышения количества и качества урожая; 2) наука о взаимодействии удобрений, почвы, растений и климата, круговороте веществ в земледелии и рациональном применении удобрений.

**Агрономические руды** – минеральное сырье для производства минеральных удобрений.

**Агрономическое назначение удобрений** – 1) для прямого воздействия – содержащие в каждой частице один или несколько (комплексные) элементов питания; 2) для косвенного воздействия путем улучшения свойств почвы или сти-

мулирования лучшего использования имеющихся в почве элементов питания (путем гипсования, известкования).

**Агротехника** – технология возделывания сельскохозяйственных культур.

**Агротехнические требования** – нормативы или указания по безопасности и качеству сельскохозяйственных работ, технические требования к сельскохозяйственным машинам, приборам, оборудованию, автоматизированным и автоматическим системам.

**Агрохимическая карта** – картографическое изображение рН, содержания подвижных форм элементов питания в почве.

**Агрохимическая характеристика почвы** – совокупность агрохимических показателей, характеризующих плодородие почвы.

**Агрохимическое картирование почвы** – составление агрохимических карт на основе полевых лабораторных и камеральных работ.

**Агроценоз** – 1) совокупность организмов, обитающих на землях, занятых посевами и посадками сельскохозяйственных растений или древесными насаждениями; 2) биоценоз, сложившийся на сельскохозяйственных угодьях.

**Агроэкология** – наука о поддержании оптимальных пропорций между различными компонентами биосферы, о разработке научных основ природоохранных мероприятий, направленных на придание более гармоничного характера взаимоотношениям человека и биосферы.

**Адаптация** – 1) приспособление к изменившимся условиям существования от кратковременных ответных реакций до генетических изменений, закрепленных естественным отбором; 2) процесс индивидуального приспособления организма к особенностям условий существования и их изменениям, который происходит на протяжении всей индивидуальной жизни особи.

**Аддитивная величина** – величина, разные значения которой могут быть суммированы, умножены на числовой коэффициент, разделены друг на друга, причем величина (свойство), соответствующая целому объекту, всегда равна сумме величин, соответствующих его частям, каким бы образом объект ни разбивали на части.

**Адсорбция** – поглощение вещества из жидкой или газовой смеси поверхностью сорбента. Различают физическую адсорбцию, когда молекулы адсорбируемого вещества сохраняют свою индивидуальность, и хемосорбцию, когда частицы поглощаемого вещества взаимодействуют химически.

**Адьювант** – дополнительный, стимулятор – неспецифическое вещество различной природы, стимулирующее (поддерживающее, помогающее, пролонгирующее) активность действующего начала препаративной формы пестицида (удобрения) по ее прямому биологическому действию, применяемое в качестве добавки в состав удобрения или препарата.

**Азональная почва** – почвы, строго не приуроченные к конкретным растительно-климатическим зонам.

**Азотное удобрение** – удобрение, содержащее азот в усвояемой растением форме.

**Азотонакопители (азотособиратели)** – бобовые растения, которые благодаря симбиозу с клубеньковыми бактериями, способны поглощать атмосферный азот и обогащать им почву.

**Азотфиксация** – усвоение молекулярного атмосферного азота микроорганизмами.

**Акватметрия** – методы количественного определения воды в твердых, сыпучих и жидких веществах.

**Акклиматизация** – приспособление организма к новым географическим (климатическим) условиям.

**Аккредитация** – процедура, посредством которой официально признается возможность выполнить работы по определенному направлению в заявленной области.

**Аккредитация лаборатории** – официальное признание того, что испытательная лаборатория правомочна осуществлять конкретные испытания или конкретные типы испытаний.

**Аккумуляция** (накопление) – поступление веществ в клетку, ткань и орган с малым содержанием этого вещества против градиента концентрации.

**Акр** – внесистемная единица площади в английской системе мер; 1 акр равен 0,4047 га.

**Аксиома** – положение, которое берется в качестве исходного, недоказуемого в данной теории, и из которого выводятся все остальные предложения и выводы теории по заранее фиксированным правилам. Аксиомы очевидны без доказательства.

**Аксиоматический метод** – способ построения научной теории, при котором некоторые утверждения (аксиомы) принимаются без доказательств и затем используются для получения остальных знаний по определенным логическим правилам. Общеизвестной, например, является аксиома о параллельных линиях (не пересекаются), которая принята в геометрии без доказательств.

**Активация** – процесс, приводящий к образованию более активного (в химическом и/или биологическом смысле) соединения по сравнению с исходным веществом.

**Активная кислотность почвы** (актуальная кислотность почвы) – кислотность почвенного раствора.

**Активность почвы биологическая** – совокупность биологических процессов, протекающих в почве.

**Активный эксперимент** – полевые опыты, включающие регистрацию измеряемых параметров при подаче на вход исследуемого объекта периодических или ступенчатых возмущающих воздействий (метод искусственных возмущений).

**Алгоритм** – последовательность точно описанных операций, выполняемых в определенном порядке.

**Алгоритм последовательного деления многочленов** – алгоритм для отыскания наибольшего общего делителя двух многочленов.

**Аллелопатия** – 1) способность растения выделять через корни биологически активные вещества, влияющие отрицательно или положительно на другие виды растений; 2) химическое взаимодействие растений посредством специфических органических выделений.

**Аллофаны** – группа тонкодисперсных неокристаллизованных минералов, растворимых в щелочах, имеющих общую формулу  $nAl_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot pH_2O$  и содержащих иногда значительное количество Fe, Ca, Mg и других катионов.

**Аллювий** – отложения водных потоков, представленные различными наносами практически любого гранулометрического состава.

**Альbedo** – отражающая способность поверхности; выражается отношением отраженного света к падающему (в %).

**Альгицид** – химическое вещество для уничтожения водорослей.

**Альтернатива** – одна из исключаящих друг друга возможностей.

**Альтернативные системы земледелия** – биологические системы земледелия (технологии) без использования химических удобрений и пестицидов, т. е. производство сельскохозяйственных продуктов, полностью исключаящее применение агрохимикатов.

**Амидное удобрение** – азотное удобрение, содержащее азот в амидной форме.

**Аммиакат** – концентрированный раствор азотного удобрения в водном аммиаке.

**Аммонийное (аммиачное) удобрение** – азотное удобрение, содержащее азот в аммонийной форме.

**Аммонийно-нитратное удобрение** – азотное удобрение, содержащее азот в аммонийной и нитратной формах.

**Аммонификация** – разложение азотсодержащих органических веществ микроорганизмами с образованием аммиака.

**Амплитуда** – величина вариации признака от его минимального до максимального значений в данной совокупности.

**Анабиоз** – нежизнедеятельное состояние организма, вызванное пересыханием, глубоким охлаждением, при котором сохраняется вся организация живых клеток и их жизнеспособность.

**Анаболизм** – составляющая обмена веществ, в частности, создание конститuentов (составных частей) организма (равноценно ассимиляции).

**Анализ** – 1) метод исследования, с помощью которого изучаемый предмет мысленно или практически расчленяется на составные части для более детального изучения; 2) метод познания при помощи расчленения или разложения предметов исследования (объектов, свойств) на составные части.

**Анализ выровненных графиков** – при сглаживании, построении схематических диаграмм или силуэтов – анализ пар значений  $(x, y - bx)$  для подходящего  $b$ , результаты которого затем восстанавливают к виду  $(x, y)$ .

**Анализ наилучшего случая** – анализ поведения системы, выбор характеристик которой обеспечивает наиболее экстремальный результат.

**Анализ произведений отношений** – вычисление и использование графиков произведения-отношения; исследование зависимости квадратного корня из произведения от логарифма отношения.

**Аналогия** – метод научного познания, посредством которого знания о неизвестных предметах и явлениях получают на основании того, что они имеют сходство с другими, уже изученными.

**Анаэробное дыхание** – дыхательный процесс, при котором необходимый для окисления кислород поглощается не из воздуха, как при аэробном дыхании, а из воды и гидроксильных групп сахаров.

**Анаэробный** – процесс или организм, который не нуждается в кислороде (факультативно анаэробный) или не может существовать в его присутствии (облигатно анаэробный).

**Аннотация** – краткое изложение содержания книги, статьи и так далее.

**Аномалия** – отклонение от нормы, общей закономерности, неправильность.

**Антагонизм** – тип взаимоотношений между организмами, при которых одни организмы подавляют развитие других или приводят их к гибели; способность одного вещества уменьшать или устранять биологическое действие другого.

**Антагонизм ионов** – способность ионов взаимно подавлять присущее каждому из них действие.

**Антивитамины** – вещества, инактивирующие витамины и оказывающие на организмы противоположное им действие; например, стрептоцид является антивитамином аскорбиновой кислоты.

**Антропогенная нагрузка** – влияние комплекса источников и факторов воздействия всех видов хозяйственной деятельности на окружающую среду.

**Антропогенные факторы** – факторы, обусловленные хозяйственной деятельностью человека и влияющие на природную среду.

**Антропосфера** – 1) сфера обитания и деятельности человека; 2) часть биосферы, измененная в результате производственной деятельности человека.

**Аппликата** – третья по счету координата точки в декартовой прямоугольной системе координат в пространстве.

**Аппроксимация** – неполное описание данных, обычно получаемое путем выбора из класса возможных описаний, иногда в результате определенной процедуры.

**Априори** – вероятность, которую можно указать до проведения эксперимента.

**Арборицид** – химическое вещество для уничтожения древесной и кустарниковой растительности.

**Ареал** – область распространения определенной группы организмов – вида или таксонов более высокого ранга.

**Аридный** – относящийся к районам низкого увлажнения, засушливый.

**Асимптотические функции** – функции, стремящиеся к определенному пределу, которого они достигают теоретически при бесконечно большом значении аргумента. Этот предел называется асимптотой функции.

**Ассимиляты** – первичные органические вещества, образующиеся в хлоропластах при фотосинтезе.

**Ассимиляционное число** – отношение между интенсивностью фотосинтеза и содержанием хлорофилла в листе.

**Ассимиляция** (анаболизм) – превращение организмом веществ, поступающих извне, в соединения, тождественные обычным составным веществам данного организма.

**Ассоциация** – связь, возникающая при определенных условиях между двумя или более психическими образованиями (ощущениями, двигательными актами, восприятиями, идеями и т. п.).

**Атмосфера** – воздушная оболочка планеты, включающая смесь различных газов, водяных паров и пылевых (аэрозольных) частиц.

**Атмосферная инверсия** – 1) возрастание температуры воздуха в атмосфере с высотой вместо обычного для тропосферы ее убывания; 2) устойчивое состояние приземного слоя атмосферы.

**Атом** – мельчайшая частица химического элемента, являющаяся носителем его свойств; в центре атома находится положительно заряженное ядро (протоны и нейтроны), в котором сосредоточена почти вся масса атома; вокруг движутся электроны, образующие электронные оболочки, размеры которых ( $10^{-8}$  см) определяют размеры атома, а заряд всех электронов равен заряду ядра; число электронов равно числу протонов, определяющих порядковый номер элемента в Периодической системе элементов Менделеева.

**Атрибут** – неотъемлемое свойство предмета.

**Ауксины** – фитогормоны, преимущественно индольной природы.

**Аэробный** – способный жить и развиваться только в присутствии кислорода.

**Аэрозоль** – 1) коллоидные системы, в которых дисперсионной средой служит, как правило, воздух; 2) взвешенные в атмосферном воздухе мельчайшие капельки жидкости или частицы твердых веществ.

**Аэропоника** – метод выращивания растений без почвы, при котором корни находятся в воздухе и периодически обрызгиваются мелкими каплями (туманом) питательного раствора с помощью форсунок или разбрызгивающих дисков.

## Б

**Баковая смесь** – физическое смешение препаратов перед обработкой в полевых условиях.

**Бактериальные препараты** – препараты бактерий, которые вносятся в почву для повышения ее плодородия.

**Бактериостатический** – фактор, останавливающий рост и размножение бактерий.

**Бактерицидный** – фактор, убивающий бактерий.

**Баланс** – соотношение взаимно связанных показателей процесса.

**Баланс гумуса** – разность между содержанием всех статей прихода и расхода органических компонентов в почве.

**Баланс элементов питания в почве** – разность между поступлением и расходом элементов питания в почве.

**Балл** – единица оценки степени, силы какого-нибудь физического явления.

**Безотвальная обработка почвы** – прием рыхления почвы орудиями, не оборачивающими пласт.

**Безразмерные величины** – производные величины, не зависящие от измерения в одно и то же число раз величин, принятых за основание; к безразмерным величинам относятся также все относительные величины.

**Бесподстилочный навоз** – навоз без подстилки с добавкой воды или без нее.

**Бик-анализатор** – прибор для определения содержания белка, влажности, клейковины, жира, зольности, стекловидности, белизны, сорта, крупности, числа падения, ИБК и других показателей в продукте.

**Бинарный** – двойной, состоящий из двух компонентов.

**Бином Ньютона** – название формулы, выражающей любую целую положительную степень суммы двух слагаемых (бинома, двучлена) через степени этих слагаемых.

**Биномиальное распределение** – основное дискретное распределение вероятностей (дискретное в том смысле, что случайная величина может принимать только  $0, 1, 2, \dots, n$ ).

**Биоанализ (биоиндикация)** – количественное определение содержания вещества в среде (вода, почва) с помощью чувствительных биотестов (проростки растений, взрослые растения, иногда водоросли).

**Биогеохимическая провинция** – пространственно-территориальная единица на поверхности Земли, которая отличается от соседних территорий по уровню содержания химических элементов, что вызывает различную реакцию местной фауны и флоры.

**Биогеохимия** – часть геохимии, изучающая геохимические процессы, происходящие в биосфере при участии живого вещества; рассматривает роль организмов в процессе миграции, распределения, рассеяния и концентрации химических элементов в земном шаре.

**Биогеоценология** – наука о единой взаимообусловленности природного комплекса, включающего растительное сообщество вместе с населяющим его животным миром и соответствующим ландшафтом, с его особыми свойствами микроклимата, геологического строения почв и водного режима.

**Биодеградация (биодеструкция, биоразложение)** – образование под воздействием биологических факторов более простых по структуре метаболитов пестицида.

**Биоиндикаторы** – организмы, присутствие, количество или особенности развития, поведения, самочувствия которых служат показателями естественных процессов, условий или изменений среды обитания.

**Биологическая (техническая) эффективность применения (гербицида)** – результат применения (гербицида) в полевых условиях, выраженный показателями гибели, снижения численности или угнетения роста и развития сорняков, а так же уменьшение ущерба от них для защищаемых растений.

**Биологическая активность почвы** – интенсивность биологических процессов, протекающих в почве.

**Биологический азот** – азот, поступающий в почву и растения в результате фиксации атмосферного азота микроорганизмами.

**Биологическое поглощение элементов питания в почве** – поглощение растениями и почвенной микрофлорой элементов питания из почвы, удобрений и воздуха.

**Биом (биотическая зона)** – совокупность видов растений и животных, населяющих данный район, крупная экосистема, характеризующаяся определенными зонально-климатическими условиями.

**Биомасса** – 1) общая масса живого вещества популяций растения и/или животного; 2) количество живого вещества, накопленного к данному моменту времени биогеоценозом (фитоценозом) на единице площади (в кг/га, т/га).

**Биометрия** – раздел биологии, содержанием которого является планирование наблюдений и статистическая оценка их результатов.

**Бионакопление** – поглощение веществ из окружающей среды, их концентрирование и сохранение организмами.

**Биопроба (биоанализ)** – определение концентрации (дозы) вещества (агента), необходимой для получения специфической ответной реакции индикаторного или тест-организма.

**Биоредуценты** – микроорганизмы, способные разлагать органические вещества до простых минеральных веществ в естественных и антропогенно-нарушенных экосистемах.

**Биота** – флора и фауна; все организмы.

**Биота почвенная** – вся совокупность живых обитателей почвы.

**Биотест** – живые объекты (растения и их части, микроорганизмы), используемые для количественного определения содержания вещества в среде методом биоанализа.

**Биотестирование** – то же, что и биоанализ, биоиндикация.

**Биотоп** – часть экосистемы; относительно однородная по абиотической среде территория, занятая сходными биогеоценозами.

**Биофильность** – степень потребности химического элемента для отдельных групп или видов живых организмов.

**Биоценоз** – исторически сложившееся сообщество растений, животных и микроорганизмов, обеспечивающее круговорот веществ в экосистеме и способное к саморегуляции.

**Блок** – часть повторения или компактная группа нескольких делянок опыта.

**Бонитировка почв** – сравнительная оценка качества почв по их плодородию.

**Брожение** – ферментативное разложение органических веществ на более простые соединения, вызываемое бактериями; различают обычно по конечному продукту – спиртовое, уксусное, молочнокислое и т. д. брожения.

**Брэндинг** – маркировка продукции.

**Буферная емкость почв по отношению к микроэлементу** – способность почвы противостоять изменению количества микроэлемента при его выносе растениями за пределы почвенного профиля и при внесении как микроудобрения.

**Буферная способность** – свойство среды препятствовать изменению ее параметров.

**Буферность почвы** – способность почвы противостоять изменению реакции почвенного раствора в кислую или щелочную сторону.

## В

**Валовой азот почвы** – общее содержание азота в почве.

**Валовой анализ почвы** – определение общего содержания химических элементов в почве.

**Валовой калий почвы** – общее содержание калия в почве.

**Валовой фосфор почвы** – общее содержание фосфора в почве.

**Варианса** – см. дисперсия.

**Вариант** – 1) часть опыта, который обычно проводится путем сравнения продуктивности растений, выращиваемых в неодинаковых условиях. Различие

условий достигается варьированием одного, а иногда и нескольких факторов. Опыт состоит из набора отличающихся друг от друга конкретных условий выращивания растений – вариантов; 2) изучаемое растение, сорт, условия возделывания, агротехнический прием или их сочетание; 3) определенный вид или градация изучаемого в опыте фактора воздействия. Вариант есть составная часть схемы опыта, обозначаемая тем фактором, который изучается в опыте. Вариант в схеме опыта, с которым сравнивают результаты, полученные в других вариантах, называется контролем или стандартом. Он позволяет определить степень чувствительности растений к изучаемому в опыте фактору.

**Варианта** (от лат. *varians, variantis* – различающийся, изменяющийся) – 1) отдельно взятый член вариационного ряда, числовое значение варьирующего признака; 2) серия измерений вариант, выполненная на части популяции.

**Вариационная кривая** – изображение вариационного ряда в виде кривой, ординаты которой пропорциональны частотам вариационного ряда.

**Вариационная статистика** (математическая статистика, биометрия, биологическая статистика) – наука о способах применения математических методов в биологии. Методы биометрии дают математические характеристики совокупности и основаны на теории вероятностей – науке, изучающей общие закономерности в массовых случайных явлениях различной природы. Математическая статистика изучает совокупность, то есть группу отдельных однородных объектов, объединенных для совместного изучения.

**Вариационный метод** – метод исследования системы, сложного объекта, при котором с помощью логических рассуждений и интуитивных представлений отбирается ограниченное количество вариантов системы (объекта), подлежащих дальнейшему сравнительному анализу.

**Вариационный ряд** – 1) ряд данных, в котором указаны значения варьирующего признака в порядке возрастания или убывания и соответствующие им численности объектов – частоты; 2) ряд ранжированных значений признака, в котором указана частота их встречаемости в данной совокупности.

**Вариация** – 1) отклонение от чего-либо, единичное изменение. В широком смысле – изменчивость величины варьирующего признака в пределах его минимального и максимального значений; 2) изменение размеров признака у единиц, входящих в статистическую совокупность.

**Варьирование, варибельность** – производные от слов варьировать, вариация – одна из форм проявления биологической изменчивости, выражающаяся в виде слабых индивидуальных различий, наблюдаемых между особями в пределах любой биологически однородной группы.

**Варьировать** – отклоняться от чего-либо, видоизменяться в признаках и свойствах организма.

**Вегетационно-полевой метод** – изучение растений непосредственно в поле в металлических сосудах без дна (в цилиндрах). Этот метод используют при изучении эффективности удобрений, определении плодородия генетических горизонтов почвы, моделировании условий почвенной среды, метеорологических факторов, а также при изучении других вопросов.

**Вегетационный метод** – исследование растений, выращиваемых в специальных сосудах, стеклянных домиках при строго контролируемых условиях внешней среды с целью изучения их влияния на рост растений, урожай и его качество. В качестве наполнителя сосудов применяют почву, песок, гравий, воду. В зависимости от наполнителя вегетационные опыты называют почвенными, песчаными, водными или водно-гравийными культурами. Вегетационные опыты могут проводиться в вегетационных домиках без отопления, в теплицах и оран-

жереях с обогревом, а также в климатических камерах и фитотронах, где можно регулировать все факторы жизни растений.

**Вегетационный опыт с удобрениями** – опыт с удобрениями, проводимый в искусственных условиях в сосудах, с целью изучения питания растений и обмена веществ в них.

**Вегетационный период** – 1) время от посева до фазы полной спелости растений; 2) характерное для каждого вида растения время роста от появления всходов или пробуждения зимующих почек до образования семян или прекращения роста вегетативных органов.

**Вектор** – изображаемая отрезком прямой математическая величина, характеризующаяся численным значением и направлением.

**Вектор скорости** - значения скорости перемещения спутникового приемника по каждой координатной оси.

**Величина** – 1) количественное выражение признака; 2) размер, объем, протяженность предмета.

**Вермикулит** – слюдястый гнейс, служит основой для производства так называемых вспученных материалов. См. перлит.

**Вероятность** – мера объективной возможности события, выраженная отношением числа благоприятных случаев к общему числу всех возможных случаев.

**Вероятность доверительная** – уровень, или порог вероятности, который считается достаточным для суждения о достоверности статистических показателей, получаемых на основании выборочных данных.

**Вес** (в статистике) – абсолютная или относительная частота встречаемости отдельных вариантов, или членов, в данной совокупности.

**Взаимодействие** – взаимная связь явлений.

**Взвешенная средняя арифметическая** – средняя, рассчитанная для значений признака с неодинаковыми весами. Чтобы рассчитать взвешенную среднюю арифметическую, необходимо каждое значение признака помножить на его вес, все эти произведения сложить и полученную сумму разделить на сумму весов.

**Вид минерального удобрения** – категория минерального удобрения, выделяемая по действующему веществу.

**Виды движения агрегата на поле** – по подготовке территории: загонный, беззагонный; по направлению рабочих ходов: гоновый, диагональный, круговой; по направлению движения агрегата: правоповоротный, левоповоротный, к центру, к периферии.

**Влажность минерального удобрения** – содержание влаги, химически не связанной и не хемисорбированной в минеральном удобрении.

**Влажность растений** – доля воды в фитомассе.

**Вода природная** – вода естественных или искусственных водоемов.

**Водная вытяжка из почвы** – вытяжка, полученная в результате взаимодействия воды с почвой.

**Возбужденное состояние атома** (молекулы) – состояние, характеризующееся наличием отличающейся от основного состояния электронной структуры и, как правило, высокой реакционной способностью.

**Возврат элементов питания в почву** – количество элементов питания, возмещаемых внесением удобрений, пожнивными и корневыми остатками.

**Воздействие острое** – быстрое (в течение 24–96 ч) воздействие агента на организм.

**Воздушно-сухие семена** – семена, влажность которых устанавливается при естественной воздушной сушке.

**Воздушно-тепловая обработка семян** – обогрев семян на солнце, на установках активного вентилирования теплым или подогретым воздухом или в сушилках для повышения энергии прорастания, всхожести и их урожайности.

**Воображение** – соединение и преобразование различных представлений в целую картину новых образов.

**Восприятие** – 1) отражения мозгом человека предметов или явлений в целом, причем таких, которые действуют на органы чувств в данный момент времени; 2) первичный чувственный образ предмета или явления.

**Воспроизводимость метода** – показатель степени близости результатов параллельных определений измеряемой величины. Характеризуется величиной случайной погрешности.

**Вредный организм для растений** – организм, снижающий урожай растений или его качество; к вредным организмам относятся сорняки, микроорганизмы и животные, наносящие вред посевам (посадкам) культурных растений.

**Вредоносность вредного организма** – отрицательное воздействие вредного организма на растения или посев.

**Время ожидания** – период между применением пестицида и уборкой урожая или использованием культуры, в течение которого содержание остатков пестицида уменьшается до безопасного уровня.

**Вспомогательная величина Z** – величина, используемая для сравнения средних.

**Вспомогательная величина E** – величина, используемая при вычислении необходимого объема выборки для доказательства разницы между средними.

**Всходы** – появление первичных настоящих листьев над поверхностью почвы.

**Всхожесть семян** – показатель, характеризующий число нормально проросших семян в исследуемом образце при стандартных условиях, выраженный в процентах.

**Выборка** – 1) ограниченное количество растений, наблюдений, взятых из генеральной совокупности и характеризующих массу – совокупность; 2) совокупность чисел, имеющих одинаковый смысл независимо от того, как они были получены (совершенно необязательно в статистическом смысле «выборки»).

**Выборочное наблюдение** – вид наблюдения, результаты которого дают возможность судить о всей совокупности единиц при обследовании только части ее.

**Выборочный метод** – вид наблюдения, результаты которого дают возможность судить о всей совокупности единиц при обследовании только части ее. Совокупность, из которой отбирают единицы для выборочного наблюдения, называют генеральной, а часть, подвергающуюся наблюдению, – выборочной.

**Выемка семян** – небольшое количество семян, отобранных от партии или ее части (контрольной единицы) за один прием для составления исходного образца.

**Выключка** – 1) часть учетной делянки, исключаемая из учета вследствие случайных повреждений или ошибок; исключаемая часть опыта; 2) не характерная и не отвечающая техническим данным.

**Вымывание (выщелачивание)** – потеря водорастворимого вещества клеткой, тканями и органами с более высокой концентрацией вещества в наружную среду вследствие проницаемости протоплазмы.

**Вынос элементов питания из почвы** – количество элементов питания, отчуждаемое из почвы урожаем основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур с единицы площади.

**Выполненность семян** – степень налива созревших семян в сравнении с размерами, характерными для данного сорта, линии или гибрида.

**Высокодисперсное опрыскивание агрохимикатами** – опрыскивание растений агрохимикатом путем разбрызгивания капель размером от 25 до 50 мкм.

**Выход семян** – количество полноценных семян в процентах от исходной партии, отвечающих всем требованиям государственного стандарта на семена.

**Выщелачивание** – вымывание из почвы, фильтрующейся водой различных веществ.

## Г

**Галофиты** – растения засоленных местообитаний.

**Галька** – мелкий гладкий камень округлой формы.

**Ганнирование** – процесс сглаживания, который можно описать по-разному: как результат 1) двух повторений процедуры скользящего среднего из двух значений; 2) вычисления среднего арифметического из каждого данного значения и его скачущего среднего; 3) применения скользящего среднего с весами 1/4, 1/2, 1/4.

**Гарантированные экстремальные значения случайной величины** – минимальное и максимальное значения случайной величины, возможные при принятой вероятности.

**Гарантированные экстремальные значения среднего** – минимальное и максимальное значения среднего, возможные при принятой вероятности.

**Гауссовская форма распределения** – все распределения, получаемые из выражения  $(1/\sqrt{2\pi})e^{-x^2/2} dx$  с помощью линейного изменения масштаба и положения.

**Гауссовское стандартное распределение** – гауссовская форма распределения, рассматриваемая как объект, относительно которого мы оцениваем отклонения (почти всегда ненулевые) встречающихся в действительности распределений.

**Гектар** – единица земельной площади, равная 1000 м<sup>2</sup>.

**Генеральное среднее (среднее генеральной совокупности, математическое ожидание)** – среднее арифметическое генеральной совокупности.

**Географическая сеть опытов с удобрениями** – сеть полевых опытов с удобрениями, проводимых в различных географических зонах страны по согласованной программе.

**Географические опыты** – опыты, которые проводятся одновременно в пределах почвенной зоны, республики или всего государства в целом по одинаковой схеме, единой программе и методике при тесном согласовании с единым руководящим центром.

**Геохимия** – наука об истории атомов химических элементов в развитии планеты, а также о современном химическом составе горных пород и путях миграции химических элементов на Земле.

**Гербицид** – химическое вещество для уничтожения нежелательной травянистой растительности.

**Гербицид избирательного действия** – гербицид, уничтожающий одни виды травянистой растительности и практически не влияющий отрицательно на другие, в том числе культурные растения.

**Гербицид общего действия** – гербицид, уничтожающий всю травянистую растительность на обрабатываемой площади.

**Гербология** – часть агробиологии, изучающая сорняки и методы борьбы с ними.

**Гетеротрофные организмы** – организмы, не способные образовывать органические вещества из CO<sub>2</sub>, воды и солей и питающиеся готовыми соединениями.

**Гигроскопичность минерального удобрения** – свойство минерального удобрения поглощать влагу с определенной интенсивностью из окружающей среды при определенной температуре и влажности.

**Гигроскопичность семян** – способность семян поглощать из окружающей атмосферы пары воды или испарять ее.

**Гидролиз** – 1) разложение веществ, происходящее с присоединением молекулы воды; 2) реакция обменного разложения соединений с водой.

**Гидролитическая кислотность почвы** – кислотность почвы, проявляющаяся при ее обработке раствором гидролитически щелочной соли.

**Гидроморфные почвы** – группа почв, формирование которых происходит в условиях некоторого избыточного по сравнению с автоморфными почвами атмосферного или грунтового увлажнения.

**Гидропоника** – выращивание растений без почвы, методом водных или гравийных культур.

**Гидрофиты** – наземно-водные растения, нижняя часть которых погружена в воду; заселяют прибрежные участки водоемов.

**Гипербола** – в математике: состоящая из двух ветвей незамкнутая кривая, образующаяся при пересечении конической поверхности плоскостью.

**Гипотеза** – 1) научное предположение относительно новых явлений, процессов, закономерностей; 2) предположение о причине, которая вызывает данное следствие. Если гипотеза согласуется с наблюдаемыми фактами, то в науке ее называют теорией или законом.

**Гипотетический** – основанный на гипотезе, предположительный.

**Гипсование почвы** – химическая мелиорация солонцовых почв путем применения гипса.

**ГИС-технологии** – агротехнологии, применяющиеся в системах точного земледелия на базе геоинформационных систем, которые могут работать в автономном режиме навигации (с кодовым навигационным приемником GPS) и дифференциальном режиме (DGPS) по радиомаяку или локальной базовой станции.

**Гистограмма** – изображение интервального вариационного ряда в виде столбиковой диаграммы, в которой высоты прямоугольников соответствуют частотам интервалов, или классов, ряда.

**Главный первичный или зародышевый корень** – корень, развивающийся из зародышевого корешка в процессе прорастания семени.

**Глинистые минералы** – группа минералов подкласса слоистых силикатов, представленная тонкодисперсными частицами.

**Глобальная система позиционирования** – спутниковая система, предназначенная для позиционирования.

**Глобальный** – полный, всеобъемлющий.

**Глубина** – 1) протяженность, расстояние от поверхности до дна или до какой-нибудь точки по направлению вниз; 2) сила, степень проявления чего-нибудь, основательность; 3) меньший из двух рангов (при ранжировании вверх и вниз).

**Гомеостаз** – состояние внутреннего динамического равновесия природной системы, поддерживаемое регулярным возобновлением основных ее структур, вещественно-энергетического состава и постоянной функциональной саморегуляцией во всех ее звеньях.

**Гомогенный** – однородный по своему составу или происхождению.

**Градации** – подразделения факторов в дисперсионных комплексах.

**Грамм** – единица массы в десятичной системе мер, одна тысячная доля килограмма.

**Гран** – единица массы, равная 0,062 г.

**Гранулированное минеральное удобрение** – минеральное удобрение, полученное методами приллирования, прессования или структурного гранулирования и состоящее, в основном, из частиц размером от 1 до 6 мм.

**Гранулированные семена** – семена, которым наращиванием смесей питательных веществ придана форма гранул.

**Гранулированный препарат** – не пылящий твердый (сухой) препарат с размером гранул от 0,5 до 5 мм.

**Гранулометрический (фракционный) состав минерального удобрения** – состав минерального удобрения по размерам (фракциям) частиц в процентном отношении.

**Грубые ошибки** – это просчеты, промахи в работе.

**Группа** – определенное подразделение внутри какого-нибудь разряда, множества.

**Группировать** – объединять в группы; классифицировать.

**Группировка** – 1) расчленение множества наблюдаемых единиц статистической совокупности на однородные группы по определенным, существенным для них признакам; 2) технический глубоко осмысленный прием, направленный на получение правдивой и полной информации об изучаемом объекте. Наиболее приемлемой формой группировки являются статистические таблицы, в которых приводятся общие итоги – в виде сумм при усредненных показателях, или в процентах от численности вариант в группах и во всей группировке в целом, а также графики.

**Гряда** – полоса вскопанной земли на плантации, цветнике, в поле.

**Гумификация** – превращение растительных и животных остатков и микроорганизмов, а также продуктов их жизнедеятельности в почве в гумусовые вещества.

**Гумус** – совокупность всех органических соединений, находящихся в почве, но не входящих в состав живых организмов или образований, сохраняющих анатомическое строение.

**Густота стояния растений** – число растений на единице площади.

## Д

**Девеgetация почв** – потеря почвами лесного, кустарникового, травянистого растительного покрова, ведущая к постепенному омертвлению почв, снижению биопродуктивности и утрате экологических функций.

**Девита** (девиата) – дисперсия, приходящаяся на один элемент свободного разнообразия или на одну степень свободы.

**Деграdация (деструкция, разложение)** – образование в сравнении с исходным соединением более простых по структуре продуктов превращения.

**Деграdация почв** – ухудшение свойств и плодородия почвы в результате воздействия природных или антропогенных факторов.

**Дегумификация почв** – потери почвами гумуса.

**Дедуктивное умозаключение** – выведения частного случая из какого-нибудь общего положения.

**Дедукция** – 1) умозаключение, в котором вывод о некотором элементе множества делается на основании знания общих свойств всего множества; 2) метод, с помощью которого рассуждения ведутся от общих положений к выводам.

**Дезертификация** – опустынивание земель.

**Дезинфекция семян** – обеззараживание семян от внешней инфекции.

**Действие сублетальное** – эффект, вызываемый токсикантом в дозах, обеспечивающих почти полную гибель тест-организмов.

**Действующее вещество гербицида** – химическое вещество, входящее в состав препарата и оказывающее прямое действие на растения.

**Действующее вещество удобрения** – основной питательный элемент, содержащийся в удобрении.

**Декада** – промежуток времени в десять дней, третья часть месяца.

**Делянка** – часть опытной площади, имеющая определенные размеры и форму и предназначенная для отдельного варианта опыта.

**Делянка неучетная** – делянка, на которой не учитывается урожай.

**Делянка опытная** – элементарная единица опыта, часть площади опыта, имеющая определенные размер и форму и предназначенная для размещения отдельного варианта.

**Делянка учетная** – часть площади опытной делянки, предназначенная для учета урожая (без боковых и поперечных защиток).

**Демонстрационные (показательные) опыты** – опыты, проводимые для пропаганды достижений науки и передового опыта.

**Денитрификация** – восстановление нитратов биологическим или химическим путем до молекулярного азота или его окислов.

**Десикант** – химическое вещество для предуборочного высушивания растений.

**Десукция** – иссушение корнеобитаемого слоя почвы растительностью.

**Детергент (поверхностно-активное вещество, ПАВ)** – соединение, снижающее поверхностное натяжение воды (водных растворов).

**Детоксикация** – образование из исходного соединения менее токсичных или нетоксичных продуктов превращения.

**Детоксификация** – действие, направленное на обезвреживание пестицидов.

**Детрит** – разложившиеся, гумифицированные органические остатки, практически утратившие исходное строение, но не превратившиеся полностью в гуминовые вещества.

**Детритогенез** – процессы накопления в ландшафтах неразложившихся и полуразложившихся остатков растений и животных.

**Дефолиант** – химическое вещество для предуборочного удаления листьев растений.

**Дефолиация** – сбрасывание листьев растениями, вызываемое действием химических веществ, либо происходящее естественным путем.

**Децили** – девять значений признака делящие ранжированный вариационный ряд на десять равных частей.

**Дециметр** – единица измерения, равная одной десятой части метра.

**Диагностика питания растений** – определение степени обеспеченности растений элементами питания.

**Диагональ** – отрезок прямой линии, соединяющий две вершины многоугольника, не лежащие на одной стороне, или две вершины многогранника, не лежащие на одной грани.

**Диаграмма** – 1) графическое изображение соотношения каких-нибудь величин; 2) чертеж, который в виде линии, площадей или других геометрических фигур изображает результаты исследования; 3) графическое изображение зависимости содержания какого-либо химического элемента в насыщенном растворе от условий, влияющих на растворимость соединений этого элемента.

**Диаметр** – отрезок прямой линии, соединяющий две точки окружности и проходящий через ее центр, а также длина этого отрезка.

**Диапазон** – область, в пределах которой осуществляются какие-нибудь измерения.

**Дилемма** – сочетание суждений, умозаключений с двумя противоположными положениями, исключающими возможность третьего.

**Динамика** – ход развития, изменения какого-нибудь явления.

**Динамика содержания микроэлемента в почве** – изменение во времени количества микроэлемента в почве.

**Динамика содержания элемента питания** – изменение содержания элемента питания питательной среде со временем.

**Динамическая прочность гранул минерального удобрения** – прочность гранул минерального удобрения, определяемая степенью его разрушения при ударе о твердую поверхность с определенной силой.

**Дискретный** – отдельный, состоящий из отдельных частиц. Дискретным можно называть множество, любая точка которого содержит информацию обо всем множестве.

**Дискриптивный (описательный)** – множество переменных, не имеющих внутреннего порядка. Например, переменная «доминирующая порода в лесном пологом» по определению является дискриптивной, так как априори виды деревьев нельзя упорядочить по количественной шкале.

**Дисперсионный анализ** – расчленение общей суммы квадратов отклонений и общего числа степеней свободы на части или компоненты, соответствующие структуре эксперимента, и оценка значимости действия и взаимодействия изучаемых факторов по *F*-критерию.

**Дисперсия** (рассеяние, варианса, девиата, средний квадрат) – 1) показатель изменчивости признака; 2) средний квадрат отклонений вариант от их средней величины в данной совокупности.

**Диссимиляция (катаболизм)** – распад сложных органических веществ в организме, сопровождающийся освобождением энергии, используемой в процессах жизнедеятельности (одна из сторон метаболизма).

**Длительно действующее удобрение** – удобрение, постепенно отдающее элементы питания в течение одного или нескольких вегетационных периодов.

**Длительность действия гербицида** – интервал времени после применения гербицида, в течение которого он сохраняет свою активность по отношению к сорнякам.

**Длительный опыт с удобрениями** – стационарный опыт с удобрениями, проводимый более одной ротации севооборота.

**Доверительный интервал** – интервал, который с заданной вероятностью покрывает оцениваемый параметр. Центр интервала – выборочная оценка точки. Пределы, или доверительные границы, определяются средней ошибкой оценки и уровнем вероятности.

**Доверительный интервал случайной величины** – интервал, в котором может находиться величина при принятой вероятности.

**Доверительный интервал среднего** – интервал, в котором находится генеральное среднее при принятой вероятности.

**Доверительный уровень вероятности** (уровень доверительной вероятности) – значение вероятности, избранное для решения конкретной задачи.

**Довсходовое применение удобрения** – применение удобрения после посева до появления всходов сельскохозяйственной культуры.

**Дождестойкость удобрения** – скорость абсорбции удобрения растениями при некорневой подкормке (время проникновения элемента питания в растение) до вероятного смыва дождем.

**Доза гербицида эффективная** – доза гербицида в массовых или объемных единицах, эффективно снижающая рост и развитие растений (урожай) до определенного уровня  $X\%$ :  $ED_{20}$  – на 20 %,  $ED_{50}$  – на 50 %,  $ED_{80}$  – на 80 % и т. д.

**Доза предельно допустимая, ПДД** – максимальное количество поллютанта, которое при контакте за определенный промежуток времени не оказывает отрицательного влияния на организм или экосистему.

**Доза регулятора роста** – количество препарата в единицах массы на единицу поверхности, объема или массы обрабатываемого объекта.

**Доза средняя летальная,  $LD_{50}$  или смертельная,  $SD_{50}$**  – доза химиката или агента, вызывающая после определенной экспозиции 50 % гибели тест-организмов.

**Доза сублетальная** – почти летальная, близкая к смертельной доза.

**Доза суточная допустимая, ДСД** – максимальное количество вещества в пище, кормах и воде, которое считается безопасным при потреблении в течение 24 ч.

**Доза удобрения** – количество удобрения, вносимого под сельскохозяйственную культуру за один прием.

**Доза условная, условная нагрузка удобрения** – общая масса удобрений, ежегодно используемых в данном районе в расчете на 1 га пашни и многолетних насаждений или на 1 га общей земельной территории района.

**Дозирование удобрений** – установление количества удобрения из расчета на единицу обрабатываемой поверхности, объема или массы объекта.

**Доказательство** – система умозаключений, путем которых выводится новое положение.

**Доля признака** – 1) вероятность появления данного признака в изучаемой совокупности; 2) отношение объектов с данным признаком к общему числу объектов. Выражается в частях единицы или в процентах; сумма всех долей в пределах совокупности равна 1 (если  $p$  выражается в долях единицы) или 100 % (если  $p$  выражается в %).

**Доминирующие, или злостные засорители посевов** – наиболее вредоносные и трудно искореняемые сорные растения.

**Допосевное применение удобрений** – применение удобрений перед посевом или посадкой сельскохозяйственной культуры.

**Достоверность** – то, что не вызывает сомнений. Уверенность, с которой судят о генеральных параметрах на основании выборочных показателей. Выражается в понятиях вероятности.

**Достоверность опыта** – 1) правильно спланированные и реализованные схема и методика проведения опыта, соответствие их поставленным перед исследованием задачам, правильный выбор объекта, условий проведения опыта и метода статистической обработки данных; 2) соответствие методики исследований и условий опыта поставленным задачам.

**Доступные формы элементов питания** – элементы питания почвы, которые могут быть использованы растениями.

**Дробное внесение минерального удобрения** – внесение минерального удобрения несколькими дробными дозами в течение вегетационного периода.

**Дыхательный коэффициент** – отношение объема углекислого газа, выделяемого при дыхании, к объему поглощенного при этом кислорода.

## Е

**Единица совокупности** – отдельные объекты, явления, образующие статистическую совокупность.

**Единичные опыты** – опыты, которые проводятся в отдельных пунктах, в научных учреждениях или же в производстве, но по разным программам и методикам, независимо один от другого.

**Емкость анионного обмена** – общее количество анионов, способных к эквивалентному обмену с анионами взаимодействующего с почвой раствора.

**Емкость обмена почвы** – общее количество ионов, удерживаемое почвой и способное к замещению на другие ионы.

**Емкость поглощения катионов почвой** (емкость обмена катионов почвой) – максимальное количество обменных катионов, которое может быть поглощено почвой.

## Ж

**Жидкий навоз** – бесподстилочный навоз, содержащий от 3 до 8 % сухого вещества.

**Жидкое минеральное удобрение** – минеральное удобрение в виде раствора или суспензии питательных элементов в соответствующем растворителе.

**Жизнеспособность семян** – содержание в исследуемом образце (партии) живых семян, выраженное в процентах.

**Жребий** – решение вопроса очередности путем вынимания наугад условного предмета из числа других подобных.

## З

**Загнившие семена** – семена с разложившимся эндоспермом или семядолями, при надавливании распадающиеся.

**Загрязнение** – присутствие в экосистеме физических, химических или биологических агентов на уровне, вызывающем негативные последствия для биоты.

**Закон** – внутренняя существенная связь явлений, обуславливающая их необходимое закономерное развитие. Закон выражает определенную устойчивую связь между явлениями или свойствами материальных объектов.

**Закон достаточного основания** – суждения, относительно истинности которых могут быть приведены достаточные основания.

**Закон исключения третьего** – в процессе рассуждения необходимо доводить дело до определенного утверждения или отрицания, в этом случае истинным оказывается одно из двух отрицающих друг друга суждений. Этот закон имеет силу лишь при условии соблюдения законов тождества и противоречия.

**Закон противоречия** – в процессе рассуждения о каком-либо определенном предмете нельзя одновременно утверждать и отрицать что-либо в одном и том же отношении, в противном случае оба суждения не могут быть вместе истинными.

**Закон сохранения энергии** – закон, согласно которому одна из важнейших величин – энергия сохраняется в изолированной системе постоянной; в термодинамике это первое начало термодинамики.

**Закон тождества** – объем и содержание мысли о каком-либо предмете должны быть строго определены и оставаться постоянными в процессе рассуждения о нем.

**Запаренные семена** – семена, потерявшие всхожесть в результате пребывания в условиях повышенной температуры и влажности при неправильной сушке или термическом протравливании.

**Запас семян сорняков в почве** – количество семян сорняков в почве на единицу площади посева.

**Заплесневевшие семена** – семена, поверхность которых покрыта плесенью.

**Зародышевые корешки** – корешки зародышей, образующиеся в период формирования семян и развивающиеся при их прорастании.

**Зародыши семян** – части семян, содержащие зачатки новых растений.

**Засоление почв** – процесс накопления в почвах аридных и полуаридных областей легкорастворимых солей.

**Засоренность посева** – количество сорняков или их масса на единицу площади посева.

**Засоренность почвы** – количество семян сорняков и их органов вегетативного размножения в почве на единицу площади или объема.

**Засухоустойчивость** – устойчивость сортов к недостатку влаги.

**Зачаточные листья** – листочки зачаточного побега почечки.

**Защита растений** – раздел прикладной биологии, разрабатывающий теоретические основы и практические методы предотвращения и снижения потерь урожая сельскохозяйственных культур от вредных организмов.

**Звено** – составная часть какого-нибудь целого.

**Зеленое удобрение** – органическое удобрение, получаемое путем выращивания зеленой массы растений и последующего их запахивания.

**Зерновка** – односеменной плод, околоплодник которого плотно срастается с семенной кожурой.

**Зимостойкость** – комплексное свойство, зависящее от способности организма противостоять различным факторам, вызывающим гибель растений в зимне-весенний период: вымерзанию, выпреванию, вымоканию, выпиранию, ледяной корке, зимней засухе.

**Знание** – идеальное воспроизведение в языковой форме обобщенных представлений о закономерных связях объективного мира.

**Значимость (существенность)** – мера объективной возможности (риск) сделать ошибочное заключение при оценке результатов опыта. При оценке ре-

зультатов полевого опыта принято опираться на 5 %-ный уровень значимости, при котором риск сделать ошибочное заключение составляет 5 %. При более строгой оценке принимают 1 %-ный уровень значимости.

**Зябь** – поле, вспаханное с осени для посева яровых.

## И

**γ-Излучение** – коротковолновое электромагнитное излучение, возникающее в результате спонтанного радиационного перехода ядра из начального состояния в конечное.

**Идеализация** – мысленное конструирование объектов, которые практически неосуществимы.

**Идеальное решение** – наиболее сильное из всех мыслимых решений данной задачи.

**Известкование почвы** – химическая мелиорация кислых почв путем применения известковых удобрений.

**Известковое удобрение** – удобрение, применяемое для устранения избыточной кислотности почв.

**Изменчивость** – вариация индивидуальных значений признака  $X$  около его среднего значения. Основной мерой изменчивости являются дисперсия и стандартное отклонение.

**Измерение** – физический процесс определения численного значения некоторой величины путём сравнения ее с эталоном.

**Илистая фракция почв** – совокупность почвенных частиц размером  $<0,001$  мм по шкале гранулометрических элементов Н.А. Качинского, принятой в нашей стране, и  $<0,002$  мм по шкале Аттерберга, принятой в большинстве зарубежных стран.

**Иммобилизация** – обратимая или необратимая утрата подвижности соединения вследствие его сорбции или конъюгации компонентами клеток и тканей организма.

**Иммобилизация элементов питания в почве** – переход элементов питания почвы и удобрений в недоступную для питания растений форму.

**Инактивация** – потеря соединением активности вследствие детоксикации, иммобилизации или деструкции.

**Инверсия** – 1) изменение нормального положения компонентов, расположение их в обратном порядке; 2) метод изучения объекта, явления под некоторым углом или со стороны, противоположной той, с которой его рассматривали раньше. Это нарушение обычного порядка рассмотрения объектов или явлений, соединение несовместимого, разделение неразделимого. Главное в методе инверсии – это отказ от общепринятых взглядов и приемов в исследованиях.

**Ингибитор** – вещество, замедляющее протекание химических реакций или тормозящее биологические процессы (биохимические реакции).

**Ингибиторы нитрификации** – вещества, подавляющие нитрификацию аммонийного и амидного азота почвы и удобрений.

**Индекс** – относительная величина, которая характеризует изменение во времени, состояние в пространстве уровня изучаемого явления или степень выполнения плана.

**Индикаторный биологический объект (тест-организм)** – живые организмы (грибы, бактерии, актиномицеты, водоросли, высшие растения, животные), отличающиеся различной чувствительностью (реакцией) к разным группам гербицидов.

**Индикаторный организм** – организм или сообщество организмов, используемые для характеристики качества окружающей среды.

**Индуктивное умозаключение** – выведение общего положения на основании частных случаев.

**Индукция** – 1) способ рассуждения от частных фактов, положений к общим выводам; 2) умозаключение от фактов к некоторой гипотезе, т. е. к общему утверждению; 3) метод, с помощью которого рассуждения ведутся от фактов к конкретным выводам.

**Инкубация семян** – выдерживание семян в оптимальных условиях в течение установленного ГОСТом срока для выявления симптомов болезни или наличия патогенного гриба.

**Инсоляция** – солнечное излучение, достигающее земной поверхности.

**Инструмент** – орудие человеческого труда или исполнительный механизм машины.

**Интегрированная защита посевов** – методологический подход безопасного, эффективного и экономически оправданного совместного использования всех доступных приемов для подавления доминирующих засорителей, вредителей и болезней культурных растений.

**Интегрированная система обработки данных (ИСОД)** – такая система, информация в которой перерабатывается по единой схеме на основе единых для различных задач исходных и нормативно-справочных материалов. Все процессы обработки данных рассматриваются как взаимообусловленные элементы непрерывного процесса управления. ИСОД позволяет ликвидировать автономные, дублирующие друг друга системы сбора и переработки данных, обеспечивает оперативность и четкость обработки информации.

**Интенсивность биологического круговорота** – величина, отражающая скорость накопления химических элементов в фитоценозе.

**Интенсивность выпаса** – степень эксплуатации пастбища; определяется нагрузкой, числом и полнотой стравливания.

**Интервал** – промежуток между двумя числовыми значениями признака в вариационном ряду.

**Интеркалибрация метода анализа** – проверка аналитического метода несколькими независимыми лабораториями на основе одних и тех же контрольных проб и образцов, содержащих ксенобиотик.

**Интерполяция** – нахождение промежуточных значений переменной величины по некоторым известным ее значениям.

**Инфильтрация** – абсорбция и фильтрация воды сплошным фронтом при движении ее с поверхности в толщу почвы или грунта.

**Инфлюкция** – просачивание воды в почву преимущественно по трещинам и крупным порам.

**Информационная сеть** – это объединение информационных систем, взаимодействующих посредством каналов связи на основе разделения функций, координации, стандартизации, однократной обработки и многократного использования информации.

**Исключение переменных** – переход от системы уравнений, содержащей несколько переменных, к равносильной системе, содержащей меньшее число переменных.

**Исследовать** – подвергнуть научному изучению.

**Истираемость гранул минерального удобрения** – прочность гранул минерального удобрения, определяемая степенью их разрушения под воздействием сил трения.

## К

**Калийное удобрение** – удобрение, содержащее калий в усвояемой растениями форме.

**Калория** – внесистемная единица количества теплоты, равная 4,2 Дж.

**Кальциевое удобрение** – удобрение, в котором действующим веществом является кальций.

**Кальциефилы** – растения, предпочитающие известковые почвы.

**Кальциефобы** – растения, избегающие почв с высоким рН.

**Кариологический метод отличия семян** – определение подлинности семян по числу и морфологическим особенностям хромосом и проростков.

**Качественная (атрибутивная) изменчивость** – 1) изменчивость качественных признаков, не поддающихся точному измерению.

**Качественные признаки** – 1) признаки, которые учитываются по их наличию у отдельных единиц совокупности; 2) признаки, неподдающиеся непосредственному измерению.

**Качество** – совокупность существенных признаков, свойств, особенностей, отличающих предмет или явление от других и придающих ему определенность.

**Квадратное уравнение** – алгебраическое уравнение второй степени.

**Квазилинейная система** – система, в которой нелинейности столь незначительны, что она может рассматриваться при определенных условиях как линейная.

**Квартили** – три значения признака, делящие ранжированный вариационный ряд на четыре равные части.

**Керамзит** – вспученный пористый материал, изготавливаемый ускоренным обжигом легкоплавких глинистых пород в виде округлых кагашей различного диаметра (гравий, щебень, песок). Используется для постановки гравийных культур.

**Килограмм** – основная единица массы в Международной системе единиц, равная 1000 г.

**Километр** – мера длины, равная 1000 метров.

**Кинетика элемента** – скорость перехода элемента из твердой фазы почвы в почвенный раствор и обратного перехода.

**Кислотная вытяжка из почвы** – вытяжка, полученная в результате взаимодействия раствора минеральной или органической кислоты с почвой.

**Кислотность почвы** – свойство почвы, обусловленное наличием водородных ионов в почвенном растворе и обменных ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе.

**Кислотные дожди** – атмосферные осадки, имеющие значение  $pH < 5$ .

**Кларк** – среднее содержание химического элемента в геохимической или космохимической среде.

**Класс** – относительно целостное множество каких-нибудь единиц, существующее в составе сложного единства, расчлняемого на такие множества.

**Классификация** – процедура выделения типов явлений и их состояний.

**Кластерный анализ** – методы, позволяющие выделить относительно дискретные компактные подмножества из континуума.

**Климат** – многолетний режим погоды какой-нибудь местности, одна из ее основных географических характеристик.

**Клон** – 1) потомство одного вегетативно размножаемого растения; 2) культура, возникшая из одной клетки.

**Ковариационный анализ** – одновременный анализ сумм квадратов и сумм произведений отклонений двух или более переменных от их средних.

**Коварияция** – 1) в математике – среднее произведение отклонений двух переменных от их средних; 2) совокупность трех статистических показателей:

средних арифметических  $x$  и  $y$ , сумм квадратов отклонений  $\sum(X - \bar{x})^2$  и  $\sum(Y - \bar{y})^2$  и суммы произведений отклонений  $\sum(X - \bar{x})(Y - \bar{y})$ .

**Колеоптиле** – видоизмененный – первый лист у проростка злаков, имеющий вид заостренного прозрачного колпачка, внутри которого заключен последующий настоящий лист.

**Колеоптильный корень** – корень узла колеоптиле.

**Количественная изменчивость** – изменчивость количественного признака.

**Количественные признаки** – признаки, которые учитывают путем подсчета (счетные) или измерения (мерные).

**Количество** – 1) степень выраженности измеряемых свойств предметов, явлений, их мерные характеристики; 2) значение, которое не может быть меньше нуля и не является подсчетом.

**Коллоиды** – частицы размером до 1 мкм, остающиеся во взвешенном состоянии в жидкостях.

**Коллоиды почвы** – совокупность почвенных частиц с размером меньше 0,0001-0,0002 мм.

**Комбинация** – сочетание, взаимное расположение чего-нибудь.

**Кометаболизм (соокисление)** – метаболизм соединения, осуществляемый микроорганизмами только в присутствии других субстратов (косубстратов).

**Компенсационная точка** – сочетание внешних условий, при которых процессы фотосинтеза и дыхания уравниваются друг друга.

**Комплекс почвенный поглощающий** – совокупность абсорбирующих минеральных, органических и органо-минеральных частиц твердой фазы почвы, преимущественно < 1 мкм.

**Комплексное минеральное удобрение** – минеральное удобрение, содержащее не менее двух питательных элементов.

**Компост** – органическое удобрение, полученное в результате разложения смеси органических отходов растительного или животного происхождения.

**Кондиционирование минерального удобрения** – совокупность технологических процессов, позволяющих улучшать физические свойства минерального удобрения.

**Кондиционные семена** – семена посевные, качества которых соответствуют государственным стандартам.

**Конечный подсчет всхожести семян** – подсчет числа нормально и ненормально проросших семян, а также, твердых, набухших, больных и других не проросших семян при завершении анализа.

**Конкретизация** – метод исследования, с помощью которого от абстрактного переходят к конкретному.

**Конкурентоспособность сельскохозяйственных культур в отношении сорняков** – способность культуры к росту и нормальному развитию при конкуренции за свет, влагу и тепло с доминирующими или злостными видами сорняков.

**Константные формы** – устойчивые, не расщепляющиеся в дальнейших поколениях формы гибридов.

**Конституционные вещества** – вещества, из которых состоят протопласты и оболочки живых клеток;

**Контактный гербицид** – гербицид, действующий токсически на ткани растений непосредственно в месте контакта рабочего раствора с растением; при этом поврежденная контактным гербицидом ткань имеет обычно вид неспецифического ожога.

**Континуум** – 1) в математике непрерывная совокупность, например, совокупность всех точек отрезка на прямой или всех точек прямой, эквивалентная совокупности всех действительных чисел; 2) для природы непрерывность растительного

покрова, проявляющаяся в постепенном переходе от одного растительного сообщества к другому при соседстве и при смене одного сообщества другим во времени.

**Контроль** – 1) один или несколько вариантов, с которыми производят сравнения остальных вариантов; 2) условия агротехники или технологии, которые приняты в хозяйстве и являются лучшими на период проведения опыта. Это один из вариантов опыта, с которым сравнивают все остальные.

**Контрольная единица семян** – предельное (максимальное) по массе количество семян, от которого может быть отобран один образец для определения их качества.

**Контрольный образец семян** – образец семян, отобранный учреждением семенного контроля из партии, ранее проверенной на посевные качества с целью установления достоверности данных указанных в имеющихся на эту партию документах о ее качестве.

**Концентрация критическая** – максимальная концентрация химиката (агента) в воде или почве, не оказывающая отрицательного воздействия на тест-организм.

**Концентрация предельно допустимая (ПДК)** – концентрация химиката или уровень агента в среде, превышение которого делает какой-либо компонент среды непригодным для использования.

**Концентрация фоновая** – концентрация вещества (уровень агента) в регионе при отсутствии импактных (узколокальных антропогенного или природного происхождения) источников поллютанта.

**Концепция** – 1) определенный способ понимания трактовки каких-либо явлений; 2) основная точка зрения, руководящая идея для их освещения; 3) ведущий замысел, конструктивный принцип различных видов деятельности; 4) общий замысел; 5) система взглядов на те или иные явления; 6) способ рассмотрения проблемы; 7) способ понимания чего-либо.

**Конъюгат** – соединение, образованное ксенобиотиком и природным веществом.

**Координационное число** – количество анионов, способных окружить один катион в определенной кристаллической структуре.

**Корневая система** – вся совокупность корней растения.

**Корреляционная зависимость** – взаимосвязь, при которой среднее значение результативного показателя находится в зависимости от значения другого или других показателей-факторов.

**Корреляционное отношение** – статистический показатель, используемый для определения степени и характера связей тех величин, которые находятся в криволинейной зависимости.

**Корреляционный анализ** – статистический метод определения тесноты и формы связи между признаками.

**Корреляция** – 1) взаимосвязь двух случайных переменных. Измеряется коэффициентом, числовое значение которого может изменяться от 0 до +1 (прямая связь) и от 0 до -1 (обратная); 2) взаимосвязь между признаками, заключающаяся в том, что средняя величина значений одного признака меняется в зависимости от изменения другого признака.

**Косвенные признаки оценки** – биохимические и технологические показатели, коррелятивно связанные с основным изучаемым свойством.

**Коэффициент азотфиксации** – отношение количества фиксированного атмосферного азота к общему содержанию его в бобовых растениях.

**Коэффициент биологического поглощения** – 1) эмпирический биогеохимический показатель, характеризующий интенсивность биологического поглощения элементов; 2) отношение содержания элемента в золе растения к его содержанию в среде обитания.

**Коэффициент вариации** – относительный показатель изменчивости признака, представляющий отношение стандартного отклонения к средней арифметической, выраженное в процентах. Обозначается буквой  $V$ .

**Коэффициент использования действующего вещества удобрения** – отношение количества действующего вещества, вынесенного урожаем, к общему количеству действующего вещества, внесенного с удобрением.

**Коэффициент корреляции** – статистический показатель тесноты (силы) связи между двумя переменными.

**Коэффициент кушения растения** – среднее число побегов на одном растении.

**Коэффициент размножения** – отношение количества семян в урожае к количеству высеянными семенами.

**Коэффициент распределения или накопления** – соотношение концентраций вещества в каждой из фаз двухфазной системы.

**Коэффициент регрессии** – 1) коэффициент в уравнении линейной регрессии, отражающий пропорциональную зависимость между переменными; 2) число, показывающее в каком направлении и на какую величину, изменяется в среднем зависимая переменная  $Y$  (результативный признак) при изменении независимой переменной  $X$  на единицу измерения.

**Коэффициент роста** – отношение последующего уровня к предыдущему.

**Коэффициент усушки** – отношение массы свежей травы к массе в воздушно-сухом состоянии. Применяется для перевода зеленой массы в сено или наоборот.

**Крайнее значение** – наибольшее или наименьшее значение в выборке (его глубина равна 1, поэтому оно часто так и обозначается: «1»).

**Краткосрочные опыты** – опыты, проводимые на протяжении 3–10 лет с целью изучения влияния агротехнических приемов или сортов на рост и урожайность плодовых, ягодных и овощных культур в зависимости от различных условий погоды.

**Краткосрочный опыт с удобрениями** – полевой опыт с удобрениями, в котором изучается действие удобрений на урожай и качество сельскохозяйственных культур не менее трех лет в аналогичных почвенных условиях.

**Криволинейная связь между признаками** – связь, при которой равномерным изменениям первого признака соответствуют неравномерные изменения второго, причем эта неравномерность имеет определенный закономерный характер.

**Криофиты** – растения сухих и холодных мест.

**Кристаллическое удобрение** – минеральное удобрение, полученное в виде кристаллов с размерами, в основном, более 0,5 мм.

**Критерий** – показатель, позволяющий судить о надежности выводов, подтверждающих или опровергающих статистическую гипотезу.

**Критерий Дмитриева** (критерий  $\theta$ ) – коэффициент для вычисления абсолютного вероятного отклонения, доверительного интервала и гарантированных экстремальных значений случайной величины при малых выборках.

**Критерий Стьюдента** (квантиль распределения Стьюдента, критерий  $t$ , показатель Стьюдента, показатель  $t$ , коэффициент доверия) – применяется при проверке нулевых гипотез; используется для определения вероятности отклонения выборочного среднего от генерального.

**Критерий Фишера** (критерий значимости  $F$ , вариансное отношение, дисперсионное отношение) – определяет существенность различий между дисперсиями двух выборок.

**Критерий  $\chi^2$  (хи-квадрат)** – критерий, используемый для оценки выборочных данных, представленных в виде таблиц распределения численностей.

**Критическая концентрация** – максимальная концентрация химиката (агента) в воде или почве, не оказывающая отрицательного воздействия на тест-организм.

**Кросс-медиана** – точка (часто не находящаяся среди данных), каждая координата которой является медианой соответствующих координат заданных точек.

**Круговорот воды** – естественная циркуляция воды между атмосферой и поверхностью Земли, иногда через растительный покров.

**Крупнокапельное опрыскивание** – опрыскивание растений, при котором не менее 80 % жидкости разбрызгивается в виде капель размером не менее 150 мкм.

**Ксенобиотик (чужеродное соединение)** – вещество неприродного (антропогенного, искусственного) происхождения.

**Ксерофиты** – растения засушливых местностей, способные переносить длительные почвенные и атмосферные засухи.

**Кубическое уравнение** – алгебраическое уравнение третьей степени.

**Кумулята** – изображение распределения в виде кривой, ординаты которой пропорциональны накопленным частотам вариационного ряда.

**Кумуляция** – последовательное суммирование частот вариационного ряда в том или ином направлении, в результате чего получается ряд накопленных частот.

## Л

**Лабораторный эксперимент** – исследование, осуществляемое в лабораторной обстановке с целью изучения взаимодействия факторов и установления их влияния на изучаемые объекты.

**Лag-фаза** – время между инокуляцией питательной среды и началом быстрой логарифмической фазы роста микроорганизмов.

**Ландшафт** – природно-территориальный комплекс с преобладанием одного типа биогеоценоза.

**Ландшафт как экосистема** – большой участок земной поверхности, в пределах которого геоморфологические особенности, субстраты (в том числе почвы) и атмосферно-климатические процессы создают условия для специфического сочетания биоты.

**Латинский квадрат** – схема рендомизированного (случайного) размещения вариантов в опыте, в котором делянки располагаются рядами и столбцами (4 x 4, 5 x 5, 6 x 6 и т. д.). В каждом ряду и столбце должен быть набор вариантов схемы (повторения), и, следовательно, в латинском квадрате число повторений равно числу вариантов, а общее число делянок равно квадрату числа вариантов.

**Латинский прямоугольник** – схема рендомизированного (случайного) размещения вариантов в опыте. В основе лежит латинский квадрат, который и определяет повторность опыта, число рядов и столбцов. Число вариантов должно быть кратным повторности (4 x 4 x 3; повторность  $n = 4$ , число вариантов  $l = 12$ ).

**Лемма** – вспомогательное предложение, являющееся верным высказыванием, которое используется для доказательства одной или нескольких теорем.

**Ленточное (рядковое) опрыскивание гербицидом** – опрыскивание гербицидом, при котором рабочий раствор распределяется вдоль рядков-лент культурных растений.

**Лессиваж** – перенос по почвенному профилю илистой фракции без химического разрушения компонентов.

**Лестница преобразований** – возрастающая последовательность степеней (сначала отрицательные степени, затем логарифм, потом положительные степени).

**Летальная доза гербицида** – доза гербицида, вызывающая при однократном введении 100 %-ную гибель сорняков.

**Лизиметр** – прибор (устройство) для сбора, измерения объема и/или скорости движения почвенной воды сквозь ненарушенный почвенный монолит.

**Лизиметрический метод** – исследование растений и свойств почвы в поле с целью изучения баланса влаги, а также пищевого режима в лизиметрах.

**Лизиметрический опыт с удобрениями** – опыт, проводимый с использованием лизиметрической установки для изучения питательного режима почвы и передвижения минеральных и органических веществ по профилю почвы, баланса элементов питания.

**Лимиты** – минимальная и максимальная варианты совокупности.

**Лимонно-растворимые фосфаты удобрения** – фосфаты удобрения, извлекаемые раствором лимонной кислоты.

**Линейная регрессия** – регрессия называется линейной, когда равномерным изменениям одного признака соответствуют равномерные в среднем изменения другого признака.

**Линия** – 1) потомство одного гомозиготного самоопыляющегося растения, размножающееся половым путем; 2) культура, возникшая из штамма при селекции или клонировании, имеющая маркерные признаки.

**Линия уровня** – кривая, вдоль которой некоторая функция (обычно какая-то координата) принимает постоянное значение (иногда ее называют кривой уровня).

**Листовая диагностика** – определение потребности растений в элементах питания по общему химическому анализу листьев.

**Литофиты** – растения, заселяющие поверхность скал, каменистых осыпей и расщелин.

**Ложе для проращивания семян** – материалы и вещества, используемые в качестве подстилки для проращивания семян в лабораторных условиях.

**Локальное внесение удобрения** – внесение удобрения, обеспечивающее его размещение в почве очагами различной формы.

**Локальное применение гербицида** – выборочное применение гербицида в местах концентрации сорняков или в местах наибольшего контакта с ними.

**Ломаная из медиан** – горизонтальные отрезки медиан каждого слоя (заданного буквенными разрезами) и те части буквенных разрезов, которые необходимы для соединения этих отрезков.

**Люминесцентный анализ семян** – использование явления люминесценции для определения подлинности семян, их жизнеспособности, зараженности болезнями и степени повреждения воздействиями внешних условий.

## М

**Магниевое удобрение** – удобрение, в котором действующим веществом является магний.

**Макроэлемент** – химический элемент, необходимый для роста и развития растений в количестве  $> 1$  мг/кг почвенного субстрата.

**Максимальная температура прорастания семян** – верхний предел температуры, при переходе за который прекращается прорастание семян.

**Малообъемное опрыскивание** – нанесение жидкой препаративной формы гербицида с нормой расхода рабочего раствора 75-100 дм<sup>3</sup>/га.

**Массовый** – производимый в большом количестве, распространяющийся на множество, многих.

**Математика** – наука о количественных соотношениях и пространственных формах действительного мира.

**Математическая логика** – логика, развиваемая математическими методами.

**Математическая модель** – система математических соотношений, формул, функций, уравнений, систем уравнений, описывающих те или иные стороны изучаемого объекта, явления, процесса.

**Математическая статистика** – раздел математики, в котором изучаются методы систематизации и использования статистических данных; опирается на теорию вероятностей.

**Математический анализ** – раздел высшей математики, в котором изучаются функциональные зависимости методами дифференциального и интегрального исчисления.

**Математический вес значения** – поправка, выраженная определенным множителем.

**Математическое ожидание** – среднее значение случайной величины, определяемое как сумма произведений отдельных значений этой величины на их вероятности.

**Матрица** – таблица каких-нибудь математических элементов, состоящая из строк и столбцов.

**Медиана** – 1) среднее значение показателя в ранжированном ряду; 2) величина признака, которая делит упорядоченную последовательность его значений на две равные по численности части.

**Межевая таблица** («критическая» таблица) – таблица, не нуждающаяся в интерполяции, где используются «межи», т. е. значения аргумента, при которых меняется значение функции.

**Межфазный период** – интервал времени между моментами наступления фенологических фаз развития растений.

**Мезоэлемент** – химический элемент, необходимый для роста и развития растений, содержащийся в растительных тканях в количестве 0,1–0,01 % сухой массы.

**Мелкогранулированный препарат** – не пылящий твердый (сухой) препарат с размером гранул от 0,1 до 0,5 мм.

**Мелкоделяночные опыты** – первый этап полевых исследований, для которых характерна очень маленькая площадь опытной делянки – от 1 до 10 м<sup>2</sup> с соотношением сторон 1 м×1 м; 1 м×2 м; 2 м×2 м; 2 м×4 м или 2 м×5 м. Защитных полос в мелкоделяночных опытах нет, а вместо них создают лишь дорожки для осмотра делянок и учетов в опытах. Количество вариантов может быть большим или незначительным, когда изучается узкий вопрос. Однако количество повторностей в мелко-деляночных опытах должно быть не менее 6–8.

**Мелкоделяночный опыт с удобрениями** – полевой опыт с удобрениями, проводимый на делянках площадью не более 10 м<sup>2</sup>.

**Мелкозернистый препарат** – непьющий твердый (сухой) препарат с размером зерен около 0,1 мм.

**Мелкокапельное опрыскивание** – опрыскивание растений, при котором не менее 80 % жидкости разбрызгивается в виде капель размером от 50 до 150 мкм.

**Местное удобрение** – удобрение, получаемое в хозяйстве.

**Метаболизм** – обмен веществ, совокупность процессов биохимического превращения веществ и энергии в живых организмах.

**Метаболизм пестицида** – 1) превращение пестицида под действием биологических факторов; 2) превращение пестицида внутри живого организма и клетки.

**Метаболиты** – продукты превращения препарата под действием биологических факторов *in vivo* или экзоферментов; продукты нормального обмена веществ.

**Метафора** – перенесение свойств одного предмета (явления) на другой на основании общего для обоих признака.

**Метод** – 1) способ достижения цели, решения конкретной задачи, совокупность приемов или операций практического или теоретического освоения (познания) действительности.

**Метод «джекнайф»** (большой складной нож) – 1) последовательное удаление из выборки объема  $n$  одного элемента и проверки на нем статистических выводов, полученных по оставшейся выборке объема  $(n-1)$ . Затем удаленный элемент заменяется другим и т. д., что дает  $n$  проверок статистических выводов, позволяющих судить об их достоверности.

**Метод исследования** – 1) упорядоченная деятельность исследователя, направленная на получение новых знаний; 2) способ достижения цели.

**Метод координат** – способ определять положение точки или тела с помощью чисел или других символов. Числа (символы), определяющие положение точки (тела) на прямой, плоскости, в пространстве, на поверхности и т. д., называются ее координатами.

**Метод латинского квадрата** – число повторений  $n$  в опыте равно числу вариантов, а общее число делянок равно  $n^2$ . Варианты на плане обозначают буквами латинского алфавита. При размещении опыта этим методом участок квадратной или прямоугольной формы разбивают на горизонтальные и вертикальные ряды по числу вариантов. В горизонтальном и вертикальном рядах помещают полный набор всех вариантов (это возможно только тогда, когда одноименные делянки не повторяются дважды ни в горизонтальном, ни в вертикальном рядах). Внутри этих рядов возможно систематическое или рендомизированное размещение вариантов на делянках.

**Метод меченых атомов** – использование индикаторных доз радиоактивных и стабильных изотопов для изучения процессов, протекающих в растениях и почве. Основанием метода является идентичность поведения изотопов в биологических системах.

**Метод морфологического анализа** – изучение растения по его морфологическим структурам с целью выявления наиболее существенных органов и частей для исследования.

**Метод расщепленных (сложных) делянок** – эксперимент, в котором делянки одного опыта используют как блоки для другого. Делянки первого порядка расщепляют на делянки второго порядка, а последние – на более мелкие делянки третьего порядка. Метод расщепленных делянок с рендомизированным размещением вариантов используют для закладки многофакторных опытов.

**Метод рендомизированных (случайных) повторений** – эксперимент, в котором варианты по делянкам размещены в случайном порядке по таблице случайных чисел или по жребию.

**Метод случайных блоков (повторений)** – способ размещения вариантов. Их объединяют в несколько блоков, число делянок в каждом повторении равно числу вариантов схемы. Общее количество блоков определяется принятой в опыте повторностью. В блоке варианты по делянкам располагают в случайном порядке по жребию.

**Метод смешивания** – введение дополнительных делянок для факторов первого порядка за счет субделянок второго и третьего порядков в многофакторных опытах.

**Методика** – совокупность методов обучения чему-нибудь, практического выполнения чего-нибудь.

**Методика полевого опыта** – совокупность слагающих ее элементов, взятых в определенных показателях, обеспечивающих достоверность и планируемую ошибку опыта. К элементам методики относятся: 1) число вариантов в схеме опыта; 2) повторность, 3) система размещения полевого опыта, повторений и вариантов на территории; 4) площадь делянок, их форма и направление; 5) метод учета урожая; 6) организация опыта во времени.

**Методология** – 1) учение о структуре, логической организации методах и средствах деятельности; 2) философское учение о методах познания и преобразования действительности, применение принципов мировоззрения к процессу познания, духовному творчеству и практике.

**Методы математической статистики** – статистические методы для объективного планирования опытов, подготовки экспериментальных данных к обработке, определения достоверности опыта и его точности, а также для выявления зависимости между учитываемыми в опыте показателями.

**Метр** – основная единица длины в Международной системе единиц, равная 100 см.

**Механическая поглотительная способность почвы** – способность почвы механически задерживать в своих порах частицы другого вещества.

**Миграция** – способность вещества к перемещению в пространстве от места применения.

**Миграция микроэлемента в почве** – передвижение микроэлемента в почве, происходящее под воздействием совокупности различных явлений.

**Микробиоценоз** – совокупность микроорганизмов данного биоценоза, сообщества микроорганизмов растительного и животного происхождения.

**Микрополевой опыт с удобрениями** – опыт с удобрениями, проводимый в полевых условиях в сосудах без дна или на микроделянках площадью не более 1 м<sup>2</sup>.

**Микроудобрение** – удобрение, в котором действующим веществом является микроэлемент.

**Микрофлора ризосферная** – совокупность микроорганизмов прикорневой зоны растения.

**Микрофлора эпифитная** – микроорганизмы, развивающиеся на поверхности растения.

**Микроэлемент** – химический элемент, имеющий физиологическое и биологическое значение и содержащийся в биологических объектах в количестве 0,01–0,0001 % в расчете на сухое вещество.

**Миксотрофы** – растения со смешанным способом питания, частично за счет фотосинтеза или сапротифизма, паразитизма и т. д.

**Минерализация органических веществ почвы** – разложение органических веществ почвы с образованием минеральных соединений.

**Минеральное питание растений** – поглощение и усвоение элементов питания растениями в минеральной форме.

**Минеральное удобрение** – удобрение промышленного или ископаемого происхождения, содержащее элементы питания в минеральной форме.

**Минимальная температура прорастания семян** – нижний предел температуры, при переходе за который семена не прорастают.

**Многолетние опыты** – опыты, проводимые на протяжении 11–50 лет с целью изучения действия, взаимодействия и последствия отдельных агротехнических приемов или их комплекса на плодородие почвы, урожай и его качество.

**Многофакторные опыты** – опыты, в которых изучается влияние двух и более факторов на результивный признак, с целью выявления их действия и взаимодействия.

**Многофакторный дисперсионный комплекс** – совокупность исходных наблюдений (дат), позволяющих статистически оценить действие и взаимодействие изучаемых факторов на изменчивость результивного признака. Эффект взаимодействия составляет ту часть общую варьирования, которая вызвана различным действием одного фактора при разных градациях другого. Специфическое действие сочетаний в полном факториальном эксперименте выявляется тогда, когда при одной градации первого фактора второй действует слабо или угнетающе, а при другой градации он проявляется сильно и стимулирует развитие результивного признака.

**Многофакторный опыт с удобрениями** – опыт с удобрениями, проводимый с целью выявления влияния удобрений на различные факторы.

**Многофункциональное минеральное удобрение** – минеральное удобрение, содержащее кроме питательных элементов вещества, оказывающих специфическое воздействие на растения и почву, а именно: задерживающие или продолжающие действие удобрения, стимулирующие развитие растений, улучшающие структуру почвы и задерживающие влагу.

**Множественная корреляция** – корреляция называется множественной, если на величину результирующего признака одновременно влияют несколько факториальных.

**Множественная регрессия** – зависимость изменения одного признака от одновременного изменения двух или нескольких других признаков.

**Множественный коэффициент корреляции трех переменных** – показатель тесноты линейной связи между одним из признаков (буква индекса перед точкой) и совокупностью двух других признаков (буквы индекса после точки).

**Множество** – любая четко определенная совокупность объектов.

**Мобилизация элементов питания в почве** – переход органических и минеральных веществ почвы в доступную для питания растений форму.

**Мода** – величина, которая чаще всего встречается в статистическом ряду.

**Модель дискретная** – модель, фиксирующая состояние системы в определенных моменты времени.

**Модель распределенная непрерывная** – математическое описание поведения системы как постоянной функции времени.

**Модель физическая** – экспериментальная система, предназначенная для имитации абиотических и биологических процессов.

**Модельный сноп** – сноп, составленный из отдельных растений, характерных для одной делянки, служит для определения отдельных показателей (структуры урожая, засоренности или поражения болезнями).

**Модификация** – различие в степени проявления одного и того же признака под влиянием меняющихся внешних условий.

**Мониторинг** – 1) регулярное измерение факторов (параметров) окружающей среды и/или биоты на определенной территории или в пункте наблюдения; 2) система длительных регулярных наблюдений в пространстве и времени, дающая информацию об окружающей среде с целью оценки настоящего ее состояния прогноза изменения в будущем.

**Мониторинг экотоксикологический** – система наблюдения и контроля за содержанием разнообразных поллютантов с целью оценки и прогноза состояния компонентов биосферы.

**Мульчирование (мульча)** – покрытие поверхности почвы рыхлыми пористыми материалами, пропускающими дождевую воду и препятствующими испарению влаги, выдуванию почвы и т. д.

**Мышление** – опосредованное и обобщенное отражение в мозгу человека существенных свойств, причинных отношений и закономерных связей между объектами или явлениями.

## Н

**Набивка** – материал, которым набито, наполнено что-нибудь.

**Наблюдение** – 1) количественная или качественная регистрация интересующих исследователя сторон развития явления, констатация наличия того или иного его состояния или свойства; 2) способ познания объективного мира, основанный на непосредственном восприятии предметов и явлений при помощи органов чувств без вмешательства в процесс со стороны исследователя.

**Набухшие семена** – семена, увеличившиеся в объеме за счет поглощения воды, непроросшие и имеющие здоровый вид.

**Навеска семян** – часть среднего образца, выделенная для определения показателей качества семян.

**Навоз** – смесь твердых и жидких экскрементов сельскохозяйственных животных с подстилкой или без нее.

**Навозная жижа** – жидкость, выделяющаяся при хранении подстилочного навоза.

**Навозные стоки** – бесподстилочный навоз, содержащий менее 3 % сухого вещества.

**Нагрузка на пастбище** – число голов скота на 1 га пастбища за весь пастбищный период.

**Наибольший общий делитель многочленов** – многочлен, который является их общим делителем и вместе с тем сам делится на любой другой общий делитель этих многочленов.

**Наименьшая существенная разность (НСР)** – величина, указывающая границу возможных случайных отклонений в эксперименте; это та минимальная разность между средними, которая в данном опыте признается существенной при 5 % -ном ( $НСР_{05}$ ) или 1 % -ном ( $НСР_{01}$ ) уровне значимости.

**Наклюнувшиеся семена** – семена с появившимся из разрыва покровов семени корешком или корешком и ростком.

**Направленное применение гербицида** – опрыскивание гербицидом посевов (посадок) культурных растений в период их вегетации, которое исключает непосредственное попадание рабочего раствора на культурное растение.

**Нарушенные земли** – участки, на которых в результате хозяйственной деятельности человека уничтожена растительность, разрушен почвенный покров, изменены гидрологический режим и рельеф местности.

**Наука** – область человеческой деятельности, основной целью которой является получение нового научного знания.

**Науковедение** – отрасль науки, которая изучает саму науку в широком смысле слова.

**Научная идея** – интуитивное объяснение явления без промежуточной аргументации, без осознания всей совокупности связей, на основании которой делается вывод. Она базируется на уже имеющемся знании, но вскрывает ранее не замеченные закономерности. Свою специфическую материализацию идея находит в гипотезе.

**Научные исследования** – процесс изучения конкретного объекта, явления или предмета с целью раскрытия закономерностей их возникновения и развития, а также преобразования в интересах общества.

**Научный документ** – материальный объект, содержащий научно-техническую информацию и предназначенный для ее хранения и использования.

**Научный обзор** – текст, содержащий синтезированную информацию сводного характера по каждому вопросу или ряду вопросов, извлеченную из некоторого множества специально отобранных для этой цели первичных документов.

**Нейтрализация удобрения** – устранение кислотности удобрения с помощью нейтрализующих добавок.

**Нейтрализующая способность почв** – общее количество кислоты, которое может быть нейтрализовано почвой вследствие различных процессов, протекающих с потреблением протонов.

**Некондиционные семена** – семена, посевные качества которых не соответствуют по одному или нескольким показателям государственных стандартов.

**Некорневая подкормка растений** – подкормка растений удобрениями, опрыскиванием или опыливанием надземной части растений.

**Некорневое питание растений** – поступление элементов питания в растения через надземные органы.

**Нелинейная регрессия** – регрессия называется нелинейной когда одинаковым приращениям одного признака сопутствуют неодинаковые, но изменяющиеся по определенному закону приращения другого признака.

**Ненасыщенные основаниями почвы** – почвы, содержащие в обменном состоянии ионы водорода и алюминия.

**Ненормально проросшие семена** – семена, корешки и ростки которых имеют уродства, повреждения или не достигли степени развития, предусмотренной стандартами на методы анализа семян.

**Непараметрическая статистика** – часть математической статистики, которая для получения выводов не использует то или иное параметрическое представление для функции распределения.

**Непараметрические критерии** – такие, использование которых не требует вычисления оценок неизвестных параметров распределения и приближенного значения распределения признака.

**Непрерывная модель распределенная** – математическое описание поведения системы как постоянной функции времени.

**Неравновесные процессы** – процессы, скорость которых близка к скорости релаксации внутренних свойств элемента. Равновесные процессы предсказуемы, неравновесные процессы по определению непредсказуемы.

**Несимбиотическая азотфиксация** – азотфиксация свободноживущими микроорганизмами почвы.

**Нечеткие переменные** – переменные, полученные обычно в результате визуальной, качественной (квалиметрической) оценки. Например, молодой, средневозрастной, старый; высокосомкнутый, среднесомкнутый, низкосомкнутый; глина, суглинок, супесь, песок являются нечеткими переменными. Нечеткость их определяется тем, что реальные значения возраста, сомкнутости, гранулометрического состава не всегда соответствуют определенному состоянию. В некоторых случаях то, что оценено как глина, в действительности – суглинок.

**Нитратное удобрение** – азотное удобрение, содержащее азот в нитратной форме.

**Нитрификационная способность почвы** – способность почвы накапливать нитраты под влиянием микробиологических процессов при определенной температуре и влажности.

**Нитрификация** – окисление аммонийных ионов нитрифицирующими бактериями до нитритов и нитратов.

**Нитрофилы** – азотлюбивые растения, произрастающие на почвах с высоким содержанием нитратов.

**Нооландшафт** – культурный биогеоценоз или культурная экосистема (агроценоз), в которой должны формироваться и развиваться все представители экосистемы (растительность, почвы, микроорганизмы, почвенная фауна). При этом обязательно должно быть соблюдено биологическое равновесие между компонентами нооландшафта, которое рассчитывается (проектируется) человеком еще до создания нооландшафта.

**Ноосфера** – сфера разума, понятие для характеристики воздействия человеческого разума на развитие биосферы, геологические процессы.

**Норма** – установленная мера сравнения.

**Норма расхода пестицида** – количество действующего вещества или препарата пестицида, расходуемое на единицу площади обрабатываемого участка (см. доза).

**Нормально проросшие семена** – проростки с нормальной структурой всех их частей, свойственной данному виду растений, относимые при анализе к числу всхожих.

**Нормальное (или Гауссово) распределение** –1) математически определенная закономерность, кривая, имеющая форму колокола; получают путем

нанесения на графике частот появления конкретных значений переменной для всего размаха этих значений. Для описания нормального распределения достаточно иметь его среднее значение и стандартное отклонение; 2) совокупность измерений, в которой варианты группируются вокруг центра распределения и их частоты равномерно убывают вправо и влево от центра распределения ( $x$ ). Отдельные варианты отклоняются от средней арифметической симметрично, и размах вариации в обе стороны не превышает величины  $3\sigma$ .

**Нормирование качества среды** – установление лимитирующих концентраций ксенобиотика или доз агента, которые не должны превышать в компоненте окружающей среды. Обычно норма определяется по реакции самого чувствительного к изменениям среды вида организмов.

**Ноу-хау** – технические секреты, знания, опыт, необходимые для решения какой-либо задачи, налаживания производства.

**Нулевая гипотеза ( $H_0$ )** – статистическая гипотеза, исходящая из предположения или допущения об отсутствии разницы между генеральными параметрами, оцениваемыми по выборочным показателям.

## О

**Обменная кислотность почвы** – кислотность почвы, проявляющаяся при обработке ее раствором нейтральной соли.

**Обменная поглотительная способность почвы** (физико-химическая поглотительная способность почв) – способность почвы удерживать на поверхности своих частиц ионы, способные к эквивалентному обмену.

**Обменные катионы почвы** (поглощенные катионы почвы) – катионы, поглощенные высокодисперсной частью почвы, способные к обмену.

**Обменный калий почвы** – калий почвы, способный к обмену на другие катионы.

**Обобщение** – определение общего понятия, в котором находит отражение главное, основное, характеризующее объекты данного класса. Это средство для образования новых научных понятий, формулирования законов и теорий.

**Образец** – сборная проба, составленная из отдельных проб, взятых с деланки опыта и характеризующая всю совокупность или популяцию.

**Обратная величина** – результат деления единицы на данное число (и, следовательно, хотя это несколько неточно, результат деления любой выбранной константы на данное число).

**Обрушенные семена** – семена, с полностью или частично удаленными при обмолоте или в результате влияния других внешних условий наружными покровами.

**Объем выборки** – размер выборки, количество значений случайных величин, повторностей, наблюдений, измерений, одноименных делянок.

**Огиба** – 1) линейный график вариационного ряда, получаемый в том случае, когда по оси абсцисс в системе координат откладываются кумулированные частоты ряда, а по оси ординат – классовые варианты; 2) изображение распределения, при котором все даты расположены одна за другой в порядке возрастания. При составлении огивы значения признака откладываются по оси ординат, а по оси абсцисс откладывается ранг каждой даты в ранжированном ряду.

**Однокомпонентное минеральное удобрение** – минеральное удобрение, содержащее один из дефицитных питательных элементов.

**Однофакторные опыты** – опыты, в которых изучается действие только одного фактора: сорт, подвой, формировка кроны, площадь питания, удобрение, обработка почвы, сроки посадки.

**Одночлен** – выражение, содержащее числа, переменные, выражения, противоположные переменным, а также степени чисел и переменных и их произведения.

**Окислительно-восстановительная емкость почв** – общее количество окислителей или восстановителей, которое может связать почва в определенном интервале окислительных потенциалов.

**Окружающая среда** – среда обитания и производственной деятельности человека.

**Октавы** – значения, лежащие между  $A$  и  $2A$  (для некоторого  $A$ ), или интервалы такого рода.

**Оптимальная температура прорастания семян** – температура, при которой прорастание семян происходит наиболее быстро.

**Опыт полевой** – исследование, осуществляемое на специально выделенном участке для оценки действия различных вариантов (сортов) на урожай растений и его качество.

**Опытная делянка** – элементарная составная часть опытного участка определенного размера и формы, на которой осуществляются все изучаемые приемы возделывания растений согласно какому-нибудь одному из вариантов схемы.

**Опытный вариант** – изучаемое растение, сорт, агротехнический прием, факторы роста и развития растений или их сочетание, напряженность факторов.

**Опытный участок** – площадь, на которой проводятся опыты.

**Организованное повторение** – это часть площади опытного участка, включающая все варианты схемы опыта.

**Органическое удобрение** – удобрение, содержащее органические вещества растительного или животного происхождения.

**Органолептическая оценка семян** – оценка качеств семян при помощи органов чувств.

**Органо-минеральное удобрение** – смесь органического и минерального удобрения, полученная в едином технологическом процессе или путем механического смешивания.

**Ордината** – вторая из координат точки в декартовой прямоугольной системе координат на плоскости или в пространстве.

**Ориентировочный** – предварительный, приблизительный.

**Орштейн** – почвенное новообразование, обычно округлой формы, хотя встречаются угловатые и трубчатые формы.

**Основное внесение удобрения** – внесение основной массы удобрения до посева или посадки.

**Остаток** – результат вычитания аппроксимации из данных; таким образом, это то, что осталось необъясненным после введения неполного описания (аппроксимации).

**Остаточное количество, или остатки пестицида** – количество пестицида, оставшееся после его применения в почве, продукции растениеводства, продуктах питания и фураже.

**Острое угнетение сорняков гербицидом** – нарушение жизнедеятельности сорняков с возможной гибелью при разовом воздействии гербицида.

**Отавность** – свойство растений восстанавливать свою надземную часть, отчужденную при стравливании или скашивании.

**Отклик** – 1) переменная (или значение переменной), о которой мы предполагаем (по крайней мере временно или очень приблизительно), что она связана с определенными факторами или обстоятельствами; 2) параметр оптимизации в планировании эксперимента в виде реакции объекта на внешние или внутренние возмущения.

**Отклонение** – разность между отдельной вариантой и средней величиной данной статистической совокупности.

**Отличие** – признак, создающий разницу, различие между кем-чем-нибудь.  
**Отметка** – любая переменная, значения которой упорядочены, но которую нежелательно рассматривать как числовую.

**Относительная вероятная погрешность среднего** – абсолютная вероятная погрешность, выраженная в процентах к среднему.

**Относительная ошибка** – ошибка средней, выраженная в процентах от соответствующей средней.

**Относительная ошибка выборочной средней** – ошибка выборки, выраженная в процентах от соответствующей средней.

**Относительная ошибка среднего** (точность опыта, точность варианта, точность определения) – относительная ошибка выборочного среднего – показатель относительной точности опыта, варианта или определения.

**Относительное знание** – знание, которое, будучи в основном верным отражением действительности, отличается некоторой неполнотой совпадения образа с объектом.

**Отношение** – то, что ставит в определенное соответствие друг другу элементы или состояния элементов одного множества, или элементы и состояния одного множества к другому, или нескольких множеств друг к другу.

**Отрицательная обратная величина** – результат деления некоторой выбранной отрицательной константы на данное число.

**Оценка** – приближенная характеристика генерального параметра на основании известной величины выборочного показателя.

**Ошибка выборочной доли** – мера отклонения доли признака выборочной совокупности от доли его во всей генеральной совокупности вследствие неполной представительности выборки.

**Ошибка опыта, выборка** – мера расхождения между результатами выборочного исследования и истинным значением измеряемой величины.

**Ошибка среднего** (средняя ошибка, средняя квадратическая ошибка, срединная ошибка, стандартная ошибка, средняя ошибка среднего арифметического, средняя квадратическая ошибка среднего арифметического, стандартная ошибка среднего арифметического, ошибка выборочности, ошибка репрезентативности) – показатель, характеризующий степень отклонения выборочного среднего от генерального.

## II

**Память** – способность сохранять и воспроизводить в сознании прежние впечатления, опыт, а также самый запас хранящихся в сознании впечатлений, опыта.

**Парабола** – 1) плоская линия, которая в подходящей декартовой системе координат может быть задана уравнением:  $y^2 = 2px, p > 0$ ; 2) состоящая из одной ветви незамкнутая кривая, образующаяся при пересечении конической поверхности плоскостью.

**Парадигма** – образец, тип, модель.

**Парадокс** – 1) утверждение, резко расходящееся с общепринятым, установившимся мнением, отрицание того, что представляется «безусловно правильным»; 2) в узком смысле – это два противоположных утверждения, для каждого из которых имеются представляющиеся убедительными аргументы; 3) явление, кажущееся невероятным и неожиданным.

**Паразиты** – организмы, которые используют в качестве пищи другие живые организмы, но не сразу, как хищники, а постепенно, сохраняя жизнь жертвы до окончания своего жизненного цикла.

**Параллелизм** – сопутствие параллельных явлений, действий; параллельность.

**Параметр** – 1) величина, характеризующая какое-нибудь основное свойство системы, явления или процесса; 2) нечто относительно неизменное, определяющее правило отношения. В уравнении  $y=a+bx$ ,  $a$  и  $b$  – параметры. Если они известны, то зная значения  $x$ , можно определить все значения  $y$ ; 3) характеристика совокупности (например, средняя); Параметр – это устойчивая величина, которую мы редко знаем. Параметры оценивают на основе выборки; их обычно обозначают греческими буквами ( $\mu$ ,  $\sigma$ , и т. д.).

**Параметрическая статистика** – это та часть математической статистики, в которой для получения статистических выводов эксплуатируется гипотеза о параметрическом представлении для функции распределения.

**Параметрические критерии** – критерии, которые основаны на предположении, что распределение признака в совокупности подчиняется закону нормального распределения.

**Партия семян** – определенное количество однородных семян (одной культуры, сорта, репродукции, категории, сортовой чистоты, года урожая, одного происхождения), занумерованное и удостоверенное соответствующими документами.

**Парцелла** – часть делянки прямоугольной формы, пересекающая ее поперек и выделяемая для взятия проб или выключки, или для дробного учета урожая делянки.

**Паспорт почвы** – документ, содержащий фиксированный набор данных о почве, необходимых для рационального ее использования и охраны.

**Пастбище** – участок земли, растительность которого используется для выпаса скота.

**Пастбищеоборот** – система использования пастбища с чередованием по годам выпаса, сроков и сезонов пастыбы, сенокошения с периодическим включением отдыха от пастыбы – полного (до фазы плодоношения основных кормовых растений на пастбище) или частичного (задержанная пастыба, например, на части загонов ее начинают проводить со второго цикла стравливания).

**Пастбищная устойчивость** – свойство растений выдерживать выпас той или иной интенсивности.

**Пастбищный период (сезон)** – период, в течение которого животные на пастбищах питаются подножным кормом.

**Пастеризация** – уничтожение микроорганизмов путем повторного нагревания растворов до  $55-80^{\circ}\text{C}$ . Применяется для сохранения веществ, разлагающихся при более высокой температуре.

**Патент** – документ, свидетельствующий о праве изобретателя на его изобретение, о его приоритете.

**Патентная чистота** – юридическое свойство объекта, заключающееся в том, что он может быть использован в другой стране без опасности нарушения действующего на ее территории патентного законодательства.

**Патентоспособность** – свойство технического решения быть защищенным в качестве изобретения на основе закона соответствующей страны.

**Первичное испытание пестицида** – испытание токсичности пестицида на лабораторных тест-объектах в целях отбора пестицидов для их широкомасштабных испытаний и последующего производственного применения.

**Первичный стебель** – стебель, развивающийся из зародыша при прорастании семени.

**Перегной** – однородная землистая масса, образовавшаяся в результате разложения навоза и органических остатков растительного или животного происхождения.

**Переменная** – 1) любое свойство (характеристика) экспериментальной единицы, поддающееся измерению, называется переменной; 2) экспериментальную

единицу, обладающую свойством изменяться на определенную величину, которую можно измерить, называют переменной.

**Переменная температура проращивания семян** – чередование температуры при проращивании некоторых видов семян, применяемое с целью ускорения их прорастания.

**Перепревший навоз** – навоз, в котором визуально нельзя обнаружить неразложившиеся растительные остатки.

**Период полураспада** ( $T_{50}$ ,  $T_{1/2}$ ) – время, необходимое для уменьшения на 50 % начальной концентрации или количества ксенобиотика в системе; постоянное время, необходимое для уменьшения активности радиоактивного препарата наполовину в процессе реакции первого порядка.

**Периодическое внесение минерального удобрения** – одновременное внесение нескольких доз минерального удобрения с заданной периодичностью.

**Перлит** – разновидность кислых вулканических пород.

**Перцентили** – 99 значений признака, делящие ранжированный ряд на 100 равных частей.

**Пестицид** – химическое вещество, используемое для борьбы с вредными организмами, повреждающими (угнетающими) растения, вызывающими порчу сельскохозяйственной продукции, материалов, изделий, а также для борьбы с паразитами и переносчиками заболеваний человека и животных.

**Питательный режим почвы** (пищевой режим почвы) – содержание элементов питания в почве в доступной для растений форме в течение вегетационного периода.

**Плавная компонента** – последовательность значений, меняющихся более плавно, чем данные, из которых она вычислена.

**Планировать** – устраивать, располагать в соответствии с определенным планом.

**Плодородие** – способность почвы обеспечивать растения факторами жизни: водой, элементами питания, воздухом.

**Плотность поголовья на пастбище** – число голов скота, приходящееся в среднем на 1 га загона или часть его при порционном выпасе во время пастбы в этом загоне.

**Плотность популяции сорняков** – количество сорняков на единицу площади.

**Побочное действие пестицида** – воздействие пестицида на жизнедеятельность сопутствующих организмов.

**Поверхностно-активное вещество (ПАВ)** – химическое вещество органической природы, содержащее в своей структуре липофильную и липофобную части и обладающее способностью накапливаться на разделе двух сред (фаз) и понижать их поверхностное натяжение.

**Повторность** – 1) число одинаковых вариантов, примененных в опыте для устранения возможных случайных отклонений; 2) число одноименных деленок каждого варианта в данном полевом опыте. Повторность опыта во времени – число лет испытания агротехнических приемов или сортов.

**Поглотительная способность почвы** – способность почвы поглощать и удерживать твердые, жидкие и газообразные вещества.

**Поглощенные основания почвы** – поглощенные почвой катионы, за исключением водорода.

**Погрешность (ошибка)** – разница между результатами измерений и действительно существующими значениями измерений.

**Подвижность химических элементов в почве** – способность химических элементов переходить из состава твердой фазы почвы в жидкую.

**Подвижные фосфаты почвы** – фосфаты почвы, переходящие в слабо-кислые, солевые и слабощелочные вытяжки.

**Подвижный алюминий почвы** – алюминий, переходящий из почвы в раствор нейтральной соли.

**Подкормка растений** – внесение удобрения в период вегетации растений.

**Подопытный тест-объект для оценки пестицида** – отдельные виды высших растений, принятых в лабораторной практике для испытания и оценки пестицидной активности препаратов.

**Подстилочный навоз** – навоз с подстилкой и кормовыми остатками.

**Подсчет** – целое число (положительное или равное нулю), полученное в результате подсчета наблюдений.

**Познание** – 1) приобретение знания, постижение закономерностей объективного мира; 2) процесс движения человеческой мысли от незнания к знанию, в основе которого лежит отражение объективной действительности в сознании человека в процессе его общественной, производственной и научной деятельности, именуемой практикой.

**Поисковые исследования** – исследования, направленные на установление факторов, влияющих на объект, отыскание путей создания новых технологий и техники на основе способов, предложенных в результате фундаментальных исследований.

**Показатель** – 1) обобщенная характеристика признака процесса, явления, объекта в условиях конкретного места и времени; 2) данные, по которым можно судить о развитии, ходе, состоянии чего-нибудь.

**Поле** – обрабатываемая под посев земля, участок земли.

**Полевая всхожесть семян** – всхожесть семян в полевых условиях, выраженная в процентах к общему числу высеванных всхожих семян.

**Полевой метод исследований** – проведение полевых опытов непосредственно в саду или на поле, на специально выделенном участке. Опыт повторяется на территории и по годам и основной целью его является изучение влияния исследуемых агроприемов или сортов на урожай и качество продукции. Полевой опыт является завершающим этапом агрономических экспериментов. Лучшие результаты его могут внедряться в производство.

**Полевой опыт** – исследование, осуществляемое на специально выделенном участке для оценки действия различных вариантов (сортов) на урожай растений и его качество.

**Полевой опыт с удобрениями** – опыт, проводимый в полевых условиях для определения действия удобрений на урожай сельскохозяйственных культур, его качество, а также на плодородие почвы.

**Полезная модель** – отличающееся относительной новизной решение технической задачи, относящееся к устройству и имеющее явно выраженные пространственные формы (объем, компоновку).

**Полигон** – в биометрии графическое изображение безынтервального вариационного ряда.

**Поллютант (загрязнитель)** – любое вещество, находящееся в окружающей среде в количествах, достаточных для того, чтобы вызвать нежелательные или опасные для биоты последствия.

**Поллютант нестойкий** – загрязнитель, быстро разлагающийся в окружающей среде.

**Поллютант персистентный** – загрязнитель, относительно стойкий к деградации в окружающей среде.

**Полнообъемное опрыскивание пестицидом** – нанесение жидкой препаративной формы пестицида с нормой расхода рабочего раствора 150-300 дм<sup>3</sup>/га.

**Полнота (коэффициент) использования пастбищного травостоя** – отношение съеденной при выпасе скотом части травостоя на пастбище к валовому урожаю (запасу) его; выражается в процентах либо в сотых частях целого (например, 45 % либо 0,45).

**Полужидкий навоз** – бесподстилочный навоз, содержащий более 8 % сухого вещества.

**Полуперепревший навоз** – подстилочный навоз, в котором в результате микробиологических процессов подстилка и кормовые остатки приобретают темно-коричневый цвет, теряют прочность и легко разрываются.

**Получение повторных неровностей** – процедура, заключающаяся в сглаживании первоначальных неровностей и прибавлении результата к исходным сглаженным данным.

**Понятие** – мысль, отражающая существенные и необходимые признаки предмета или явления.

**Популяция** – сумма особей данного вида биоты (или штамма микроорганизмов), населяющих определенную территорию.

**Порог** – один из элементов последовательности значений  $x$ , выбранный для того, чтобы разделить выборку пар  $(x, y)$  на слои.

**Порошковидное удобрение** – минеральное удобрение, состоящее, в основном, из частиц размерами менее 1 мм.

**Посевные качества семян** – совокупность свойств и признаков семян, характеризующих степень их пригодности для посева.

**Послеваходовое применение гербицида** – применение гербицида после появления всходов сельскохозяйственной культуры.

**Последствие пестицида** – влияние применения пестицида в предыдущие годы на состояние культурных растений, почвы и степень засоренности посева данного года, вызванное сохранившимися в среде остатками пестицида.

**Последствие удобрения** – действие удобрения, внесенного под предшествующие культуры, на второй и в последующие годы.

**Последовательность** – упорядоченное множество данных  $(x, y)$ , в котором  $x$  изменяется с постоянным шагом.

**Послеуборочное дозревание семян** – процесс, происходящий в семенах после уборки, приводящий к завершению покоя семян.

**Потенциальная кислотность почвы** – сумма обменной и гидролитической кислотности твердой фазы почвы.

**Потери от сорняков** – экономический или хозяйственный показатель вредности сорняков для культурных растений, выраженный в денежных или натуральных единицах.

**Почвенная проба** – часть почвенного образца, взятая для анализа.

**Почвенный образец** – количество почвы, взятое из того или иного ее горизонта или слоя.

**Почвенный поглощающий комплекс** – высокодисперсная минеральная и органическая части почвы, обуславливающие ее способность поглощать и обменивать ионы.

**Почвенный раствор** – жидкая фаза почвы.

**Почвоутомление** – непригодность почвы для возделывания культур определенного рода или снижение урожайности при последовательном выращивании одной и той же культуры.

**Почечка** – зачаточный побег зародыша.

**Пояс (ярус)** – часть площади опыта, занятая несколькими повторениями, расположенными в один ряд.

**Превращение (трансформация) пестицидов, поллютантов** – изменение структуры химического вещества под действием биологических или абиотических факторов.

**Предварительная промывка семян** – удаление промыванием водой из семян веществ, задерживающих прорастание – ингибиторов.

**Предварительное охлаждение семян** – выдерживание набухших семян при низкой температуре перед проращиванием для преодоления в них состояния покоя.

**Предварительное прогревание семян** – выдерживание семян при повышенной температуре перед проращиванием для преодоления в них состояния покоя.

**Предел обнаружения метода** – наименьшая концентрация химического элемента (соединения), при которой по данной методике можно достоверно определить в пробе присутствие определяемого химического элемента (соединения).

**Предел толерантности средний (ПТ<sub>50</sub>)** – концентрация исследуемого химиката или агента, при которой (после определенной экспозиции) выживают 50 % тест-организмов.

**Предельная допустимая концентрация (ПДК)** – предельно допустимые концентрации химических элементов в воде, воздухе, почве и т. д., не оказывающие вредного воздействия на человека, животных, растения.

**Предельная концентрация микроэлемента в почве** – значение концентрации микроэлемента в почве в доступной растениям форме, которая не способствует прибавке урожая.

**Предельно допустимое количество пестицида (ПДК)** – максимальное количество гербицида в продуктах питания и в фураже, не оказывающее вредного действия на человека и животных.

**Предмет** – структура системы, закономерности взаимодействия элементов внутри системы и вне ее, закономерности развития, различные свойства, качества и т. д.

**Представление** – 1) вторичный образ предмета или явления, которые в данный момент времени не действуют на органы чувств человека, но обязательно действовали в прошлом; 2) образы, которые восстанавливаются по сохранившимся в мозге следам прошлых воздействий предметов или явлений.

**Преобразование** – запись той же информации, но в другом виде, например, замена  $y$  на  $\log y$ .

**Преобразование координат** – переход от одной системы координат к другой.

**Препаративная форма гербицида** – состав, включающий действующее вещество гербицида и вспомогательные соединения, обладающий определенными физико-химическими свойствами и эксплуатационными качествами.

**Придаточные зародышевые корешки** – корешки, появляющиеся при прорастании семян некоторых видов растений после развития зародышевого корешка.

**Признак** – 1) любая особенность в строении и функциях, по которой можно отличить один объект наблюдения от другого; 2) морфологическая особенность или черта строения растений.

**Признаки разновидности** – отличительные наследуемые морфологические признаки, по которым устанавливают принадлежность растений к данной разновидности.

**Прикладные исследования** – исследования, направленные на нахождение способов использования законов природы, для создания новых и совершенствования существующих средств и способов человеческой деятельности. Цель – установление того, как можно использовать научные знания, полученные в результате фундаментальных исследований, в практической деятельности человека.

**Принцип** – это правило, возникшее в результате субъективно осмысленного опыта людей. Под принципом в научной теории понимается самое абстрактное определение идеи (начальная форма систематизации знаний).

**Принцип единственного различия** – тождество всех условий, кроме изучаемого, позволяющее исключить влияние многофакторности.

**Проба (пробная единица, пробная площадка)** – часть растительного материала, почвы, урожая, взятая на площади делянки.

**Проба семян** – установленное стандартом на методы анализа семян, количество семян для проведения некоторых видов анализа, выделенное из навески.

**Пробит-анализ** – частный случай корреляционного анализа, когда связь между изучаемыми явлениями выражается кривой регрессии S-образной формы.

**Проблема** – совокупность сложных теоретических и практических задач, решения которых назрели в обществе.

**Пробный сноп** – сноп, составленный тем или иным способом для выборочного учета урожая.

**Провитамины** – вещества, из которых образуются витамины.

**Прогноз вредителя и/или болезни растений** – предсказание численности, распространенности и времени появления вредителя и/или болезни на определенный период времени – не менее чем за два года (многолетний); в наступающем вегетационном периоде, году или сезоне (долгосрочный); от нескольких дней до месяца (краткосрочный).

**Продуктивность** – фито- или биомасса, продуцируемая организмами в расчете на единицу площади.

**Продуктивность пастбища** – количество животноводческой продукции (мясо, молоко, прирост живого веса), получаемой с 1 га площади за время пастбы.

**Производственные опыты** – это комплексное, научно поставленное исследование, целью которого является изучение не отдельных элементов агротехники, а систем технологий, организационно-хозяйственных мероприятий.

**Производственный опыт с удобрениями** – полевой опыт с удобрениями, проводимый в производственных условиях для проверки рекомендаций и экономической оценки действия удобрений на урожай и его качество.

**Проращивание семенного материала** – прием, позволяющий при соответствующих условиях температуры, увлажнения, освещения и других факторах, проращивать до посева семенной материал некоторых сельскохозяйственных культур в целях получения более ранних и дружных всходов.

**Проросток** – растение от момента прорастания зародыша до перехода на самостоятельное питание.

**Проросшие семена** – семена с вышедшим за пределы покровов семя корешком или корешком и ростком. При анализе на всхожесть – семена, у которых размер корешка или ростка не менее половины длины семени.

**Пространственная изоляция** – расстояние между посевами различных сортов и культур для предотвращения переопыления и механического засорения.

**Протравливание семян** – обработка семян химическими протравителями против возбудителей грибных, бактериальных и вирусных заболеваний, а также против некоторых вредителей.

**Процент прироста** (темп прироста) – отношение абсолютного прироста к предыдущему уровню.

**Процесс** – смена состояний в пространстве и во времени.

**Прочность гранул минерального удобрения** – свойство гранул минерального удобрения, характеризующее его способность сохранять размеры и форму под воздействием внешних сил.

**Прямая уровня** – прямая, на которой некоторая функция сохраняет постоянное значение.

**Прямое действие удобрения** – действие удобрения на продуктивность сельскохозяйственной культуры в течение одного вегетационного периода.

**Прямые признаки оценки** – признаки, по которым оценка сортов и селекционных номеров дается непосредственно путем подсчета, взвешивания, измерения.

**Псевдоантагонизм между элементами питания** – явление, заключающееся в том, что с усилением роста под влиянием одного элемента могут наблюдаться симптомы голодания по отношению к другим питательным элементам.

## Р

**Равновесная влажность семян** – влажность семян, устанавливающаяся в зависимости от относительной влажности воздуха и температуры в результате свободного влагообмена между семенами и воздухом.

**Равновесные процессы** – процессы, вектора скоростей которых близки к нулю, так что изменения внутренних свойств элементов успевают многократно измениться и подстроиться к очень медленно меняющимся условиям.

**Разбросное внесение удобрения** – внесение удобрения, обеспечивающее его сплошное равномерное размещение по поверхности почвы разбрасывателями.

**Разведывательные (временные) опыты** – опыты, проводимые на протяжении 1-2 лет с целью выявления агроприема или сорта, которые надо взять в опыт для дальнейшего изучения на более длительный период.

**Размах вариации** – показатель, представляющий собой разность между максимальной и минимальной вариантами совокупности.

**Размер делянки** – длина и ширина делянки в линейных мерах или площадь ее в квадратных метрах.

**Размещение вариантов в опытах** – определенное чередование их на опытных делянках в зависимости от конкретных условий.

**Размножение семян** – высеv семян с целью увеличения их количества для последующего посева на больших площадях.

**Разнокачественность семян** – различие семян в одной и той же партии по форме, размеру и степени их выполненности.

**Районирование** – установление района возделывания новых сортов по результатам государственного сортоиспытания.

**Ранг** – порядковый номер значений после размещения наблюдаемых значений либо в убывающем порядке (ранг снизу), либо в порядке невозрастающем (ранг сверху).

**Ранжирование** – расположение числовых значений признака в порядке их возрастания или убывания.

**Распределение** – частота проявления определенных значений признака в совокупности.

**Распределение Паскаля** (отрицательное биномиальное распределение) –  $P(x)$  есть вероятность появления события типа 1 в  $m$ -й раз после точно  $m+x-1$  испытаний по схеме Бернулли при вероятности успеха  $p$ .  $F(x)$  есть вероятность того, что  $m$ -й успех наступит самое большее после  $m+x-1$  испытаний. При  $m=1$  распределение Паскаля сводится к геометрическому распределению, т. е.:  $P(x) = (m_x + x - 1)p^m(1 - p)^x$ , ( $x = 0, 1, 2, \dots, n$ ;  $m = 1, 2, \dots$ ;  $0 < p < 1$ ). Математическое ожидание  $M_x = m \left( \frac{1-p}{p} \right)$ ; дисперсия  $D_x = \left( \frac{1-p}{p^2} \right)$ .

**Распределение Пуассона** (распределение редких событий) – аппроксимирует гипергеометрическое и биномиальное распределения, когда  $pN \rightarrow 1$ ,  $N \rightarrow \infty$ ,  $p \rightarrow 0$ . Это приближение применяется обычно при  $p < 0,1$ , т. е.:  $P(x) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!}$ , ( $x = 0, 1, 2, \dots$ ;  $\lambda > 0$ ). Математическое ожидание и дисперсия в этом распределении равны:  $M_x = D_x = \lambda$ . Третий момент распределения  $\mu_3 = \lambda$ , четвертый центральный момент распределения  $\mu_4 = 3\lambda^2 + \lambda$

**Распределение Стьюдента** (t-распределение) – применяют при работе с малыми выборками, когда  $n \leq 30$ —20; для выборочных средних пользуются равенством  $t = \frac{\bar{x}-\mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{\bar{x}-\mu}{s_{\bar{x}}}$ , где числитель  $\bar{x}-\mu$  означает отклонение выборочной средней от средней генеральной совокупности  $\mu$ , а знаменатель  $\left(\frac{s}{\sqrt{n}} = S_{\bar{x}}\right)$  – стандартную ошибку средней генеральной совокупности. Следовательно, величина  $t$  измеряется отклонением выборочной средней  $\bar{x}$  от средней генеральной совокупности  $\mu$ , выраженной в долях ошибки выборки  $s_{\bar{x}}$ , принятой за единицу.

**Рассыпчатость минерального удобрения** – состояние минерального удобрения, характеризующее степень их агломерации, выраженное относительным количеством комков в процентах.

**Расщепление** – разделение в мейозе аллельных генов и контролируемых ими признаков родительских форм в гибридных поколениях.

**Реактивация** – переход остатков пестицида (токсиканта) из иммобилизованной формы или формы предшественника в активную (токсичную) форму в результате десорбции, разрыва лабильных связей и других процессов.

**Реакция почвы** – соотношение концентрации  $H^+$  и  $OH^-$  -ионов в почвенном растворе, выраженное через pH водной или солевой вытяжек из почвы.

**Реакция Хилла** – фотохимический процесс восстановления акцепторов электрона в присутствии изолированных хлоропластов на свету.

**Регион** – территория, ограниченная физическими, географическими, административными или другими границами.

**Регрессия** – 1) в биометрии функция, позволяющая по величине одного корреляционно связанного признака вычислять средние величины другого; 2) количественное изменение зависимой переменной, обусловленное изменением независимой переменной на единицу измерения. Уравнение линейной регрессии записывается следующим образом:  $Y=a+bX$ , где  $Y$  – оценочная величина  $Y$ ,  $a$  – свободный член или отрезок оси  $Y$ , отсекаемый линией, и  $b$  – наклон линии или коэффициент регрессии. Регрессия может быть парной (простой) или множественной, а в зависимости от формы связи – линейной или нелинейной.

**Режим элемента в почве** – совокупность процессов, определяющих количество различных форм элемента в почве.

**Резервный микроэлемент** – часть необменной формы микроэлемента, которая может переходить в доступные растениям формы.

**Резистентность сорняков** – феномен устойчивости видов сорняков по отношению к определенной группе (классу) гербицидов (триазины, сульфониломочевины, арилоксикарбоновые кислоты и пр.).

**Результат анализа семян** – документ, выдаваемый учреждениями семенного контроля на семена, посевные качества которых не отвечают требованиям стандарта или проверены не по всем нормируемым показателям.

**Рекогносцировочный (разведывательный) посев** – сплошной посев одной культуры, предшествующий закладке опыта и проводимый для выявления степени однородности (путем дробного учета урожая) почвенного плодородия на площади опыта.

**Рекультивация почв** – система приемов по восстановлению и оптимизации нарушенных ландшафтов.

**Рендомизация** – случайное размещение вариантов в опыте по таблице случайных чисел или жребию.

**Рендомизированные блоки (повторения)** – случайное размещение всех вариантов опыта в пределах каждого повторения (блока). При этом в каждом блоке каждый вариант встречается только один раз.

**Рендомизированный латинский прямоугольник** – рендомизированное размещение вариантов в пределах каждого ряда и по отдельным блокам.

**Репрезентативность** – степень соответствия выборочных характеристик их параметрам в генеральной совокупности.

**Репрезентативная выборка** (достоверная, объективная) – выборка, достаточно точно или полно воспроизводящая генеральную совокупность.

**Репродукция** – воспроизведение, следующее за элитой звено размножения (пересев) элитных семян.

**Ретардант** – замедлитель (ингибитор), например, ингибитор роста растений.

**Ретроградация фосфатов удобрения** – переход легкорастворимых фосфатов удобрения в труднорастворимые формы.

**Реутилизация** – повторное использование растением одного и того же вещества.

**Ризоплан** – поверхность корней, населенная микроорганизмами.

**Ризосфера** – зона, прилегающая к поверхности корня. Мощность ризосферы определяет дальность диффузии корневых выделений (порядка нескольких мм).

**Риск экологический** – вероятные неблагоприятные последствия любых антропогенных изменений природной среды.

**Рост** – необратимое увеличение размеров и массы тела, связанное с новообразованием элементов структуры организма.

**Росток** – зародышевый побег, развивающийся из почечки при прорастании семян некоторых видов растения.

**Ряд динамики** – ряд статистических показателей, характеризующих изменение явления во времени. Исходным показателем динамического ряда является абсолютный уровень, т. е. объем явления (размер признака) на определенную дату или за определенный период.

**Ряд распределения** – группировка, в которой известны обозначение группы и численность единиц в группах.

**Рядковое (ленточное) опрыскивание пестицидом** – опрыскивание пестицидом пропашных культур, при котором рабочая жидкость распределяется по рядкам обрабатываемого посева.

**Рядковое внесение удобрения** – внесение удобрения в рядок при посеве или посадке.

## С

**Синтез** – 1) соединение отдельных сторон предмета в единое целое; 2) объединение расчлененных и проанализированных частей в единое целое с целью получения более полных выводов и обобщений.

**Самоочищение (самоочищающая способность)** – совокупность всех природных процессов, направленных на восстановление первоначальных свойств ландшафта в целом или отдельных его компонентов; способность экосистемы освобождаться от поллютантов со скоростью, исключающей какой-либо вредный эффект для системы.

**Сапрофиты** – гетеротрофные организмы, использующие в качестве пищи отмершие остатки.

**Свежеубранные семена** – семена нового урожая в первый период после уборки, с незаконченным послеуборочным дозреванием.

**Свежий слаборазложившийся навоз** – подстилочный навоз, в котором в результате микробиологических процессов подстилка и кормовые остатки имеют незначительно изменившийся цвет и прочность.

**Свидетельство на семена** – документ, характеризующий сортовые и посевные качества семян и сопровождающий партию семян при поступлении в хозяйство или при отправке за его пределы.

**Свободная кислотность минерального удобрения** – количество свободной кислоты в составе минерального удобрения.

**Свободная щелочность минерального удобрения** – количество свободной щелочи в составе минерального удобрения.

**Свойство** – присущее объекту исследования наблюдаемое и измеримое.

**Сгиб** – буквенное значение на глубине  $\frac{1}{2}(1+m)$ , где  $m$  – целая часть от глубины медианы, иначе говоря, четверть (квартиль).

**Сглаживание** – процесс разделения данной последовательности на плавную компоненту и неровности (при сложении которых вновь получается данная последовательность).

**Сдвиг** – постоянная величина, прибавляемая к подсчету перед вычислением логарифма или корня (или других функций).

**Сдвинутый подсчет** – в анализе произведений-отношений – базисный подсчет, увеличенный на единицу (вообще – базисный подсчет, увеличенный на какую-то константу).

**Семена** – предназначенный для посева семенной материал; собственно семена, плоды, части сложных плодов, соплодия, колоски, луковички, клубни.

**Семена карантинных сорняков** – семена особо вредоносных или отсутствующих в стране сорных растений согласно перечню, утвержденному Министерством сельского хозяйства РФ, присутствие которых не допускается в посевном материале.

**Семенная кожура** – наружная оболочка семени.

**Семенной контроль** – государственный внутрихозяйственный надзор за сортовыми и посевными качествами семян.

**Семенной рубчик** – место прикрепления семени к семяножке или семяноспу в период его формирования на материнском растении.

**Семеноводство** – отрасль сельскохозяйственного производства, обеспечивающая хозяйства высококачественными сортовыми семенами возделываемых культур.

**Семеноводческий посев** – посев, урожай с которого предназначен для размножения семенного материала районированных сортов и гибридов в целях обеспечения своевременного обновления сортовых семян и осуществления сортосмены.

**Семеноводческое хозяйство** – хозяйство, занимающееся производством сортовых семян, используемых для продажи в государственные ресурсы.

**Семья** – потомство одной особи у самоопыляющихся культур.

**Семя** – семяпочка, состоящая из зародыша и запаса питательных веществ, заключенная в оболочку.

**Сенокос** – участок земли, растительность которого скашивается для приготовления сена.

**Сенокосооборот** – система использования сенокосного угодья с чередованием по годам сроков скашивания, а иногда и выпаса скота.

**Серное удобрение** – удобрение, в котором действующим веществом является сера.

**Сжатая аппроксимация** – результат объединения аппроксимаций и вычисления медиан остатков, когда подогнанные значения «стр» (или «стл») получаются слишком близкими друг к другу.

**Сидерация** – повышение плодородия почвы путем запахивания в нее зеленого удобрения.

**Сила роста семян** – способность ростков пробиваться на поверхность почвы или заменяющего ее субстрата; характеризуется числом пробившихся ростков и их весом.

**Симбиотическая азотфиксация** – фиксация азота микроорганизмами, живущими в симбиозе с бобовыми и некоторыми не бобовыми растениями.

**Синергизм** – взаимодействие двух или нескольких организмов, химикатов или агентов, дающее более высокий общий эффект, чем арифметическая сумма эффектов этих компонентов.

**Синергистический эффект** – повышение общего эффекта от действия двух или нескольких химикатов (агентов) сверх арифметической суммы (аддитивности) их уровня воздействия на систему при совместном применении.

**Система семеноводства** – группа взаимосвязанных производственных единиц, обеспечивающих в соответствии с государственным планом потребность страны в высококачественных сортовых семенах какой-либо культуры или нескольких культур.

**Систематический метод** – размещение вариантов в такой последовательности, в какой они расположены в схеме опыта или же последовательности, запланированной исследователем для удобства в работе.

**Систематическое расположение** – расположение делянок в повторении или проб на делянке по одному и тому же порядку.

**Системный гербицид** – гербицид, способный передвигаться по растению и вызывать нарушения биохимических реакций в клетках или физиологических процессов растения в целом.

**Следовые количества** – незначительные концентрации вещества, измеряемые в пределах  $10^{-4}$ - $10^{-7}$  % или  $10^{-6}$ — $10^{-9}$ г или мл образца.

**Слеживаемость минерального удобрения** – свойство минерального удобрения образовывать фазовые контакты сцепления между зернами минерального удобрения при определенных внешних условиях.

**Сложное минеральное удобрение** – комплексное твердое или жидкое минеральное удобрение, в котором все частицы, кристаллы или гранулы имеют одинаковый или близкий химический состав.

**Сложно-смешанное удобрение** – удобрение, полученное смешиванием готовых однокомпонентных и сложных удобрений и введением в смесь жидких и газообразных продуктов.

**Случайная величина** (варианта, дата, случайная переменная, значение варьирующего признака) – отдельное измерение; значение случайной величины, ее величина обозначается буквой *X*.

**Случайная выборка** – выборка, когда любые индивидуальные наблюдения имеют равновеликую возможность быть в ее составе.

**Случайные ошибки** – ошибки, обусловленные неизвестными, непредвиденными исследователю факторами, и поэтому являются неизбежными. Они появляются под влиянием случайного варьирования плодородия почвы или же изменения особенностей многолетних растений.

**Смачивающийся порошок** (с. п.) – порошкообразный препарат, который содержит действующее вещество и поверхностно-активный компонент и при разбавлении водой дает устойчивую суспензию.

**Смесевая комбинация пестицида** – сбалансированная смесь пестицидов, приготовленная в заводских условиях.

**Смешанное минеральное удобрение** – комплексное минеральное удобрение, полученное путем механического смешивания готовых порошковидных, кристаллических или гранулированных удобрений.

**Снос гербицида** – перемещение и эрозия гербицида воздушным течением за пределы обрабатываемой площади при его применении.

**Совместимость пестицидов** – возможность совместного применения нескольких пестицидов, не оказывающего отрицательного влияния на защищаемое растение при высокой гербицидной активности.

**Совокупность** (в статистике) – множество относительно однородных, но индивидуально различимых единиц или элементов наблюдения, объединяемых по тем или иным признакам относительно принятых в опыте условий для совместного (группового) изучения.

**Совокупность средних** – совокупность всех возможных выборочных средних для определенного объема выборок, взятых из совокупности индивидуумов.

**Содержание элементов питания** – наличие элементов питания, усваиваемых растениями и растворимых в воде, нейтральном нитратном растворе, аммиачном нитратном растворе, растворе лимонной кислоты, 2 %-ном растворе муравьиной кислоты.

**Солевая вытяжка из почвы** – вытяжка, полученная в результате взаимодействия раствора соли с почвой.

**Сорбция** – общий термин, обозначающий процессы адсорбции и абсорбции.

**Сорбция элемента** – переход ионов с элемента из жидкой фазы в твердую фазу почвы.

**Сорт** – группа сходных по хозяйственно-биологическим свойствам и морфологическим признакам культурных растений, отобранных и размноженных для возделывания в определенных природных и производственных условиях с целью повышения урожайности и качества продукции.

**Сортирование семян** – разделение семенного материала на фракции с целью выделения полноценной части семян.

**Сортовой посев** – посев, принадлежность которого к данному сорту подтверждена документами на высевные семена и проведенной апробацией.

**Состояние** – то, что позволяет отличать элементы друг от друга.

**Сплит-плот** – схема расщепленных делянок в двухфакторном опыте.

**Сплит-сплит-плот** – схема расщепления делянок в трехфакторном опыте. Сплит-сплит-плот схема представляет дальнейшее развитие схемы расщепленных делянок (сплит-плот), где субделянки расщепляют на суб-субделянки для размещения третьего фактора.

**Сплошное опрыскивание гербицидом** – способ внесения рабочего раствора гербицида, при котором гербицид равномерно распределяется по всей обрабатываемой площади.

**Способ внесения удобрения** – прием внесения удобрения под сельскохозяйственную культуру.

**Сравнение** – установление различий между объектами материального мира или нахождение в них общего, осуществляемое как при помощи органов чувств, так и при помощи специальных устройств.

**Среднее** (выборочное среднее, среднее арифметическое, среднее выборки) – среднее арифметическое по всей выборке.

**Средний образец семян** – часть исходного образца семян, выделенная для лабораторного анализа.

**Средняя арифметическая** – обобщенная абстрактная характеристика совокупности в целом.

**Средняя величина** – типический размер признака совокупности объектов или динамического ряда.

**Средняя гармоническая** – используется в случаях, когда изучаемый признак находится в обратной пропорциональности к другому, связанному с ним функционально.

**Средняя геометрическая** – используется для изучения процесса во времени, например, изменения численности популяции вредителя, фитопатогена, роста растения и т. д.

**Средняя квадратическая** – корень квадратный из суммы квадратов дат, деленной на их число.

**Стандарт** – районированный и лучший сорт, который берется для сравнения на период изучения других сортов.

**Стандартная ошибка** – величина прямо пропорциональная выборочному стандартному отклонению  $s$  и обратно пропорциональная корню квадратному из числа измерений  $n$ .

**Стандартное отклонение** (средняя квадратическая ошибка измерений, квадратическая ошибка измерений, среднее квадратическое отклонение, квадратичное отклонение, основное отклонение) – среднее квадратическое отклонение измерений от среднего арифметического; характеризует средний размах варьирования измерений.

**Стандартный метод** – размещение контроля (стандарта) рядом с каждым опытным вариантом. Например, в опыте имеется три повторности и под номерами четыре варианта: 1, 2, 3 и 4, а рядом с каждым из вариантов размещается стандарт. Такое размещение, когда стандарт размещается через один вариант, называется ямб-методом. При этом на размещение стандарта отводится половина опытных делянок, что довольно много. Для уменьшения площади под контрольными делянками до одной третьей используют дактиль-метод, где контрольные делянки размещаются через две опытные.

**Статистическая вероятность** – частота появления ожидаемого события, равная отношению числа случаев, благоприятствующих данному событию, к общему числу всех возможных случаев; ее величина обозначается буквой  $P$ .

**Статистическая гипотеза** – 1) научное предположение о закономерностях распределения случайных величин; 2) научное предположение о тех или иных статистических законах распределения рассматриваемых случайных величин, которое может быть проверено на основе выборки.

**Статистическая группировка** – метод расчленения (разделения) сложного массового явления на существенно отличные группы для всесторонней характеристики их состояния, развития и взаимосвязей.

**Статистическая закономерность** – 1) закономерность, которая проявляется в массе наблюдений за результативными и факторными признаками; 2) объективная закономерность сложного массового процесса, проявляющаяся в итоге массового статистического наблюдения.

**Статистическая совокупность** – множество процессов, явлений, объектов, объединенных общей связью и обладающих как общими, так и отличительными признаками.

**Статистические показатели выборочной совокупности** – приближенные оценки параметров генеральной совокупности. Оценка их может быть точечная (представлена одним числом) или интервальная.

**Статистические признаки** – свойства, которыми обладают единицы статистической совокупности.

**Статическая прочность гранул минерального удобрения** – прочность гранул минерального удобрения, определяемая усилием разрушения гранул данного размера при одноосном сжатии между двумя параллельными плоскостями.

**Стационарный опыт с удобрениями** – полевой опыт с систематическим внесением удобрений, проводимый на одном участке в севообороте, в звене севооборота или при бессменной культуре.

**Стеблевой узел** – место сочленения листа и стебля.

**Стекловидные семена** – семена, имеющие почти прозрачную консистенцию с роговидной структурой в разломе.

**Степени свободы** – числа, показывающие количество свободно варьирующих элементов или членов статистической совокупности, способных принимать любые произвольные значения.

**Степенная кривая** – кривая, где  $Y$  является функцией некоторой степени  $X$ . Общий вид уравнения кривой такого типа записывается следующим образом:  $Y=aX^b$ .

**Степень насыщенности почвы основаниями** – отношение суммы поглощенных оснований к емкости поглощения катионов почвой.

**Степень подвижности фосфатов почвы** – величина, характеризующая способность фосфатов почвы переходить в раствор водной или слабосолевой вытяжек.

**Стерилизация почвы гербицидом общего действия** – применение гербицида общего действия в дозах, обеспечивающих полное уничтожение растительности на протяжении нескольких лет.

**Стойбище** (тырло) – место вблизи пастбища для стоянки скота во время дойки, отдыха и подкормки животных в пастбищный период.

**Стойкость гербицида в среде** – свойство гербицида сохраняться в объектах окружающей среды, противодействуя внешним факторам.

**Сток** – латеральное передвижение воды по поверхности почвы или внутри почвенно-грунтовой толщи.

**Сток ионный** – перенос поверхностными и/или грунтовыми водами растворенных минеральных и (или) органических соединений.

**Сток твердый** – перенос поверхностными водами частиц почвы.

**Стохастический** – случайный, вероятный.

**Сточные воды** – воды, отводимые после использования в производственной и бытовой деятельности.

**Структура урожая** – соотношение элементов урожая.

**Структурная «многомерная выборка»** – 1) совокупность измерений конкретного одного и того же числа свойств в образцах, отобранных по одной методике из предположительно однородной совокупности и потенциально доступных отбору и анализу; 2) измерения одного и того же свойства в повторных анализах, возможно разными методиками от повтора к повтору или же во временной динамике точек опробования.

**Субстрат** – компонент, используемый организмом для роста, или твердая поверхность, к которой прикрепляется организм; в том числе почвенный субстрат для выращивания растений.

**Суждение** – форма мышления, с помощью которого что-либо утверждают или отрицают.

**Сульфатредукция** – восстановление почвенных сульфатов до сульфидов в анаэробных условиях при достаточном содержании в почве органического вещества, осуществляемое с помощью сульфатредуцирующих бактерий.

**Сумма поглощенных оснований** – общее количество поглощенных оснований в почве.

**Суперфосфорная кислота** – коммерческое название полифосфорных кислот.

**Суперэлита** – предшествующее элите звено размножения потомства самых лучших отобранных растений, наиболее полно передающих все признаки и свойства возделываемого сорта.

**Суспендированное удобрение** – жидкое комплексное удобрение с добавлением стабилизирующих веществ (коллоидные глины), препятствующих кристаллизации удобрений.

**Схема опыта** – 1) совокупность опытных и контрольных вариантов, объединенных общей идеей; 2) совокупность всех вариантов, входящих в опыт и

сравниваемых между собой. Одни варианты включают изучаемые приемы (факторы), другие берутся для сравнения с ними и являются контрольными или стандартными вариантами.

**Счет** – нахождение числа, определяющего количественное соотношение однотипных объектов или их параметров, характеризующих те или иные свойства.

**Съемка гидрохимическая** – систематический отбор проб из водного объекта по заданной схеме.

**Сыпучесть минерального удобрения** – свойство минерального удобрения свободно сыпаться под воздействием гравитационных сил в условиях складского хранения.

## Т

**Таласофильность** – отношение элемента в океане к кларку земной коры.

**Твердые семена** – семена, которые не набухают при проращивании в стандартных лабораторных условиях определения всхожести.

**Творчество** – мышление в его высшей форме, выходящее за пределы известного, а также деятельность, порождающая нечто качественно новое.

**Темновое дыхание растений** – скорость выделения  $\text{CO}_2$  в темноте растением.

**Темп прироста** – отношение абсолютного прироста к предыдущему уровню, выраженное в процентах.

**Теорема Бернулли** – если производить серию испытаний, то с вероятностью, близкой к единице, можно ожидать, что число появлений события  $A$  будет очень близко к своему наивероятнейшему значению, отличаясь от него лишь на незначительную долю общего числа  $n$  произведенных испытаний.

**Теоретические исследования** – исследования включающие: анализ физической сущности процессов, явлений; формулирование гипотезы исследования; построение (разработку) физической модели; проведение математического исследования; анализ теоретических решений; формулирование выводов.

**Теоретическое распределение** – предполагает распределение измерений на основании теории вероятностей. К их числу относятся: нормальное (Гауссово) распределение, распределение Стьюдента ( $t$ -распределение),  $F$ -распределение, распределение Пуассона,  $\chi^2$ -распределение Пирсона, биномиальное.

**Теория** – метод, с помощью которого мысленно отражается и воспроизводится реальная действительность на основе данных практики и эксперимента. Это система взаимосвязанных знаний, позволяющая раскрывать основные закономерности развития изучаемого объекта с целью его преобразования в интересах человечества.

**Теория вероятностей** – раздел математики, в котором по данным вероятностям одних случайных событий находят вероятности других случайных событий, связанных тем или иным способом с первыми.

**Термическое обеззараживание семян** – обработка семян, основанная на применении высоких температур, губительных для инфекционного начала, но не повреждающих зародыш семени.

**Техническая (биологическая) эффективность гербицида** – уровень снижения засоренности (численности и/или массы сорняков) в посевах культуры, вследствие обработки гербицидом.

**Технические условия определения всхожести семян** – стандартные нормы проращивания семян, обеспечивающие единообразие в проведении анализов и воспроизводимость результатов.

**Техногенез** – совокупность геохимических и геофизических процессов, связанных с деятельностью человека.

**Техногенные элементы** – химические элементы, не обнаруженные в земной коре; их появление в биологических объектах связано с техногенезом.

**Технология внесения удобрения** – комплекс последовательных производственных операций по внесению удобрения.

**Технофильность** – отношение ежегодной добычи элемента к его кларку в земной коре.

**Типичность (репрезентативность)** – соответствие проведения опыта почвенно-климатическим и агротехническим условиям сельскохозяйственного производства данной зоны.

**Типичность опытного участка** – соответствие почв и рельефа участка свойствам почв, характерных для данного района или зоны, что позволяет распространять результаты опытов на аналогичные условия.

**Товарный знак** – помещаемые на товарах или употребляемые при их рекламе обозначения, отличающие данные товары от аналогичных товаров других предприятий.

**Токсичность** – вредное воздействие химических элементов или их соединений на живые организмы.

**Токсичность гербицида, фитотоксичность** – свойство гербицида в определенных дозах нарушать нормальную жизнедеятельность сорняков (и других растений) и вызывать их гибель.

**Толерантность** – способность организма сохранять жизнеспособность в условиях избытка элемента в окружающей среде.

**Торфожижевый компост** – компост, состоящий из смеси торфа и навозной жижи.

**Торфонавозный компост** – компост, состоящий из смеси торфа и навоза.

**Торфяной навоз** – подстилочный навоз, полученный при использовании торфа в качестве подстилки животным.

**Точка максимума** – горизонтальная координата наивысшей точки аппроксимирующей кривой (обычно не попадает в центр ячейки).

**Точность опыта** – 1) способность эксперимента выявить действительный эффект варианта; 2) точность, с которой определяется величина эффекта изучаемого варианта.

**Травмированные семена** – семена, имеющие физические повреждения (травмы), вызванные механическими или другими воздействиями.

**Трансгрессия** – явление, наблюдаемое при распределении двух выборок по числовым значениям одного и того же признака, когда частоты максимальных вариант одного ряда попадают в классы минимальных вариант другого ряда, образуя под вариационными кривыми двух рядов часть общей площади в одной и той же системе прямоугольных координат.

**Требования** – цель, к которой нужно стремиться в результате решения.

**Трек** – след, оставляемый заряженной частицей в веществе, регистрируемый трековыми детекторами частиц.

**Тренд** – изменение метеорологических величин в рядах наблюдений за рассматриваемый период; тенденция изменения тех или иных показателей.

**Тривиальное преобразование** – использование  $a+bx$  вместо  $x$  при некоторых фиксированных значениях  $a$  и  $b$ .

**Тяжелые металлы** – металлы с относительной атомной массой более 40.

**Тяжелые элементы** – группа химических элементов, имеющих плотность более  $5 \text{ г/см}^3$ .

## У

**Углеродное питание растений (фотосинтез)** – ассимиляция растениями углекислого газа из атмосферы с помощью солнечной энергии.

**Угол естественного откоса** – угол образующей конуса свободно насыпанного минерального удобрения с горизонтальной плоскостью.

**Удельная масса (плотность)** – отношение массы семян к их объему, исключая межсемянное пространство (г/мл).

**Удельная поверхность почвы** – площадь поверхности почвы массой 1 г.

**Удельная скорость фотосинтеза** – скорость видимого фотосинтеза в расчете на единицу сухой массы листа.

**Удерживаемость гербицида** – свойство гербицида сохраняться на срабатываемой поверхности защищаемого объекта или сорняков.

**Удобрение** – 1) органические или минеральные вещества природного или синтетического происхождения, которые вносят в почву для восполнения того или иного недостатка в одном или нескольких элементах; 2) мероприятия по сохранению или увеличению продуктивности почвы путем внесения удобрений или мелиорантов; техника применения удобрений и мелиорантов; 3) вещество для питания растений и повышения плодородия почвы.

**Удобрение с микроэлементами** – минеральное удобрение, содержащее макроэлементы и микроэлементы.

**Ультрамалообъемное опрыскивание** – нанесение жидкого препарата без разбавления препаративной формы в тонкодисперсном состоянии на обрабатываемую поверхность до 15 дм<sup>3</sup>/га.

**Ультрамикрорезлемент** – химический элемент, содержащийся в биологических объектах в количестве меньше 0,0001 % в расчете на сухое вещество.

**Умозаключение** – мыслительная операция, в процессе которой из взаимосвязанных последовательных суждений выводятся новые знания.

**Унифицированные критерии** – показатели и характеристики процессов, получаемые в результате стандартизованных исследований в регулируемом диапазоне флуктуаций.

**Уравнение** – аналитическая запись задачи о разыскании значений аргументов, при которых значения двух данных функций равны.

**Уравнение регрессии** – математическая формула, которая используется для расчета неизвестных показателей по другим известным.

**Уравнительный посев** – аналогичный рекогносцировочному, но без дробного учета урожая. Проводится с целью выравнивания плодородия почвы и для визуальной (глазомерной) оценки изменения плодородия почвы по состоянию посева.

**Уравновешенные растворы** – растворы, в которых соотношение солей подобрано таким образом, что односторонний вынос отдельных анионов и катионов компенсируется остающимися в растворе слабоусвояемыми ионами.

**Уровень доверительной вероятности (P)** – вероятность появления значения признака. Например, если уровень  $P_{0,95}$ , то вероятность появления признака составляет 5 случаев из 100, если  $P_{0,99}$ , то один случай из 100. Обратная величина уровня вероятности есть уровень значимости, т. е.  $1-P$ .

**Уровень значимости** – 1) риск сделать ошибочное заключение. В агрономических исследованиях допускается 5 и 1 %. Обозначается буквой  $P_1$ ; 2) показатели, используемые для проверки статистических гипотез, связанные с такими значениями вероятности, при которых появление ожидаемых событий в данных условиях считается практически невозможным. Чем меньше уровень значимости, тем меньше вероятность отвергнуть гипотезу. Обычно останавливаются на 5 %-ном или 1 %-ном уровнях значимости, которым соответствуют уровни вероятности  $P=0,05$  и  $P=0,01$ .

**Урожайность пастбища** – количество растительной массы, получаемой с единицы площади за весь пастбищный период.

**Урожайность сенокоса** – количество сена, получаемого с 1 га сенокоса за вегетационный период.

**Усвояемая форма микроэлемента** – микроэлемент почвенного раствора и частично почвенного поглощающего комплекса, доступный растениям.

**Условия** – определение информационной системы, из которой следует исходить при решении задачи.

**Устойчивость культурных растений к сорнякам** – природная способность культурных растений противостоять сорнякам за счет высокой конкурентоспособности, либо аллелопатической активности.

**Устойчивость сорняков к гербициду** – биологическое свойство сорняков сопротивляться отравляющему действию гербицида.

**Учет урожая сплошной** – метод учета урожая, при котором взвешивают и учитывают всю товарную часть продукции со всей площади каждой учетной деланки опыта.

## Ф

**F-распределение** – F-критерий определяется как отношение двух дисперсий и используется для выявления возможности допустить, что две величины дисперсий, установленные независимо одна от другой, являются оценками одной дисперсии. В дисперсионном анализе F-критерий используется для проверки отсутствия различий между средними, т. е. для ответа на вопрос: «Можно ли допустить, что средние по вариантам получены из выборочных совокупностей, имеющих одинаковые средние?». Это можно продемонстрировать на примере расчета F-критерия (фактического и табличного).

**Фаза развития растений** – изменение внешних признаков растений во время роста.

**Фактические потери от сорняков** – потери урожая хозяйственно ценной продукции растениеводства вследствие засоренности.

**Фактор** – 1) переменная величина, принимающая в некоторый момент определенное значение; 2) способ воздействия на объект исследования; 3) движущая сила совершающихся процессов или влияющие на эти процессы условия.

**Фактор безопасности** – соотношение между токсичной и допустимой нетоксичной концентрациями вредного химиката или агента.

**Фактор емкости элемента питания в почве** – абсолютное содержание соответствующего элемента питания в почве в доступной для растений форме.

**Фактор удерживания** – характеристика подвижности вещества при хроматографировании, равная отношению расстояния от стартовой линии до середины пятна вещества к расстоянию от стартовой линии до границы фронта растворителя.

**Факториальный анализ** – статистический метод, позволяющий анализировать корреляции между переменными величинами.

**Факториальный опыт** – многофакторный опыт, схема которого включает все возможные сочетания (комбинации) факторов, что позволяет установить действие и взаимодействие изучаемых факторов.

**Факторы абиотические** – свет, температура, влажность и другие параметры, прямо не зависящие от деятельности живых организмов.

**Факторы биотические** – факторы, обусловленные жизнедеятельностью различных представителей биоты.

**Фенофазы** – фазы развития растений, фиксируемые по морфологическим изменениям.

**Ферментативная активность почвы** – интенсивность превращения питательных элементов почвы под влиянием ферментов.

**Физико-химическая поглотительная способность почвы** – поглощение катионов и анионов путем ионного обмена.

**Физиологическая зрелость семян** – зрелость, при которой семена способны нормально прорасти и сформировать растение.

**Физиологически кислое удобрение** – удобрение, при внесении которого подкисляется почва из-за преимущественного использования растениями катионов.

**Физиологически щелочное удобрение** – удобрение, при внесении которого подщелачивается почва из-за преимущественного использования растениями анионов.

**Физическая модель** – экспериментальная система, предназначенная для имитации абиотических и биологических процессов.

**Физическая поглотительная способность почвы** – способность почвы удерживать на поверхности твердой фазы минеральные и органические вещества за счет адсорбционных сил.

**Физические свойства минерального удобрения** – совокупность физических, физико-механических и физико-химических свойств минерального удобрения, определяющих его поведение при хранении, транспортировании и внесении в почву.

**Фиксированный калий почвы** – поглощенной почвой калий, не вытесняемый растворами нейтральных солей.

**Фильтрация (просачивание)** – нисходящее передвижение влаги в почве.

**Фитомасса общая** – масса вегетирующих растений в (агро-) фитоценозе.

**Фитопатологический анализ семян** – определение зараженности семян патогенными организмами, с количественным учетом степени поражения ими и числа зараженных семян.

**Фитотоксичность почвы** – последствие остаточных количеств препарата на культуры севооборота.

**Фитоценоз** – растительное сообщество, характеризующееся сравнительно постоянным составом и закономерно возникающее при наступлении соответствующих условий.

**Фитоциды** – биологически активные вещества, образуемые растением, убивающие или подавляющие рост и развитие болезнетворных организмов и играющие важную роль в иммунитете растений.

**Флуоресценция семян** – свечение семян или их частей в ультрафиолетовом свете.

**Фон опыта** – агротехнические (физиологические) условия, на фоне которых проводят оценку изучаемых факторов.

**Фоновая концентрация** – концентрация вещества (уровень агента) в регионе при отсутствии импактных (узколокальных антропогенного или природного происхождения) источников поллютанта.

**Фоновые почвы** – почвы, сопоставление с состоянием которых позволяет установить и оценить превышение естественного уровня содержания контролируемых элементов и загрязнение почв на локальном, региональном и глобальном уровнях.

**Форма минерального удобрения** – характеристика вида удобрения по химическому составу.

**Форма распределения** – то общее, что присуще распределениям величин, получаемых в результате тривиальных преобразований данной величины.

**Формализация** – отображение объекта или явления в знаковой форме какого-либо искусственного языка (математики, химии и т. д.) и обеспечение возможности исследования реальных объектов и их свойств через формальное исследование соответствующих знаков.

**Формы соединений микроэлементов в почве** – химические соединения и физико-химические формы микроэлемента, перешедшие в химически точно охарактеризованную вытяжку при фиксированных условиях.

**Фосфорное удобрение** – удобрение, содержащее фосфор в усвояемой растениями форме.

**Фотолиз** – разложение ксенобиотика под действием инсоляции или искусственного света.

**Фотопериод** – продолжительность времени, в течение которого растения подвергаются освещению.

**Фоторедукция** – фотовосстановление вещества.

**Фотосинтетический коэффициент** – отношение объема выделенного в процессе фотосинтеза кислорода к объему поглощенного  $\text{CO}_2$ .

**Фракция семян** – семена, сходные по форме, размерам и другим признакам, выделяемые на решетках и другими приемами.

**Фундаментальные исследования** – исследования, направленные на открытие и изучение новых явлений и законов природы, на создание новых принципов исследования. Их целью является расширение научного знания общества, установление того, что может быть использовано в практической деятельности человека. Такие исследования ведутся на границе известного и неизвестного, обладают наибольшей степенью неопределенности.

**Функциональные уравнения** – общий класс уравнений, в которых искомой является некоторая функция.

**Функция** – признак, зависящий от другого признака – аргумента.

**Функция распределения** – формула или таблица, задающая накопленные доли в зависимости от порога.

## X

**Хелаты (комплексоны, комплексообразователи)** – вещества, образующие с металлом комплексную соль, в которой он закреплен по всем валентностям и пространственно находится внутри молекулы так, что его возможности вступления в реакцию снижаются.

**Хемосинтез** – процесс образования органических веществ из неорганических, при котором для восстановления углекислоты используется химическая энергия, получаемая при окислении некоторых минеральных веществ.

**Хемосорбция** – поглощение газов, паров, растворенных веществ жидкими или твердыми сорбентами с образованием на поверхности новой фазы или компонента.

**$\chi^2$ -распределение Пирсона.** Согласно закону, открытому в 1900 г. Пирсоном, теоретические частоты, как правило, не совпадают с эмпирическими частотами ряда. Поэтому возникает необходимость сопоставления эмпирических (полученных в эксперименте) частот с теоретическими. Для этого применяется критерий  $\chi^2$ , который представляет сумму квадратов отклонений эмпирических частот ( $f$ ) от теоретических ( $F$ ), отнесенную к теоретическим частотам:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f - F)^2}{F}, \text{ где } f \text{ и } F - \text{соответственно фактические и теоретические частоты численности объектов выборки.}$$

**Химическая защита растений** – защита растений от вредных организмов, в том числе посевов сельхозкультур от сорняков, с помощью химических средств.

**Химическая мелиорация почв** – улучшение физико-химических свойств кислых и солонцовых почв путем проведения известкования и гипсования почв.

**Химическая поглощательная способность почвы** – способность почвы переводить анионы и катионы почвенного раствора в труднорастворимые соединения.

**Химические методы отличия семян** – определение подлинности семян по изменениям, происходящим в них при воздействии различными химическими реактивами.

**Химический состав минерального удобрения** – состав минерального удобрения по содержанию питательных элементов, примесей и воды.

**Хозяйственная долговечность семян** – продолжительность периода, в течение которого семена остаются кондиционными по всхожести.

**Хозяйственная эффективность применения гербицида** – результат применения гербицида в полевых условиях, выраженный показателями количества и качества сохраненной сельскохозяйственной продукции.

**Холодное проращивание** – проращивание семян при пониженных температурах с использованием в качестве подстилки почвы (дополнительный к стандартному метод определения всхожести семян).

**Хроматография** – разделения веществ, основанное на распределении компонентов смеси между неподвижной и подвижной фазами.

**Хроматографический метод отличия семян** – определение подлинности семян цветным фотографированием внутренних структур.

## Ц

**Цель научного исследования** – всестороннее, достоверное изучение объекта, процесса или явления; их структуры, связей и отношений на основе разработанных в науке принципов и методов познания, а также получение и внедрение в производство (практику) полезных для человека результатов.

**Центральное отклонение (отклонение от среднего)** – разность между значением случайной величины и средним;  $\sigma = X - x$

**Цикл стравливания** – период однократного стравливания пастбища.

**Циркуляция гербицида в среде** – перемещение гербицида в среде (почва, растение) под влиянием физических и биологических факторов.

**Цитратно-растворимые фосфаты удобрения** – фосфаты удобрения, растворимые в щелочном растворе лимоннокислого аммония.

## Ч

**$\alpha$ -частицы** – ядра дважды ионизированных атомов гелия ( $^4\text{He}$ ).

**$\beta$ -частицы** – электроны и позитроны, испускаемые при  $\beta$ - распаде ядер и свободного нейтрона.

**Частный коэффициент корреляции** – показатель, измеряющий степень сопряженности двух признаков при постоянном значении третьего.

**Частость** – относительная частота встречаемости отдельных вариантов в данной совокупности, выражаемая в долях единицы или в процентах к общему числу наблюдений.

**Частота** – абсолютная численность отдельных вариантов, указывающая на то, как часто они встречаются в данной совокупности.

**Частота события** – отношение числа появления события к числу всех проведенных экспериментов, т. е. если в серии из  $n$  случайных экспериментов событие  $A$  произошло  $m$  раз, то частота этого события в данной серии равна  $m/n$ .

**Число степеней свободы** – число свободно варьирующих величин.

**Чистота семян** – весовое содержание в исследуемом образце (партии) семян основной культуры, выраженное в процентах.

**Чувствительность аналитическая** – минимальное содержание химиката, которое может быть установлено в пробе данным химическим, физико-химическим или инструментальным методами.

**Чувствительность метода** – способность прибора, регистрирующего аналитический сигнал, реагировать на изменение концентрации в пробе определяемого элемента (соединения, действующего вещества).

## Ш

**Шахматное расположение вариантов на делянках.** При двух- или многорядном расположении повторений на делянках варианты чаще всего размещают ступенчато; они идут в одном направлении, но в каждом следующем

ряду начало схемы сдвигают на одну, две или больше деленок, а конец ее переносят в начало ряда. Такое расположение опыта называют шахматным.

**Шиффовы основания** (азотометилловые соединения, азотометины) –  $RR'C=NR''$ , где R и R' = H, Alk (алкил), Ar (арил); R''=Alk, Ar. Маслообразные или кристаллические вещества, нерастворимы в воде, растворяются в органических растворителях. Слабые основания; разбавленными кислотами гидролизуются до аминов и альдегидов; в щелочной среде большинство устойчиво; гидролизуются до вторичных аминов, присоединяют многие соединения, содержащие водород. Со многими реагентами образуют гетероциклические соединения.

**Шнуровая книга учета семян** – книга, по которой ведется учет семян в хозяйстве.

## Щ

**Щиток** – видоизмененная по форме и физиологической функции семядоля однодольных растений, соединяющая зародыш и эндосперм.

**Щуплые семена** – семена, недостаточно выполненные (сморщенные) вследствие неблагоприятных условий развития.

## Э

**Эмиссия** – ввод вредных веществ в организм или растения.

**Эвапотранспирация** – суммарное испарение воды растениями и поверхностью почвы (воды).

**Эволюция** – историческое развитие живой природы, сопровождающееся образованием и вымиранием видов, преобразованием экосистем и всей биосферы в целом.

**Эвтрофикация** – избыточное обогащение водоемов органическими веществами.

**Экологическая агрохимия** – один из разделов учения об охране окружающей среды от загрязнения удобрениями.

**Экологический компонент** – энергия, атмосфера, вода, почва (субстрат); растения-продуценты или автотрофы, организмы-консументы или гетеротрофы (получающие энергию в процессе ассимиляции биоты) и редуценты (разлагающие органическое вещество до неорганических продуктов метаболизма).

**Экологический фактор** – любое условие среды, на которое живой организм реагирует адаптивными реакциями.

**Экологическое нормирование гербицида** – тест-схема поэтапного проведения экспериментов в целях оценки эффективности и экологической приемлемости технологий и регламентов применения гербицидов в агроценозах как открытых экосистемах: почва–вода–сорняк–культура.

**Экология** – биологическая дисциплина, изучающая взаимосвязь организмов с окружающей средой.

**Экономическая эффективность применения гербицида** – стоимость защищенной от сорняков сельскохозяйственной продукции за вычетом всех затрат на гербициды и их применение.

**Экономический порог вредоносности сорняков** – плотность популяции сорняков, вызывающая такую степень угнетения культурных растений, при которой применение защитных мероприятий экономически оправдано.

**Экосистема** – совокупность в биосфере организмов и неорганических компонентов, в которой осуществляется биотический круговорот веществ.

**Экосистема, система экологическая** – биологическое сообщество и связанные с ним абиотические факторы.

**Экотоксикология, токсикология окружающей среды** – научная дисциплина, предметом изучения которой является исследование поведения и превращения ксенобиотиков и природных токсичных веществ в экосистемах и ландшафтах.

**Экотоксикологический мониторинг** – система наблюдения и контроля за содержанием разнообразных поллютантов с целью оценки и прогноза состояния компонентов биосферы.

**Экофакторы, экологические факторы** – абиотические элементы экосистемы (свет, влажность, температура и другие), определяющие ее состояние.

**Экскреты** – вещества, вырабатываемые клетками и выделяемые во внешнюю среду.

**Экспедиционный метод** исследования чаще всего используется в плодоводстве. Это изучение плодовых насаждений в садах путем экспедиций с целью выявления роста растений и их урожайности, устойчивости к болезням и вредителям, морозо- и засухоустойчивости и других показателей продуктивности в зависимости от сорта и условий среды. Главным в экспедиционных исследованиях является соблюдение правила единственного логического различия. Основной учетной единицей в этих исследованиях служит пробная площадка на 400 посадочных мест плодовых растений, где для учета выделяется по три типичных дерева в каждой из трех групп – сильных, средних и слабых растений. Путем опроса специалистов, изучения документации хозяйств, а также непосредственного обследования почв и насаждений изучается реакция плодовых и ягодных растений на почву, подпочву, уровень залегания грунтовых вод, крутизну склона, верхнюю или нижнюю его часть, экспозицию, уровень агротехники.

**Эксперимент** – 1) одна из сфер человеческой практики, в которой подвергается проверке истинность выдвигаемых гипотез или выявляются закономерности объективного мира. В процессе эксперимента исследователь вмешивается в изучаемый процесс с целью познания, при этом одни условия опыта изолируются, другие исключаются, третьи усиливаются или ослабляются; 2) активные воздействия исследователя на изучаемый объект и его процессы в искусственных условиях в соответствии с целями опыта.

**Экспериментальная единица** (делянка в полевых опытах) – единица экспериментального материала, на которую распространяется действие варианта.

**Экспериментальное моделирование** – комплекс методических приемов, осуществляемых в лабораторных, вегетационных и полевых условиях, имитирующих процессы трансформации (разложение, метаболизм, сорбция), позволяющих установить причинно-следственные взаимосвязи факторов окружающей среды и вещества, определяющие «судьбу» препарата.

**Экстракция** – извлечение определяемого вещества из аналитической пробы посредством перераспределения в несмешивающихся фазах.

**Экстраполяция** – распространение результатов наблюдений или выводов, полученных на какой-то части изучаемого процесса, на другую его часть, остающуюся неизвестной.

**Экспесс** – крайнее проявление чего-либо (нарушение какого-либо нормального хода). В статистике случаи чрезмерной крутовершинности или, наоборот, плосковершинности вариационных кривых, рассматриваемые как отклонения рядов распределения от нормальной кривой.

**Элемент** – индивидуальный объект, который во всех последующих преобразованиях рассматривается как неизменный, несжимаемый, неделимый.

**Элемент питания** – элемент удобрения, необходимый для роста и развития растений.

**Элементарный почвенный ареал** – площадь, занятая однородным почвенным формированием, в пределах которой не могут быть выделены две или более таксономические группы почв.

**Элементы биогенные** – химические элементы, входящие в состав биогенных веществ.

**Элита** – потомство лучших отобранных растений данного сорта, наиболее полно передающее все его признаки и свойства.

**Элитно-семеноводческое хозяйство** – хозяйство, занимающееся выращиванием и размножением семян элиты и последующих репродукций районированных сортов.

**Эмерджентность** – новое свойство, которое система приобретает в результате ее функционирования и которым не обладал ни один из ее компонентов. У почвы таким новым свойством является ее плодородие.

**Эмпирический ряд регрессии** – двойной ряд цифр, включающий значения аргумента и соответствующие средние значения функции, полученные в опыте.

**Эмпирическое распределение** – это распределение результатов измерений, полученных при изучении выборки.

**Эндосперм** – ткань в семени растения, заполненная питательными веществами и находящаяся вне зародыша (у злаков отделенная от него щитком).

**Энергия прорастания семян** – показатель дружности прорастания семян, выраженный в процентах нормально проросших семян за определенный промежуток времени, установленный стандартом на методы анализа семян, более короткий, чем при определении всхожести.

**Энтомологический анализ** – определение зараженности семян вредителями.

**Эпикотиль** – участок стебля между семядолями к первым листьями (или почечкой).

**Эргономика** – наука, изучающая деятельность человека в условиях современного производства с целью оптимизации орудий, условий и процесса труда.

**Эффект взаимодействия удобрений** – эффект, полученный от совместного действия двух или большего числа питательных элементов, по сравнению с эффектом, полученным от отдельного их внесения.

**Эффективная доза гербицида** – доза гербицида (ЕД<sub>x</sub>) по массе или объему на единицу площади, вызывающая ингибирование роста и развития растения на x % по сравнению с контрольным вариантом.

**Эффективность удобрения** – показатель, характеризующий степень положительного влияния удобрения на урожай, его качество и плодородие почвы.

## Ю

**Ювенильность** – у растений состояние в период от появления проростка до начала цветения, в котором растения способны к усиленному образованию и росту вегетативных органов и еще не готовы к генеративному развитию.

## Я

**Явление** – отдельный факт, единичное событие.

**Явственный** – хорошо различимый, ясный.

**Яркий** – сильный и впечатляющий.

**Яровизация** – ускорение развития озимых форм однолетних и двулетних растений при предварительном воздействии на них определенного периода низких положительных температур.

**Ярус** – один из рядов расположенных друг над другом.

**Ясный** – логичный, стройный, четкий, хорошо видимый.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, ВИДЫ И УРОВНИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	6
1.1. Методологические основы научного познания.....	6
1.2. Выбор направления научных исследований.....	9
1.3. Уровни научных исследований.....	11
1.4. Методы научных исследований.....	12
1.5. Планирование и организация эксперимента.....	16
1.6. Законы научного земледелия .....	18
Вопросы .....	23
2 МЕТОДИКА АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	25
2.1. Лабораторный эксперимент .....	25
2.2. Вегетационный опыт .....	26
2.2.1. Почвенные культуры .....	32
2.2.2. Песчаные культуры.....	52
2.2.3. Водные культуры .....	71
2.2.4. Метод текучих растворов .....	88
2.2.5. Метод изолированного питания.....	91
2.2.6. Метод стерильных культур .....	94
2.3. Вегетационно-микрополевой опыт .....	96
2.4. Лизиметрические исследования .....	98
2.5. Гидропоника, аэропоника, агрегатопоника, плаstopоника .....	111
2.5.1. Гидропоника .....	111
2.5.2. Аэропоника .....	114
2.5.3. Агрегатопоника .....	116
2.5.4. Плаstopоника .....	117
2.6. Метод меченых атомов.....	117
2.6.1. Изотопы и радиоактивное излучение .....	117
2.6.2. Радиоизотопные индикаторы в почвенно-агрохимических исследованиях .....	133
2.6.2.1. Определение запаса элементов питания растений в почве .....	136
2.6.2.2. Изучение поглощения элемента почвой в зависимости от концентрации и времени взаимодействия .....	139
2.6.2.3. Определение емкости поглощения элемента почвой .....	142
2.6.2.4. Определение различных форм или фракций поглощенного элемента почвой по их растворимости .....	145
2.6.2.5. Изучение пространственного распределения и локализации элемента по профилю почвы .....	149
2.6.3. Радиоактивные индикаторы в биологических исследованиях .....	150
2.6.2.7. Изучение раздельного питания растений из удобрений и почвы.....	152
2.6.2.8. Определение распределения элемента питания по органам растения .....	153
2.6.2.9. Изучение скорости перемещения элемента питания по растению .....	155
2.6.2.10. Установление влияния способа внесения удобрения на время и интенсивность поступления элемента в растение .....	156
2.6.4. Стабильные изотопы в почвенно-агрохимических и биологических исследованиях.....	156
2.6.5. Меры безопасности при работе с $\beta$ -излучающими изотопами .....	162
2.7. Определение содержания в почве доступных растениям элементов питания методом Нейбауэра-Шнейдера и Митчерлиха .....	164

2.8. Полевой опыт .....	170
2.8.1. Требования к полевому опыту .....	176
2.8.2. Планирование эксперимента .....	181
2.8.3. Основные понятия и элементы методики полевого опыта.....	184
2.8.4. Особенности проведения полевого опыта .....	188
2.8.5. Методика проведения опытов по изучению отдельных агротехнических приемов .....	237
2.8.5.1. Изучение севооборотов .....	237
2.8.5.2. Изучение способов обработки почвы.....	240
2.8.5.3. Разработка способов предпосевного обогащения семян микроэлементами.....	242
2.8.5.4. Опыты по изучению нормы высева и глубины заделки семян, сроков и способов посева .....	246
2.8.5.5. Особенности проведения опытов в условиях орошения .....	251
2.8.5.6. Опыты по химической защите посевов от сорняков, болезней и вредителей.....	261
2.8.5.7. Методика полевых опытов по защите почв от эрозии.....	267
2.8.5.8. Опыты на сенокосах и пастбищах .....	273
2.8.5.9. Опыты с культурами защищенного грунта .....	280
Вопросы .....	290
3. АГРОХИМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПОЧВ И СОСТАВЛЕНИЕ КАРТОГРАММ.....	293
3.1. Законодательная база, цель и задачи агрохимического обследования почв .....	293
3.2. Методические указания по проведению агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий .....	300
3.2.1. Подготовка к агрохимическому обследованию почв.....	300
3.2.2. Отбор почвенных проб и их химический анализ .....	302
3.2.3. Радиоэкологическое обследование и определение содержания в почве микро- и ультрамикроэлементов.....	303
3.2.4. Составление и оформление агрохимических картограмм .....	305
3.2.5. Составление почвенно-агрохимического паспорта поля.....	307
3.2.6. Составление агрохимического очерка.....	308
3.3. Автоматизация аналитической оценки агрохимических данных .....	309
3.3.1. Составление электронных схем полей .....	309
3.3.2. Разбивка поля на элементарные участки .....	310
3.3.3. Построение маршрута отбора проб почв с привязкой к координатам .....	312
3.3.4. Отбор почвенных проб .....	312
3.3.6. Программное обеспечение .....	314
3.3.7. Агрохимический анализ почвы в лаборатории .....	314
3.3.8. Обработка результатов агрохимического анализа почвы и перенос карт дифференцированного внесения удобрений в терминалы техники .....	315
3.3.9. Автоматизация агрохимического обследования почв – качественно новый уровень информационного обеспечения прецизионных технологий .....	317
Вопросы .....	318
4. ФОТОГРАФИЯ – В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ .....	319
Вопросы .....	320
5. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	321
5.1. Предмет и методы математической статистики .....	321
5.2. Группировка первичных данных .....	324
5.3. Статистические показатели для характеристики совокупности .....	329

5.3.1. Ошибки репрезентативности .....	342
5.3.2. Проверка принадлежности варианты к данной совокупности .....	346
5.3.3. Интервальные оценки .....	350
5.4. Типы распределения .....	354
5.5. Критерии достоверности оценок .....	376
5.5.1. Параметрические критерии .....	377
5.5.2. Непараметрические критерии .....	384
5.5.3. Проверка гипотез о законах распределения .....	390
5.6. Корреляция и регрессия .....	398
5.7. Корреляционный и регрессионный анализ .....	403
5.7.1. Линейная корреляция и регрессия .....	404
5.7.2. Криволинейные зависимости .....	424
5.7.3. Множественная корреляция и регрессия .....	438
5.7.4. Корреляция качественных признаков .....	451
5.7.5. Корреляция между качественными и количественными признаками .....	452
5.8. Дисперсионный анализ .....	454
5.8.1. Оценка силы влияния факторов .....	460
5.8.2. Оценка значимости разности групповых средних статистического (дисперсионного) комплекса .....	462
5.8.3. Дисперсионный анализ данных вегетационного эксперимента .....	472
5.8.3.1. Однофакторный эксперимент .....	473
5.8.3.2. Многофакторный эксперимент .....	481
5.8.4. Дисперсионный анализ результатов полевого эксперимента .....	489
5.8.4.1. Однофакторный эксперимент .....	490
5.8.4.1.1. Эксперимент, поставленный методом рэндомизированных повторений .....	490
5.8.4.1.2. Эксперимент, поставленный методом латинского квадрата или латинского прямоугольника .....	496
5.8.4.1.3. Эксперимент с большим числом вариантов .....	502
5.8.4.2. Многофакторный эксперимент .....	511
5.8.4.2.1. Двухфакторный эксперимент, проведенный методом рэндомизированных повторений .....	514
5.8.4.2.2. Трехфакторный эксперимент, проведенный методом рэндомизированных повторений .....	518
5.8.4.2.3. Многофакторный эксперимент, проведенный методом расщепленных делянок .....	527
5.8.4.2.3.1. Схема расщепленных делянок – сплит-плот (двухфакторный опыт) .....	528
5.8.4.2.3.2. Схема расщепленных делянок, сплит-сплит-плот (трехфакторный опыт) .....	534
5.8.5. Дисперсионный анализ результатов опыта с повторными учетами (использование повторных учетов в качестве субделянок) .....	544
5.8.6. Дисперсионный анализ результатов опыта, проведенного в течение нескольких лет (объединение данных за два или большее число лет) .....	551
5.8.7. Преобразования исходных данных .....	555
5.8.7.1. Проверка соответствия данных предположениям дисперсионного анализа .....	558
5.8.7.2. Логарифмическое преобразование .....	564
5.8.7.3. Преобразования через квадратный корень .....	567
5.8.7.4. Преобразования через арксинус или угол .....	570
5.8.8. «Восстановление» выпавших данных .....	573

5.9. Ковариация и ковариационный анализ .....	581
5.10. Пробит-анализ .....	586
5.11 Кластерный анализ.....	592
Вопросы .....	602
Приложения	
1. Значения критерия Стьюдента $t$ .....	604
2. Арифметический треугольник .....	605
3. Значения интеграла вероятностей для разных значений $t$ .....	606
4. Значения функции $f_t = 12\pi e t^2$ (ординаты нормальной кривой).....	607
5. Значения критерия $F$ на 5%-ном уровне значимости (вероятность 95%).....	608
6. Значения функции $\psi Rn + 1$ .....	610
7. Критические значения $X$ -критерия Ван-дер-Вардена .....	612
8. Критические значения $z$ -критерия знаков при разных уровнях значимости $\alpha$ и объеме выборки $n$ .....	613
9. Критические значения $U$ -критерия Уилкоксона (Манна-Уитни) (односторонний критерий, $P=0,01$ ) .....	614
10. Критические значения парного $T$ -критерия Уилкоксона (односторонний критерий) .....	615
11. Значения критерия $\chi^2$ .....	616
12. Значения $z$ , соответствующие значениям выборочного коэффициента корреляции $r_{xy}$ .....	617
13. Значения величины $Q$ , соответствующие 5%-ному уровню значимости $\alpha$ и числу групп (градаций), входящих в дисперсионный комплекс .....	617
14. Коэффициенты для пересчета урожайности зерна (семян) при различной уборочной влажности на урожайность стандартной 14 %-ной влажности. ....	618
15. Коэффициенты для пересчета урожайности побочной продукции на стандартную 16 %-ную влажность.....	619
16. Коэффициенты для пересчета урожайности семян подсолнечника, льна и конопли на стандартную 12 %-ную влажность. ....	620
17. Коэффициенты для пересчета урожайности семян многолетних бобовых трав на стандартную 13 %-ную влажность.....	621
18. Коэффициенты для пересчета урожайности семян многолетних и однолетних злаковых трав на стандартную 15 %-ную влажность .....	622
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	623
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	640

**Асхад Хазретович Шеуджен  
Татьяна Николаевна Бондарева**

**АГРОХИМИЯ  
Часть 2.  
МЕТОДИКА АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по  
направлению «Агрохимия и агропочвоведение»

Подписано в печать 26.01.2015 г. Формат бумаги 70×108/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура таймс. Усл. печ. л. 76. Заказ № 892. Тираж 120.  
Отпечатано в типографии КубГАУ  
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13