

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

**А. Х. ШЕУДЖЕН, Н. И. АКАНОВА,
Т. Н. БОНДАРЕВА**

*Посвящается
светлой памяти академиков:
Ивана Тимофеевича Трубилина,
Евгения Павловича Алешина,
Василия Григорьевича Минеева,
Бориса Алексеевича Ягодина*

АГРОХИМИЯ

Часть 6.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АГРОХИМИЯ

Рекомендовано ученым советом факультета агрохимии и защиты растений
Кубанского государственного аграрного университета им. И.Т. Трубилина
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся
по направлению 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение»

Майкоп – 2018

УДК 631.8(075.8)
ББК 40.4я73
Ш 52

Рецензенты:

академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук,
Заслуженный деятель науки Российской Федерации
В.П. Ермоленко

член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Р.Ф. Байбеков

Ш 52 Шеуджен, А.Х. Агрехимия. Ч. 6. Экологическая агрохимия: учеб. пособие / А.Х. Шеуджен, Н.И. Аканова, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: ООО «Полиграф-ЮГ», 2018. – 575 с.

В учебном пособии рассмотрены фундаментальные положения экологической агрохимии: история становления и развития, методология, цель и задачи исследований, экологические функции. Теоретические положения данной области агрохимии излагаются в тесной связи с практическими вопросами применения в земледелии агрохимических средств. Вскрыты причины возможных негативных последствий нарушения технологического регламента применения агрохимических средств и предлагаются контрмеры по их минимизации. Приведены физиолого-экологические приемы повышения эффективности агрохимических средств, сохранения и улучшения окружающей среды.

Рассчитано на преподавателей, научных сотрудников, аспирантов, магистров и бакалавров, обучающихся по направлению «Агрехимия и агропочвоведение», а также специалистов, работающих в сфере наукоемких агротехнологий.

ISBN 978-5-7882-0245-7

© Шеуджен А.Х., Н.И. Аканова, Т.Н. Бондарева
Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина,
Всероссийский научно-исследовательский
институт риса, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Государству не может быть безразлично, как ведется хозяйство на его земле

Е.Н. Трубецкой, 1906

В настоящее время для развития науки необходима некая гибридизация разных специальностей

А. Сент-Дьёрды, 1937

Сложный комплекс фундаментальных и прикладных экологических проблем, связанный с исследованием агрохимических средств, потребовал выделения новой отрасли науки – экологической агрохимии как раздела агрохимии, изучающего комплексное воздействие агрохимических средств на биосферу и их экологические функции в агроэкосистемах.

В.Г. Минеев, 1988

За последние двести лет человечество прошло такой социально–экономический путь развития, который является небывалым на протяжении всей истории своего существования. Начав с изготовления каменных орудий, оно постепенно переходило к производству и использованию более сложных и совершенных инструментов из бронзы, позднее – из железа, создало механические двигатели, затем машины и, наконец, системы машин, на которых базируется современное производство. Человечество прошло путь от поклонения силам природы и подчинения им до сознательного преобразования природы и общества настолько, насколько оно познает законы их развития. Человек стал мощным, социально–организованным экологическим фактором, эффективность воздействия которого на окружающую природу растет в геометрической прогрессии по мере развития общества.

В наше время поистине пророчески звучат слова Ф. Энгельса [27]: «Не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой. За каждую такую победу она нам мстит. Каждая из таких побед, правда, в первую очередь приносит те последствия, на которые мы рассчитываем, но во вторую и третью очередь – совсем другие, которые очень часто уничтожают значения первых». Как говорится: «Всему свое время, и время всякой вещи под небом... Время разбрасывать камни, и время собирать камни» [Кн. Еккл. 3; 1–5].

«На Земле всегда будут происходить опустошительные войны... И смерть нередко будет делом борющихся сторон. С беспредельной злобой эти дикари уничтожат множество деревьев в лесах планеты, а затем обратят свою ярость на все, что еще найдется вокруг живого, неся ему боль и разрушение, страдания и смерть. Ни на земле, ни под землей, ни под водой не останется ничего нетронутого или неповрежденного. Ветер разнесет по всему миру лишенную растительного покрова землю и присыплет ею останки существ, наполнивших когда–то жизнью разные страны». Это леденящее душу пророчество принадлежит Леонардо да Винчи [17]. Так ли уж сильно он ошибался? Трагедии Хиросимы и Нагасаки подтвердили эту мрачную картину. Но для человечества грядет и другая катастрофа – экологическая. По мере геометрической прогрессии развития человечества с таким же темпом растут и побочные эффекты: истощение невозобновимых природных ресурсов, загрязнение окружа-

ющей среды, разрушение естественных экосистем и замена их антропогенными, нарушение исторически сложившихся равновесий во Вселенной. Если такие побочные эффекты не контролируются, то они наносят вред или непоправимый урон окружающей среде и самому человеку. В некоторых участках на земной поверхности эти побочные эффекты уже кумулятивно достигли такой степени, что среда обитания в них стала непригодной для жизнедеятельности живых организмов. Это проявления так называемого экологического кризиса: ситуация, возникающая в биоценозах в результате нарушения равновесия под воздействием стихийных природных явлений (наводнений, извержений вулканов, засухи, ураганов, смерчей, лесных пожаров, землетрясений...) или в результате воздействия антропогенных факторов (загрязнение человеком атмосферы, гидросферы, педосферы, разрушения экосистем, природных комплексов, лесные пожары, зарегулирование рек, вырубка лесов...) [20]. Еще в середине XIX столетия К. Маркс писал, что «культура, если она развивается стихийно, а не направляется сознательно... оставляет после себя пустыню» [11].

«Сегодня, – пишет С.Н. Залыгин [цит. по 4], – экология представляется мне как деятельность, направленная на преобразование всех остальных форм деятельности современного человека: управленческой, производственной, социальной, здравоохранительной – всех без исключения. Ибо человечество подошло к тому пределу, за которым, если не будет пересмотрена вся наша жизнь в пользу сохранения природы, мы неизбежно должны погибнуть. Критический момент наступил». Нам кажется, высказывание знаменитого писателя, достаточно точно отражает положение экологии в нынешнем мире.

Человек интересовался экологией с практической точки зрения с самых ранних периодов своей истории, т. е. с момента проявления зачатков трудовой деятельности. На стадии первобытного общества каждый индивидуум, для того чтобы выжить, должен был иметь определенные знания об окружающей среде, о силах природы, о растениях и животных, которые его окружали. Фактически цивилизация возникла тогда, когда человек научился использовать огонь и другие средства, позволившие ему изменять среду своего обитания. И теперь, если человечество хочет сохранить свою цивилизацию, оно более чем когда-либо нуждается в достаточно полных знаниях об окружающей среде, поскольку основные законы природы действуют по-прежнему; рост населения и расширение возможностей воздействия на среду лишь изменили их относительное значение и усложнили зависимость от них человека [16].

Подобно всем другим областям знаний экология развивалась непрерывно, но неравномерно. Знаменитые мыслители Древней Греции – Анаксимандр, Ксенофан, Эмпедокл, жившие в VI–V вв. до н.э., выдвинули первые теории о происхождении растений и животных, им же принадлежит первое осмысление связи растений со средой и мысль об эволюции животных в результате естественного отбора. Гиппократом (460–377 гг. до н.э.) были выдвинуты идеи о влиянии окружающей среды на здоровье живых организмов. Аристотель (384–322 гг. до н.э.) в сочинении «*О возникновении животных*» привел первую классификацию животных, имеющую экологическую окраску (приспособленность животных к условиям места обитания, зависимость их морфологических особенностей от условий окружающей среды, сезонная и суточная активность, особенности питания). Теофраст (372–287 гг. до н.э.) в труде «*Исследования о растениях*» описал около 500 видов растений, с уче-

том местообитания выделил их естественные группировки, практически заложив основы геоботаники. Плиний Старший (23–79 гг. н.э.), в многотомном трактате *«Естественная история»* обобщил данные по ботанике, зоологии и лесному хозяйству. К I в. н.э. относится и деятельность ученого–агронома из Древнего Рима Колумеллы, который уже хорошо знал значение удобрений и биологические особенности сельскохозяйственных растений.

Великие географические открытия в эпоху Возрождения способствовали дальнейшему развитию наук о природе. Освоение ранее неизвестных территорий было немыслимо без знаний о природе, которые позволяли человеку выжить в новых условиях. Европейские завоеватели на захваченных территориях, занимались изучением природных ресурсов, описанием растительного и животного мира, а также установлением влияния почвенно–климатических условий на жизнедеятельность живых организмов.

В эпоху Возрождения появились труды Альберта Великого (1206–1280) и Роджера Бэкона (1214–1294). В энциклопедии Альберта Великого в разделах *«О растениях»* и *«О животных»* даны детальные описания известных в то время видов живых организмов, приведены факты селекции растений, высказывается идея об изменяемости растений под воздействием окружающей среды. Р. Бэкон показал, что живые и неживые тела построены из одних и тех же материальных частиц, и живые организмы находятся в тесной зависимости от окружающей среды.

В начале XVII в. был изобретен микроскоп. С его помощью Антон ван Левенгук (1632–1723) изучал не только строение простейших организмов, бактерий и клеток крови, но и пищевые цепи, регулирование численности популяций, которые впоследствии стали неотъемлемыми разделами экологии. Французский натуралист Ж. Бюффон (1707–1788) в своем труде *«Естественная история»* высказывал мысли о единстве животного и растительного мира и их связи с естественной средой обитания.

Благодаря новым географическим открытиям естественные науки – ботаника, география, зоология, минералогия – пополнились огромным числом новых фактов, и это способствовало их бурному развитию. В XVIII в. эмпирические знания в области ботаники и зоологии были обобщены в работах, посвященных проблемам происхождения видового разнообразия, появились труды с попытками систематизировать животный и растительный мир. Так, шведский естествоиспытатель Карл Линней (1707–1778) в своем трактате *«Система природы»* представил основы научной систематики животных и растений и, выдвинув гипотезу о постоянстве видов, признал влияние условий жизни на многообразие животного и растительного мира.

Начало исследованиям по проблемам экологии положили Жан Батист Ламарк (1744–1828), Александр Гумбольдт (1769–1859) и Чарльз Роберт Дарвин (1809–1882).

Жан Батист Ламарк, наблюдая приспособленность разнообразных животных к среде обитания, в книге *«Философия зоологии»* впервые объяснил этот феномен влиянием среды обитания на организмы. В своем трактате *«Исследования причин главных физических явлений. Предварительные рассуждения»* он писал: «Все, что нас окружает, и все, что способны воспринять наши чувства, предстаёт перед нами в виде бесконечного множества разнообразных явлений, на которые обыватель смотрит, несомненно, с тем большим безразли-

чием, чем более обычными он их находит, но которые настоящий философ не может рассматривать без интереса. Удивительная деятельность царит во всей вселенной, которую не в состоянии ослабить никакая причина, и все существующее, кажется, вечно подчинено необходимому изменению».

Одним из первых естествоиспытателей, кто ощутил необходимость синтеза имеющихся знаний в области естественных наук при изучении природного комплекса, включающего живые и неживые элементы, был знаменитый немецкий ученый Александр Гумбольдт. Выдвигая задачу целостного изучения природы, он писал: «Я буду собирать растения и минералы, производить астрономические наблюдения при помощи превосходных инструментов, исследовать химический состав воздуха... Но все это не составляет главной цели моего путешествия. Мое внимание будет устремлено на взаимодействие сил, влияние неодушевленной природы на растительный и животный мир, их гармонию. Природа, рассматриваемая в целом, созерцание полей и лесов дает наслаждение, которое значительно отличается от того, которое вызывает анатомирование какого-либо организма или изучение его достойной удивления структуры. Здесь детали вызывают любознательность, там же целое оказывает действие на фантазию».

Книга Чарльза Дарвина «*Происхождение видов путем естественного отбора*» послужила биологическим фундаментом экологии. По мнению В.И. Вернадского, «история живого вещества, которая выражается в медленном изменении форм жизни и живых организмов, генетически между собой непрерывно связанных от одного поколения к другому без перерыва. Веками эта мысль поднималась в научных исканиях и, наконец, получила прочное обоснование в великих достижениях Ч. Дарвина. Она вылилась в учение об эволюции видов – растений и животных, в т. ч. и человека». Описание борьбы за существование и естественного отбора как основных процессов видообразования и взаимодействия не только организмов друг с другом, но и с окружающей неживой природой, явилось, как отмечено ранее, началом новой науки – экологии.

Возникновение термина «экология» следует, вероятно, отнести к середине XIX столетия. Само слово состоит из двух греческих слов (oikos – дом, logos – наука). Как отмечает Р. Ochier, [цит. по 21], термин «экология» встречается в частном письме Г.Д. Торо, датированным 1858 г., в следующем контексте: «М-р Гоар... занимается ботаникой и экологией, намереваясь поселиться в наиболее подходящей для него части страны». Однако заслуга введения этого термина в научный обиход, принадлежит известному немецкому биологу Эрнсту Геккелю после выхода в 1866 г. его труда, «*Всеобщая морфология организмов*». Экологией он назвал «общую науку об отношениях организмов к окружающей среде», к которой он отнес все условия существования организма в широком смысле слова. В другой, более поздней работе, «*Естественная история миротворения*» (1868), Э. Геккель дал следующее определение этой отрасли науки: «Это познание экономики природы, одновременное исследование всех взаимоотношений живого с органическими и неорганическими компонентами среды, включая непременно неантагонистические и антагонистические взаимоотношения животных и растений, контактирующих друг с другом. Одним словом, *экология* – это наука, изучающая все сложные взаимосвязи и взаимоотношения в природе, рассматриваемые Дарвиным как условия борьбы за существование». Итак, автор определения де-

лает ударение, с одной стороны, на экономику природы и, с другой – на взаимосвязи и взаимоотношения, существующие между окружающей средой и живыми существами. «Нет никакого сомнения, – пишет известный французский ученый–эколог П. Агесс [1], – что Э. Геккель, относя экологию к биологическим наукам, к науке о природе, которую прежде всего интересуют живые существа, изучает, но не с точки зрения коллекционера или систематизатора, все стороны жизни биологических организмов».

Такое понимание предмета экологии получило широкое распространение и принимается рядом ученых и в настоящее время. Вместе с тем, как при жизни Э. Геккеля, так и на протяжении всего последующего развития экологии, вокруг вопроса о предмете и статусе этой науки среди биологических дисциплин велась оживленная, а порой даже весьма острая полемика. И действительно, изучение отношений организмов с окружающей средой – уж очень общая формулировка, не позволяющая выделить специфику экологии как самостоятельной дисциплины в обширном семействе биологических наук.

Э. Макфедьен [10] выразил эту проблему в следующем полемическом заключении: «Приходится признать, что эколог – это некто вроде дипломированного вольнодумца. Он самовольно бродит по законным владениям ботаника и зоолога, систематика, физиолога, зоопсихолога, метеоролога, геолога, физика, химика и даже социолога; он браконьерствует во всех названных и во многих других уже сложившихся и почтенных дисциплинах. Ограничить сферу деятельности эколога – действительно важная проблема, и в ее решении заинтересованы прежде всего сами экологи».

Взаимоотношения организмов с окружающей средой изучаются на разных уровнях [30]:

1) *особь* – отдельный живой организм, обладающий всеми признаками, свойственными виду, к которому он принадлежит, и в то же время обладающий морфологическими и физиологическими особенностями, отличающими его от других организмов того же вида;

2) *популяция* – совокупность особей одного вида, имеющих общий генотип и населяющих определенное пространство, с относительно однородными условиями обитания;

3) *биогеоценоз* – участок земной поверхности, где на известном протяжении биоценоз и отвечающие ему части атмосферы, литосферы, гидросферы и педосферы остаются однородными и имеющими гомогенный характер взаимодействия между ними и поэтому в совокупности образующие единый, внутренне взаимообусловленный комплекс;

4) *экосистема* – совокупность совместно обитающих организмов и условий их существования, находящихся в закономерной взаимосвязи друг с другом и образующих систему взаимообусловленных абиотических и биотических явлений и процессов.

В зависимости от уровня рассматриваемого объекта точки зрения ученых на содержание экологии часто изменяются. Так, по Ю. Одуму [16] экология исследует биологию организмов и функциональные процессы на земле, в океане и пресных водах. Р. Риклефс [19] представляет экологию как трехмерное сооружение из лежащих один над другим горизонтальных слоев, соответствующих различным уровням биологической организации, – от индивидуума через популяцию и сообщество в экосистеме. В.Д. Федоров и

Т.Г. Гильманов [21] считают, что «экология изучает совокупность живых организмов, взаимодействующих друг с другом и образующих с окружающей средой обитания некое единство (т. е. систему), в пределах которого осуществляется процесс трансформации энергии и органического вещества». И.И. Дедю в «*Экологическом энциклопедическом словаре*» [5] дал следующее определение: «*Экология* – синтетическая биологическая наука о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания». Более полное определение этой отрасли знаний дал В. Лархер [9]: «*Экология* – это наука о взаимоотношениях и взаимодействии между различными живыми существами и окружающей средой, об обмене веществ и потоках энергии, которые делают возможной жизнь на Земле, и о приспособлениях организмов к изменяющимся условиям существования».

Сегодня обрабатываемые земли дают 88 % энергии, получаемой человеком с пищей, около 10 % ее люди получают от естественных лугов, пастбищ, лесов и 2 % дают ресурсы Мирового океана. С учетом того, что площадь агроэкосистем в мире превышает 10 % суши, односторонний техногенный подход интенсификации земледелия сопряжен с опасностью глобального нарушения экологического равновесия биосферы. Человечеству необходимо научиться вписываться в естественные циклы биосферы. Подобное заключение основано не только на данных агроэнергетического анализа, но и на реальном понимании того, что будущее человеческого общества и сохранение окружающей среды взаимосвязаны. Следовательно, выживание человечества зависит не столько от экономических, сколько от экологических факторов. Не случайно тенденция перехода к экологически обоснованному производству – всё более гармоничному взаимоотношению природы и общества доминирует сегодня практически во всех сферах производственной деятельности человека. Как справедливо отметил известный российский писатель В.Г. Распутин [цит. по 7]: «*Экология стала самым громким словом на Земле, громче войны и стихии... Звучащее на всех языках одинаково, оно выражает собой одно и то же понятие вселенской беды, никогда прежде на существовавшей в подобных масштабах и тяжести...*».

Негативные воздействия на окружающую среду оказывает и сельскохозяйственное производство. Современные агротехнологии уже достигли пределов «насыщения» в нескольких аспектах [8]:

- 1) экологическом (загрязнение природной среды и подавление механизмов ее саморегуляции);
- 2) энергетическом (экспоненциальный рост затрат невозполнимой энергии на каждую дополнительную единицу растениеводческой продукции);
- 3) продукционном (дальнейшее увеличение норм удобрений не приводит к росту продуктивности агроценозов, а способствует снижению их устойчивости к абиотическим и биотическим стрессам).

В результате всего этого сложилась парадоксальная ситуация: отрасль, базирующаяся на использовании растениями неограниченных и экологически безопасных ресурсов солнечной энергии, оказалась не только энергорасточительной, требующей всевозрастающих затрат невозполнимой энергии, но и источником загрязнения природной среды.

Экологизация всего сельскохозяйственного производства стала необходимой составляющей всей человеческой деятельности в этой сфере. После-

довательная реализация в агропромышленном комплексе экологических идей и принципов требует высокий уровень организации и хорошо отлаженный механизм управления, прежде всего в сфере практической деятельности. Академик А. А. Жученко [6], анализируя перспективы и проблемы развития сельского хозяйства в XXI в., выделил следующие ключевые факторы, обеспечивающие экологичность производственных аграрных систем:

1. Биологизация и экологизация интенсификационных процессов в сельском хозяйстве на основе новых фундаментальных и прикладных знаний;

2. Дифференцированное использование природных, биологических, техногенных, трудовых и других ресурсов, а также выработка агрономических приемов и технологий, адаптированных к местным условиям;

3. Конструирование высокопродуктивных, экологически устойчивых и эстетически полноценных агроэкосистем и агроландшафтов на основе увеличения видового и генетического разнообразия культивируемых видов и сортов растений; сохранение и создание новых механизмов и структур биоценотической саморегуляции, усиление замкнутости биогеохимических циклов;

4. Повышение способности культивируемых растений с наибольшей эффективностью утилизировать в процессе фотосинтеза ресурсы окружающей среды;

5. Расширение исследований по управлению адаптивными реакциями живых организмов на разных ступенях их развития и уровня формирования (от субклеточного до организменного, биоценотического и даже биосферного);

6. Существенное повышение как продукционной, так и средообразующей роли культивируемых видов и сортов растений, агроэкосистем и агроландшафтов.

Руководствуясь этими положениями, А.А. Жученко считает возможным обеспечить сбалансированность развития природы и человеческого общества в процессе сельскохозяйственного производства.

Экологически грамотное ведение сельскохозяйственного производства требует от земледельца глубоких знаний взаимодействия растений с окружающей средой на каждом поле, в каждом регионе и на планете в целом.

Важное место в экологизации земледелия отводится агрохимической науке. При грамотном, творческом и добросовестном использовании достижений этой науки агрохимия является величайшей производительной и интеллектуальной силой общества.

XX век, поразивший человечество научными достижениями, привел к развитию специализации и профессионализма. Необходимость обобщения и анализа накопленного набора фактов проявилась в обособлении множества частных дисциплин. Так в пределах агрохимии произошло размежевание экспериментальной [18; 24], фундаментальной [25] и прикладной [26]. Обрели самостоятельность история агрохимии [15; 22], методика агрохимических исследований [23; 28], агрохимический сервис [2; 3] и экологическая агрохимия.

Предвестником экологической агрохимии послужили основополагающие труды академика В.Г. Минеева *«Агрохимия и биосфера»* [19], *«Химизация земледелия и природная среда»* [14] и *«Экологические проблемы агрохимии»* [13]. Он же определил экологическую агрохимию, как раздел агрохимической науки, изучающий комплексное воздействие агрохимических средств на биосферу и их экологические функции в агроэкосистемах.

Выделение экологической агрохимии из области знаний нужно для дальнейшего развития диалектической взаимосвязи системы «почва–климат–

удобрение–растение» и оптимизации круговорота веществ в земледелии. Оно также необходимо для создания научно обоснованной и экологически безопасной системы удобрения культур в севооборотах, а также рационального использования естественного плодородия почвы. Обособление экологической агрохимии, как самостоятельной дисциплины оправдана в плане осмысления накопленных знаний в данной области знаний природоведческой информации с целью обеспечения устойчивого производства высококачественной сельскохозяйственной продукции, максимального использования биоэнергетического потенциала агроэкосистемы и исключения отрицательного воздействия агрохимических средств на окружающую среду. Экологическая агрохимия в данном случае может инициировать новые природоохранные идеи для последующих конкретных научных исследований. В связи с этим, как не вспомнить слова основоположника агрохимической науки Ю. Либиха: «Я занимаюсь новым вопросом о происхождении идей в естествознании. Я нахожу в истории исследования природы следующее: для того чтобы понять факты, нужно иметь в голове определенные идеи. Тысячи людей видят явления, вызванные определенной идеей».

По Б.А. Ягодину [29], *экологическая агрохимия* – это наука о расширенном, постоянно увеличивающемся круговороте веществ в агроценозах, изучающая на элементарном, молекулярном, клеточном, организменном, популяционном и биосферном уровнях химические взаимодействия растений с почвой и окружающей средой в целом. Им же определены и задачи экологической агрохимии:

1. Организовать внесение элементов питания в почву, определяемое точными расчетами, позволяющими максимально повысить их использование растениями, увеличивающими продуктивность посевов, снижающими потери элементов питания и загрязнение ими окружающей среды, а также улучшающими саму почву и повышающими ее плодородие:

2. Выдавать рекомендации по оптимизации круговорота биогенных элементов в сельскохозяйственных угодьях и естественных биоценозах, способствующих улучшению окружающей среды;

3. Осуществлять разработку методов определения параметров питания растений при добавлении в среду одних химических элементов и переводе в неусвояемые формы других с целью получения сельскохозяйственной продукции заданного элементного состава с учетом закона о генетически закрепленных коэффициентах усвоения поступивших в организм элементов питания;

4. Изучать регуляторные функции микроэлементов и их роль в реализации адаптивных свойств растений, механизмов поступления элементов в растения и их влияние на проницаемость клеточных мембран как важнейшего фактора жизнедеятельности растений;

5. Организовать постоянный территориально развитый мониторинг содержания элементов питания в удобрениях, почве, воздухе, поливной и питьевой воде, растениях и животных. Обеспечить дальнейшее получение знаний по элементному составу диеты человека с учетом наследственности, мест проживания и возрастных особенностей людей;

6. Проводить изучение причинно–следственных связей между изменениями внешней среды и возникающими в растениях явлениями, с тем, чтобы своевременно реагировать на любые нежелательные изменения в биохимических и физиологических процессах у растений, ведущие к нарушению

качества продукции. Фиксировать возникающие сдвиги в интенсивности отдельных биохимических реакций и физиологических процессов и изменение ряда процессов обмена и, как следствие, изменение количества и качества продукции, получаемой от данного вида;

7. Осуществлять определение оптимумов элементного состава различных сельскохозяйственных, лекарственных и интрадуцируемых растений в биогеохимических провинциях, организацию территориального размещения культурных растений в соответствии с картой биогеохимического районирования и имеющимися ресурсами содержания элементов;

8. Проводить выявление искусственных потоков элементов за счет перемещения посевного материала и пищевых продуктов по территории стран и континентов, оценку их размеров и сравнение с мощностью естественных биогеохимических миграций элементов, оценку влияния промышленности и другой хозяйственной и бытовой деятельности человека на изменение элементного состава сельскохозяйственных объектов в регионах, субрегионах и провинциях;

9. Регулировать с использованием естественной экологической обстановки целенаправленную корректировку элементного состава сельскохозяйственной продукции до оптимальных значений.

Агрохимику–экологу необходимо уметь предвидеть последствия применения агрохимических средств в земледелии, знать особенности поведения различных химических соединений при их попадании в окружающую среду, оценивать их воздействие на биосферу. Это особенно важно при разработке стратегии перехода к устойчивому развитию агропромышленного комплекса страны.

Цель предлагаемого читателю труда «*Экологическая агрохимия*» – выработать у студентов навыки и умения, используемые затем ими в практической деятельности для оценки эколого–агрохимических ситуаций в различных почвенно–климатических условиях.

Вопросы для самоконтроля

1. «Экология»: дайте определение.
2. Кто и когда ввел в науку термин «экология»?
3. Когда началась история экологии как науки?
4. Как воздействует сельскохозяйственное производство на окружающую среду?
5. Перечислите факторы, выделенные академиком А.А. Жученко, обеспечивающие экологичность производственных аграрных систем.
6. Каково значение экологических знаний для агрохимика?
7. Чем обусловлено возникновение экологической агрохимии?
8. Что изучает экологическая агрохимия?
9. Какие задачи решает экологическая агрохимия?
10. Какие научные труды академика В.Г. Минеева стали основополагающими для экологической агрохимии?
11. Какой вклад внес академик Б.А. Ягодин в развитие экологической агрохимии?

Литература

1. Агесс П. Ключи к экологии / П. Агесс. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 96 с.
2. Агрохимическое обслуживание колхозов и совхозов / Под ред. Л.М. Державина. – М.: Колос, 1976. – 216 с.
3. Агрохимия / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: «Агрохимэкодружество», 2017. – 854 с.
4. Вронский В.А. Прикладная экология / В.А. Вронский. – Ростов–на–Дону, 1996. – 512 с.

5. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь / И.И. Дедю. – Кишинев: Гл. ред. МСЭ, 1990. – 408 с.
6. Жученко А.А. Фундаментальные и прикладные научные приоритеты адаптивной интенсификации растениеводства в XXI веке / А.А. Жученко. – Саратов, 2000. – 276 с.
7. Коробкин В.И. Экология и охрана окружающей среды / В.И. Коробкин, Л.В. Передельский. – М.: Кнорус, 2014. – 336 с.
8. Куликов Я.К. Агроэкология / Я.К. Куликов. – Минск: Вышэйшая школа, 2012. – 319 с.
9. Лархер В. Экология растений / В. Лархер. – М.: Мир, 1978. – 384 с.
10. Макфедьен Э. Экология животных. Цели и методы / Э.Д. Макфедьен. – М.: Мир, 1965. – 375 с.
11. Маркс К. Сочинения. Т. 32 / К. Маркс, Ф. Энгельс. – 45 с.
12. Минеев В.Г. Агрохимия и биосфера / В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1984. – 245 с.
13. Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии / В.Г. Минеев. – М.: МГУ, 1988. – 285 с.
14. Минеев В.Г. Химизация земледелия и природная среда / В.Г. Минеев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
15. Минеев В.Г. История и состояние агрохимии на рубеже XXI века. В 3-х книгах / В.Г. Минеев. – М.: МГУ: Кн.1 2002. – 606 с.; Кн. 2, 2006. – 795 с.; Кн. 3, 2010. – 800 с.
16. Одум Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
17. «Правда». Газета № 186 (25538) от 4.06.1988 г. С. 7.
18. Проблемы экспериментальной агрохимии / Под ред. Г.П. Гамзикова. – Новосибирск: НовосГАУ, 2013. – 448 с.
19. Риклефс Р. Основы общей экологии / Р. Риклефс. – М.: Мир, 1979. – 424 с.
20. Розанов Б.Г. Основы учения об окружающей среде / Б.Г. Розанов. – М.: МГУ, 1984. – 376 с.
21. Федоров В.Д. Экология / В.Д. Федоров, Т.Г. Гильманов. – М.: МГУ, 1980. – 464 с.
22. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 1. История и методология агрохимии / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – 1279 с.
23. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 2. Методика агрохимических исследований / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 703 с.
24. Шеуджен А.Х. Агрохимия Часть 3. Экспериментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 755 с.
25. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 4. Фундаментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 529 с.
26. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 5. Прикладная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2017. – 860 с.
27. Энгельс Ф. Диалектика природы / Ф. Энгельс. – М.: Политиздат, 1982. – 359 с.
28. Юдин Ф.А. Методика агрохимических исследований / Ф.А. Юдин. – М.: Колос, 1980. – 366 с.
29. Ягодин Б.А. Агрохимия / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
30. Ярошенко П.Д. Основы учения о растительном покрове / П.Д. Ярошенко. – М.: Гос. изд-во геогр. литер., 1953. – 351 с.

1. ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

«Человек – это звучит – гордо» – такова проникнутая гуманизмом декларация М. Горького. «Природа, Природа-Мать» – звучит не менее гордо. Новая экологическая культура должна это признать. Уважение к природе – это одновременно и уважение к человеку.

А.К. Бродский

Природа – единственная книга, все страницы которой полны глубокого содержания.

И. Гете

1.1 Окружающая среда, как система

Живая материя имеет несколько иерархически связанных уровней организации:

- 1) *молекула* – наименьшая частица вещества, которая может существовать, сохраняя его химические свойства;
- 2) *клетка* – основная элементарная морфологически и физиологически обособленная структурная единица организма;
- 3) *орган* – часть многоклеточной особи, состоящая из закономерно сложного комплекса тканей и выполняющая определенную функцию;
- 4) *организм* – индивидуум, особь, живое существо, живая система, реальный носитель жизни, характеризующийся всеми ее свойствами;
- 5) *популяция* – группа особей одного вида, населяющая определенную территорию;
- 6) *биоценоз* – исторически сложившееся сообщество организмов, разных видов, населяющих определенный биотоп (естественное, относительно однородное жизненное пространство) и взаимодействующих между собой и с абиотическими факторами среды;
- 7) *биосфера* – область существования и функционирования живых организмов, охватывающая нижнюю часть атмосферы (аэросфера), всю гидросферу (гидробиосфера), поверхность суши (террабиосфера) и верхние слои литосферы (литобиосфера).

Результат взаимосвязи состояния живой материи с окружающей средой может проявляться на любом уровне организации жизни. Методологически необходимо различать два разных понятия: природная среда и окружающая среда.

Природная среда – часть окружающей среды, т. е. такие природные компоненты, существующие на Земле и вокруг нее, как материальные природные тела (вода, воздух, животные, растения, микроорганизмы, почва, минералы, горные породы, космос), явления (радиоактивное, гравитация, теплота, электричество, свет, звук) и соответствующие природные процессы (космические, геологические, климатические, биологические).

Окружающая среда – сложная поликомпонентная система, включающая в себя как многочисленные физические природные и искусственно созданные человеком компоненты и их многообразные связи и взаимодействия, так и социально-экономические компоненты и связи в их историческом развитии, и являющаяся подсистемой в более общей системе «человек – окружающая среда». Это те природные тела и явления, с которыми живое веще-

ство находится в прямых или косвенных отношениях. Понятия «окружающая среда» и «природная среда» объединены главной идеей об их естественной взаимосвязи с живыми организмами.

Свойствами окружающей среды, определяющими ее отношение к внешним воздействиям, являются устойчивость (гомеостатичность, стабильность, резистентность), эластичность, инерция, емкость, допустимые пределы изменений [15].

Устойчивость среды – это ее способность самосохранения и саморегулирования в пределах, не превышающих определенных критических величин, т. е. допустимых пределов изменений.

Эластичность среды – способность окружающей среды в известных пределах менять свое состояние под влиянием внешних факторов и возвращаться в исходное состояние при прекращении их действия.

Инерция среды – способность окружающей среды в определенных пределах противостоять действию внешних факторов без изменения своего состояния.

Емкость среды – способность окружающей среды абсорбировать без изменения своего состояния чужеродные воздействия внешних факторов.

Допустимые пределы изменений среды – пределы изменений окружающей среды, минимальные и максимальные критические величины параметров состояния среды, внутри которых она обладает устойчивостью и не разрушается.

Состояние окружающей среды обобщенно можно характеризовать рядом показателей, связанных с ее реакцией на воздействие внешних факторов, включая человеческую деятельность: возмущения в среде, загрязнение среды и аномалии в среде.

Возмущения в среде – временные случайные или периодические обратимые изменения параметров состояния окружающей среды, не приводящие к изменению ее состояния, т. е. эволюции или разрушению.

Загрязнение среды – поступление в природную среду любых твердых, жидких и газообразных веществ извне или генерируемых самой средой – самозагрязнение, а также микроорганизмов или энергий (в виде шумов, звуков, излучений) в количествах, превышающих природную (врожденную) способность среды к самоочищению от примесей (ассимиляции или инактивации их).

Аномалии в среде – локальные устойчивые количественные отклонения от фоновых параметров состояния окружающей среды, связанные с местными особенностями той или иной геосистемы.

Окружающие среды разнообразны по своей природе: биотическая, водная, воздушная, почвенная. Эти среды обитания обеспечивают свет, тепло, воду, воздух, питание, т. е. все необходимое для живых организмов. Это экологические факторы, т. к. они создают условия для жизнедеятельности организмов [7; 8; 14; 16].

1.2 Экологические факторы

Экологический фактор – это любой нерасчлняемый далее элемент среды, способный оказывать прямое или косвенное влияние на живые организмы хотя бы на протяжении одной из фаз их индивидуального развития. В данном определении следует отметить следующие критерии экологического фактора:

1. Нерасчлняемость данного элемента среды;
2. Действие экологического фактора может быть не прямым, а опосредованным, т. е. в этом случае он воздействует через многочисленные причинно-следственные связи.

Влияние экологического фактора зависит от природы, дозы, интенсивности и времени возникновения самого фактора, а также состояния организма. Можно разделить экологические факторы и по среде, в которой они действуют, и по уровню, на который воздействуют [4; 5; 10; 13].

Экологические факторы классифицируются по своей природе на:

I. *Абиотические* – компоненты и явления неорганической природы, прямо или косвенно воздействующие на организмы. Среди них различают:

а) *физические* – факторы, источником которых служит физическое состояние или явление (механическое, волновое, электромагнитное, магнитное, радиоактивное, свет, температура, течения и ветры, пожары);

б) *химические* – факторы, которые происходят от химического состава среды (химический состав воды, содержание кислорода в воздухе или в воде);

в) *эдафические* – совокупность свойств почв и почвообразующих пород, оказывающих воздействия на жизнь ценобионтов, т. е. особей, входящих в состав биоценоза;

II. *Биотические* – совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на жизнедеятельность других, а также на неживую среду обитания. Различают взаимодействия: внутривидовые – взаимоотношения между особями одного вида;

Возможны различные формы взаимоотношений:

а) *нейтрализм* – сожительство двух видов популяций, когда ни одна из них не испытывает влияние другой;

б) *конкуренция* – каждый из видов оказывает на другой неблагоприятное воздействие;

в) *мутуализм* – форма симбиоза, при которой каждый из организмов получает относительно равную пользу.

г) *протокооперация* – содружество между видами, когда присутствие одного из них благоприятно для другого, но отнюдь не является необходимым для его существования;

д) *комменсализм* – совместное существование организмов разных видов в условиях тесного пространственного контакта, при котором один из видов (комменсал) постоянно или временно живет за счет другого, не принося ему заметного ущерба;

е) *аменсализм* – взаимодействие, при котором одна популяция подавляет другую, но сама не испытывает отрицательного влияния;

ё) *паразитизм* – сложная форма отношений между двумя организмами разных видов, из которых один, называемый паразитом, использует другого, именуемого хозяином, как источник питания;

и) *хищничество* – выедание одних организмов другими, т. е. такое отношение двух любых групп организмов, при котором одна использует другую в пищу.

2) *межвидовые* – взаимодействия между организмами и особями разных видов.

III. *Антропогенные* – факторы, обязанные своим происхождением деятельности человека.

По времени возникновения на:

1. *Эволюционные* (палеофакторы) – факторы, порожденные эволюцией (озоновый экран в атмосфере);

2. *Исторические* – результаты деятельности человека (города, каналы, поля);

3. Действующие – современные факторы (мелиорация).

По уровню, на который действуют:

1. Генетические;
2. Физиологические;
3. Популяционные;
4. Биоценоотические;
5. Экосистемные;
6. Биосферные.

По среде, в которой действуют:

1. Атмосферные;
2. Гидросферные;
3. Педосферные.

По времени действия:

1. Периодические – циклически меняющиеся факторы (времена суток, года);
2. Аперiodические – внезапно возникшие факторы (мороз, шторм).

По порядку возникновения:

1. Первичные;
2. Вторичные.

Например, изменение солнечной активности (первичный экологический фактор) отражается на климате Земли (вторичный экологический фактор), который влияет на растительность и животный мир.

По характеру действия во времени:

I. *Стабильные* факторы. Не изменяющиеся в течение длительных периодов (сила тяготения, солнечная постоянная, состав и свойства атмосферы, гидросферы и литосферы, рельеф);

II. *Изменяющиеся* факторы.

1. *Изменяющиеся* закономерно, периодически вследствие движения солнечной системы (солнечная радиация, фотопериодизм, температура, приливы и отливы).

2. *Изменяющиеся* без строгой периодичности:

- а) *абиотические* факторы (ветер, осадки);
- б) *биотические* и *антропогенные* факторы.

В своем взаимодействии со средой все организмы должны поддерживать известное равновесие, или гомеостаз (греч.: *homeo* – тот же и *stasis* – состояние). Поддержание экологического гомеостаза осложняется тем, что он должен носить динамический характер, поскольку потребности организмов и окружающая среда непрерывно развиваются, а, следовательно, непрерывно изменяются взаимоотношения, между всеми компонентами природы.

Цикличность потоков веществ и энергии обеспечивает постоянное восстановление окружающей среды и поддерживает ее в состоянии, пригодном для существования живых организмов. Так, в результате гидрологического цикла живые организмы обеспечиваются водой, необходимой для их жизнедеятельности. Круговорот биогенных элементов также является своего рода источником жизни, поскольку в течение этих циклов осуществляется переход от неорганических к органическим формам их соединений, которые снова превращаются в неорганические. Нарушение естественного круговорота веществ приводит к негативным последствиям.

Результаты влияния экологических факторов могут сильно различаться, в зависимости от того, как – раздельно или в виде констелляции (совокупности) – они действуют.

Какими бы разными по природе ни были экологические факторы, результаты их действия экологически сравнимы, поскольку они всегда выражаются в изменении реакции организмов (рис. 1; [1]).

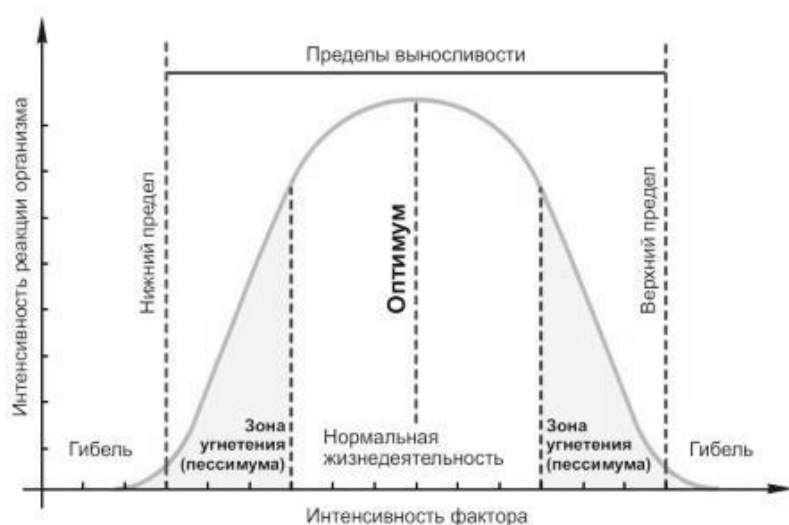


Рисунок 1 – Правило экологического оптимума

Рассмотрение зависимости жизнедеятельности организма от интенсивности фактора позволяет отметить следующие ее закономерности:

1) при определенных значениях фактора создаются условия, наиболее благоприятные для существования организмов; эти условия называются оптимальными, а соответствующая им область на шкале значений фактора – оптимумом (зона оптимума или комфорта);

2) чем больше отклоняются значения фактора от оптимальных, тем сильнее угнетается жизнедеятельность особей; в связи с этим выделяется зона их нормальной жизнедеятельности;

3) диапазон значений фактора, за пределами которого нормальная жизнедеятельность особей становится невозможной, называется пределами выносливости; различают нижний и верхний пределы выносливости.

Зоны оптимума для различных организмов неодинаковы. Организмы, имеющие значительный диапазон зоны оптимума в отношении всего комплекса факторов относятся к группе эврибионтов (греч. *eury* – широкий), а организмы с узким диапазоном адаптации – к группе стенобионтов (греч. *stenos* – узкий). Диапазон значений фактора между критическими точками называется экологической валентностью или толерантностью. Она охватывает диапазон от нижнего предела, или нижнего пессимума (ему соответствует экологический минимум на шкале значений фактора), до верхнего предела, или верхнего пессимума (экологический максимум).

Закон лимитирующего фактора лежит в основе теоретического обоснования величины *предельно допустимых концентраций* (ПДК) загрязнителей. Понятно, что применительно к загрязняющим веществам (ксенобиоти-

кам) нижний предел толерантности существенного значения не имеет, а верхний не должен превышать ни при каких условиях. Поэтому те пороговые значения фактора, при которых в организме еще не может произойти никаких необратимых патологических изменений, устанавливаемые экспериментально, и должны приниматься в качестве ПДК [1].

1.3 Предмет, задачи, структура и методы экологии

Воздействие природных факторов на живые организмы, а точнее – взаимодействие живых организмов со средой их обитания, рассматривается в науке «экология».

Предметом экологии является совокупность, или структура связей между организмами и средой. Главный объект изучения в экологии – экосистемы, т. е. единые природные комплексы, образованные живыми организмами и средой обитания. Кроме того, в область ее компетенции входит изучение отдельных видов организмов (организменный уровень), их популяций, т. е. совокупностей особей одного вида (популяционно-видовой уровень), и биосферы в целом (биосферный уровень).

Структура современной экологии в схематическом виде с методологических позиций представлена на рисунке 2 [2].

Выделяют крупные подразделения: общая экология (биоэкология), агроэкология, геоэкология, прикладная экология, экология человека и социальная экология.

Общая экология (биоэкология) изучает всеобщие закономерности взаимоотношений организмов, включая человека как биологическое существо, и среды [3; 5]. В составе общей экологии выделяют следующие основные разделы:

Аутэкология – раздел экологии, рассматривающий взаимоотношения отдельного организма (вида) с окружающей средой. Основная задача – выявление физиологических, морфологических и других приспособлений (адаптации) вида к различным абиотическим факторам (температура, режим увлажнения, засоление почвы). Многие положения аутэкологии используются в сельскохозяйственной практике (при выборе сортов растений и пород животных), в лесном хозяйстве, в области охраны редких и исчезающих видов растений и животных;

Демэкология (популяционная экология) – раздел общей экологии, изучающий структурные и функциональные характеристики, динамику численности популяций, внутривидовые группировки и их взаимоотношения, выясняющий условия, при которых формируются популяции;

Синэкология – раздел экологии, изучающий ассоциации популяций разных видов растений, животных и микроорганизмов (биоценозов), пути их формирования, их взаимодействие с окружающей средой. По отношению к растительным сообществам синэкология соответствует биоценологии и фитоценологии. Синэкология была выделена на Международном ботаническом конгрессе (1910). Термин предложил швейцарский ботаник К. Шрётер (1902).

Для всех этих направлений главным является изучение выживания живых существ в окружающей среде, и задачи здесь стоят преимущественно биологического свойства – изучить закономерности адаптации организмов и их сообществ к окружающей среде, саморегуляцию, устойчивость экосистем и биосферы. В изложенном понимании экология классифицируется по конкретным объектам и средам исследования, т. е. различают экологию животных, экологию растений и экологию микроорганизмов [6; 7; 11;12].

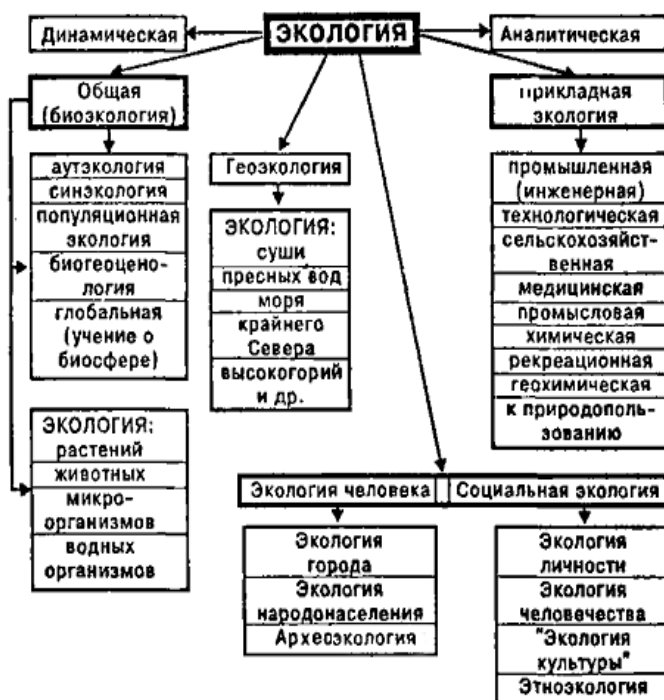


Рисунок 2 – Структура современной экологии

Геоэкология (ландшафтная экология) – научное направление, изучающее ландшафты путем анализа экологических отношений между растительностью и окружающей средой, структуру и функционирование природных комплексов, а также воздействие общества на природную составляющую ландшафтов с помощью баланса вещества и энергии. Геоэкология в своем арсенале имеет ландшафтную геоэкологию, экологическую географию, экологическую геологию, космическую экологию. Термин введен К. Троллем (1939) для обозначения пространственного взаимодействия природных явлений в рамках экотопа или экосистемы;

Прикладная экология – раздел экологии, занимающийся разработкой норм использования природных ресурсов, допустимых нагрузок на окружающую среду, способов экологизации различных отраслей хозяйства. В настоящее время довольно успешно развиваются следующие направления: промышленная (инженерная), технологическая, сельскохозяйственная (агроэкология), медицинская, химическая, рекреационная, промысловая. Прикладная экология базируется на системе законов, правил и принципов экологии и природопользования. Она является необходимым элементом хозяйственной деятельности на национальном (государственном) уровне. Включает экологическую экспертизу, оценку риска технологий, медицинского экологического риска.

Агроэкология – это комплексная научная дисциплина, изучающая взаимодействие человека с окружающей средой в процессе сельскохозяйственного производства, влияние сельского хозяйства на природные комплексы и их компоненты, взаимодействие между компонентами агроэкосистем и специфику круговорота в них веществ, перенос энергии, характер функционирования агроэкосистем в условиях техногенных нагрузок. Задачи агроэкологии [9]:

- 1) обеспечение устойчивого производства качественной биологической продукции;
- 2) максимальное использование природного биоэнергетического потенциала агроэкосистем;
- 3) сохранение и воспроизводство природно-ресурсной базы аграрного сектора;
- 4) исключение и минимизация негативного воздействия сельскохозяйственного производства на окружающую среду.

Социальная экология – наука, изучающая социальные аспекты взаимодействия человека (общества) с окружающей средой. Выделяют направления: экология личности, экология культуры, этноэкология и др. Так, экология культуры, в соответствии с определением Д.С. Лихачева, часть экологии, посвященная охране культуры, включая охрану культурных (исторических) ландшафтов, национальных пейзажей. Этноэкология изучает взаимосвязь населения с географической средой, формирующей этнос в ходе исторического процесса.

Антропоэкология (экология человека) – комплексная дисциплина, которая изучает общие законы взаимоотношения биосферы (ее компонентов) и человечества, его групп (популяций), влияние природной (в ряде случаев и социальной) среды на человека. При этом природные, экономические и социальные условия рассматриваются как одинаково важные составляющие среды жизни человека, обеспечивающие разные стороны его потребностей. Экология человека подразделяется на следующие составляющие: медицинская, эволюционная, социальная экология, а также археозоология, экология социальных групп, экологическая демография, экология культурных ландшафтов.

Все эти отдаленные отрасли знаний объединяет одно общее – их экологичность. Из приведенных выше определений очевидны и задачи экологии как науки [5]:

- исследование закономерностей организации жизни, в т. ч. в связи с антропогенными воздействиями на природные системы и биосферу в целом;
- создание научной основы рациональной эксплуатации биологических ресурсов, прогнозирование изменений природы под влиянием деятельности человека и управления процессами, протекающими в биосфере, и сохранение среды обитания человека;
- регуляция численности популяций;
- разработка системы мероприятий, обеспечивающих минимум применения химических средств борьбы с вредными видами;
- экологическая индикация при определении свойств тех или иных компонентов и элементов ландшафта, в т.ч. индикация загрязнения природной среды;
- восстановление нарушенных природных систем, в т.ч. рекультивация выведенных из использования сельскохозяйственных угодий, восстановление пастбищ, плодородия истощенных почв, продуктивности водоемов;
- переход от промысла к хозяйству;
- сохранение эталонных участков биосферы (разные формы заповедников).

Стратегической задачей экологии является развитие теории взаимодействия природы и общества на основе нового взгляда, рассматривающего человеческое общество как неотъемлемую часть биосферы. Экология создает фундамент для решения проблем в области рационального природопользова-

ния и охраны окружающей среды, что необходимо для создания благоприятных условий существования современной цивилизации.

Основные законы экологии, обоснованы и сформулированы Б. Коммонером [4] следующим образом:

Первый закон Коммонера. *Все связано со всем* (известно в физике как правило Маха). Все организмы являются составными частями и экологическими факторами природы Земли. Они взаимосвязаны друг с другом и с окружающей средой, что обеспечивает выполнение первого положения экологии. Именно взаимное влияние всех компонентов биосферы позволяет поддерживать равновесие в природе.

Второй закон Коммонера. *Все должно утилизироваться*. При условии существования в биосфере равновесия биогенов и энергии любой отход, любой компонент, участвующий в биотическом круговороте, используется, и в результате не происходит его накопления. В противном случае наблюдается загрязнение окружающей среды со всеми вытекающими последствиями.

Третий закон Коммонера. *Ничего не дается даром*. За все надо платить. Глобальная экосистема представляет собой единое целое, в рамках которого ничего не может быть выиграно или потеряно, не может быть объектом всеобщего улучшения; все извлеченное в процессе человеческого труда должно быть возмещено.

Четвертый закон Коммонера. *Природа знает лучше нас*. Она – наш учитель. Действительно, если не прислушиваться к природе, не соблюдать ее законов и правил, то последствия могут быть непредсказуемыми. Только единение с окружающим миром дает гарантии нормального существования. В этом немалую роль играет правильный учет и контроль воздействующих экологических факторов.

Среди других законов, принципов и правил выделяют следующие [12]:

1. Вещество, энергия, информация и качество отдельных природных систем взаимосвязаны настолько, что любое изменение одного из этих факторов вызывает функциональные, структурные, качественные и количественные перемены всех систем и их иерархии;

2. Слабые воздействия могут и не вызывать ответных реакций природной системы, но, накопившись, они приведут к развитию бурного, непредсказуемого динамического процесса;

3. Жизненные возможности лимитируются экологическими факторами, количество и качество которых близко к необходимому экосистеме минимуму, снижение их ведет к гибели организма или деструкции экосистемы;

4. Экосистема, потерявшая часть своих элементов, не может вернуться в первозданное состояние;

5. Сокращение естественной биоты в объеме, превышающем пороговое значение, лишает окружающую среду устойчивости, которая не может быть восстановлена путем создания очистных сооружений и перехода к безотходному производству;

6. Лимитирующим фактором процветания организма (вида) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, диапазон между которыми определяет величину выносливости (толерантности) организма по отношению к данному фактору;

7. Любая природная система может развиваться только за счет использования материально-энергетических и информационных возможностей окружающей среды. Абсолютно изолированное развитие невозможно.

Признание экосистемы специфическим предметом экологии с необходимостью приводит к тому, что методологической основой этой науки становится системный подход как особое направление исследования, ориентированное на изучение специфических характеристик сложноорганизованных объектов, многообразие связей между элементами, их разнокачественность и соподчинение. Системный подход выражается в стремлении построить целостную картину объекта. Основаны положения системного подхода можно найти в трудах естествоиспытателей уже XIX столетия. Полностью созвучными современным идеям системного подхода были, в частности, представления Юстуса Либиха, сформулированные им в 40-х гг. XIX в. В своих публичных выступлениях он неоднократно подчеркивал, что между всеми явлениями в минеральном, растительном и животном царствах, которые обуславливают существование жизни на поверхности Земли, имеется закономерная связь, благодаря чему ни одно явление не существует само по себе, в отдельности, но всегда в связи с одним или несколькими другими явлениями, которые, в свою очередь, находятся в цепи еще других явлений. «Все явления, – писал Ю. Либих [10], – связаны друг с другом без начала и конца; последовательная смена одних явлений другими, их возникновение и исчезновение подобны движению волн в круговороте. Мы рассматриваем природу как одно целое, и все явления представляются нам взаимно связанными, как узлы в сети. Исследовать явления – это значит отыскивать те нити, посредством которых данный узел в сети связан с двумя или тремя другими; если два явления постоянно возникают вместе или постоянно следуют одно за другим, мы отыскиваем ту связь, которая их соединяет. Т. к. всякое явление природы сложно, то есть состоит из частей, то первая и важнейшая задача естествоиспытателя заключается в том, чтобы распознать эти части и определить их природу и свойства, то есть их качества, и установить соотношения, существующие между ними».

В экологии применяют следующие методы исследований [5]:

1. Методы регистрации и оценки состояния среды. К ним относятся метеорологические наблюдения, измерения температуры, прозрачности, солености и химического состава воды, определение характеристики почвенной среды, измерения освещенности, радиационного фона, магнитной восприимчивости почв, определение химической и бактериальной загрязненности среды. К этой же группе относится также мониторинг – непрерывное слежение за состоянием экологических объектов и за качеством среды. Важными средствами экологического мониторинга, позволяющими в ряде случаев получить интегральную оценку качества среды, являются биомониторинг и биоиндикация – использование для контроля состояния среды некоторых организмов, особо чувствительных к изменениям среды и к появлению в ней вредных примесей.

2. Методы количественного учета организмов и методы оценки биомассы и продуктивности растений и животных. Для этого применяются подсчеты особей на контрольных площадках, в объемах воды или почвы, маршрутные учеты, отлов и мечение животных, наблюдения за их перемещениями с помощью телеметрии и другие средства вплоть до аэрокосмической регистрации численности стад, скоплений рыбы, густоты древостоя, состояния посевов и урожайности полей. Изучение динамики численности популяций потребовало введения в экологию методов демографии. Все это необходимо

для овладения управлением экосистемами, предотвращения гибели видов и сохранения биологического разнообразия и биопродуктивности экосистем.

3. Исследования влияния факторов среды на жизнедеятельность организмов. В их число входят различные, иногда сложные и длительные наблюдения в природе. Чаще всего применяются экспериментальные подходы, когда в лабораторных условиях регистрируется воздействие строго контролируемого фактора на те или иные функции растений или животных, а также анализируется применимость полученных на животных результатов к экологии человека.

4. Методы изучения взаимоотношений между организмами во многовидовых сообществах. Здесь важны натурные и лабораторные исследования пищевых отношений, пищевого поведения, опыты с переносом «меток», например, радиоактивных изотопов, с помощью которых можно определить – сколько органического вещества и энергии переходит от одного звена пищевой цепи к другому: от растений к травоядным животным, от травоядных – к хищникам.

5. Методы математического моделирования. Их используют для управления и прогнозирования. Существуют близкие к реальным процессам математические модели техногенных эмиссий, распространения загрязнителей в атмосфере, самоочищения реки. Реальные объекты экологии очень сложны и с трудом поддаются строгому математическому описанию даже при значительном упрощении задач.

Экспериментальные методы оценки состояния окружающей среды позволяют провести анализ влияния на нее естественных и антропогенных воздействий.

Многие методы исследования свойственны только экологии. К ним, прежде всего, относится метод экологических рядов Б.А. Келлера, применяемый в тех случаях, когда условия среды быстро меняются, вследствие чего одна растительная ассоциация быстро сменяется другой. К экологическим методам исследования относится также метод профилей, применяемый при исследовании растительности в горах и местностях с сильно расчлененным рельефом. Большинство методов исследования биогеоценозов и популяций относятся также к экологическим методам.

Проблемы экологии чрезвычайно многообразно связаны с благосостоянием человеческого общества. Эти связи можно сгруппировать и проанализировать в трех главных направлениях: интенсификация ресурсов биосферы; охрана природы, объединяющая учет существующих ресурсов и систему мероприятий, которые должны воспрепятствовать людям загрязнять или разрушать окружающую их среду, и наконец, познавательные функции, включающие изучение среды и раскрытие ее значения для человека, что должно изучать его относиться с уважением ко всему его окружающему.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите и охарактеризуйте уровни организации живой материи.
2. Дайте определение понятиям природная среда и окружающая среда. В чем их отличие?
3. Какие свойства окружающей среды определяют ее отношение к внешним воздействиям?
4. Какие вещества называются «загрязнителями»?
5. Дайте определение понятию «экологический фактор».

6. Охарактеризуйте экологические факторы. Как их классифицируют?
7. Какие законы экологии вы знаете?
8. Что изучают аутоэкология, демэкология и синэкология?
9. Кто ввел в науку термин синэкология?
10. Дайте определения понятиям геоэкология, агроэкология, антропоэкология, прикладная экология и социальная экология.
11. Какие задачи решает агроэкология?
12. Что является стратегической задачей экологии?
13. Какие методы используются в экологии?
14. Какие методы исследований свойственны только экологии?

Литература

1. Бродский А.К. Краткий курс общей экологии / А.К. Бродский. – СПб: ДЕАН, 2000. – 224 с.
2. Вронский В.А. Экология и окружающая среда / В.А. Вронский. – М.: НКЦ «МарТ», 2008. – 432 с.
3. Дажо Р. Основы экологии / Р. Дажо. – М.: Прогресс, 1975. – 415 с.
4. Егоров В.В. Экологическая химия / В.В. Егоров. – СПб: Лань, 2016. – 192 с.
5. Елисеева Н.В. Экология / Н.В. Елисеева, Н.В. Чернышева, И.И. Имгрунт, В.В. Стрельников. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2004. – 196 с.
6. Колесников С.И. Основы экологии для инженеров / С.И. Колесников. – Ростов-на-Дону: «Феникс», 2003. – 352 с.
7. Коробкин В.И. Экология и охрана окружающей среды / В.И. Коробкин, Л.В. Передельский. – М.: Кнорус, 2014. – 336 с.
8. Кортэ Ф. Экологическая химия / Ф. Кортэ, М. Бахадир, В. Клайн и др. – М.: Мир, 1997. – 396 с.
9. Куликов Я.К. Агроэкология / Я.К. Куликов. – Минск: Вышэйшая школа, 2012. – 319 с.
10. Либих Ю. Письма о химии: В приложении к земледелию и физиологии / Ю. Либих. – М.: Книж. Дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 432 с.
11. Новиков Г.А. Основы общей экологии и охрана природы / Г.А. Новиков. – Л.: Изд-во Ленинг. ун-та, 1979. – 352 с.
12. Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда и человек / Ю.В. Новиков. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2005. – 736 с.
13. Поплавская Г.И. Экология растений / Г.И. Поплавская. – М.: Советская наука, 1948. – 295 с.
14. Рамад Ф. Основы прикладной экологии / Ф. Рамад. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 543 с.
15. Розанов Б.Г. Основы учения об окружающей среде / Б.Г. Розанов. – М.: МГУ, 1984. – 376 с.
16. Экология / Под ред. Ю.И. Житина. – М.: Академический проект, 2008. – 283 с.

2. ПРИРОДНАЯ СРЕДА И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ

2.1 Атмосфера

Прежде всего про четыре узнай мироздания начала: воздух, огонь, жизнетворную почву и влагу, чьею струею родник бытия создается для смертных.

Эмпедокл

Для того, чтобы понимать и чувствовать природу, недостаточно видеть, необходимо знать науку о ней.

А.П. Платонов

Атмосфера Земли (от греч. *atmos* – пар и *sphaira* – шар), газовая оболочка Земли, связанная с ней силой тяжести и принимающая участие в ее суточном и годовом вращении. Масса атмосферы составляет около $5,15 \cdot 10^{15}$ т.

Через атмосферу осуществляется обмен вещества нашей планеты с Космосом, при этом Земля получает космическую пыль и метеоритный материал, а теряет – водород и гелий. Атмосфера насквозь пронизывается радиацией Солнца, которая обуславливает тепловой режим педосферы и служит источником энергии всех природных процессов. Главными составляющими атмосферы являются: азот, кислород, аргон и диоксид углерода. Остальные компоненты находятся в незначительных количествах (табл. 1; [8]).

Таблица 1 – Концентрация и общее количество газов в атмосфере

| Вещество | Объемная концентрация в чистом сухом воздухе на уровне моря | Общее количество в атмосфере (10^9 т) |
|-----------------------------------|---|--|
| Азот (N ₂) | 78,084 % | 3 900 000 |
| Кислород (O ₂) | 20,9476 % | 1200000 |
| Аргон (Ar) | 0,934 % | 67000 |
| Водяной пар (H ₂ O) | Не учитывается | 14000 |
| Оксид углерода (CO ₂) | 346 млн ⁻¹ | 2600 |
| Неон (Ne) | 18,18 млн ⁻¹ | 65 |
| Криптон (Kr) | 1,14 млн ⁻¹ | 17 |
| Метан (CH ₄) | 2 млн ⁻¹ | 4 |
| Гелий (He) | 5,24 млн ⁻¹ | 4 |
| Озон (O ₃) летом | <0,07 млн ⁻¹ | 3 |
| Озон (O ₃) зимой | <0,02 млн ⁻¹ | – |
| Ксенон (Xe) | 0,087 млн ⁻¹ | 2 |
| Оксид азота (N ₂ O) | 0,5 млн ⁻¹ | 2 |
| Моноксид углерода (CO) | Следы | 0,6 |
| Водород (H ₂) | 0,5 млн ⁻¹ | 0,2 |
| Аммиак (NH ₃) | Следы | 0,02 |
| Оксид азота (NO ₂) | <0,02 млн ⁻¹ | 0,013 |
| Оксид азота (NO) | Следы | 0,005 |
| Диоксид серы (SO ₂) | <1 млн ⁻¹ | 0,002 |
| Сероводород (H ₂ S) | Следы | 0,001 |

С высотой состав атмосферного воздуха изменяется незначительно. Однако начиная с высоты около 100 км, наряду с молекулярным кислородом и азотом появляется и атомарный в результате фотодиссоциации молекул, и начинается гравитационное разделение газов. Выше 300 км в атмосфере преобладает атомарный кислород, а за 1000 км – гелий и затем атомарный водород. При этом, начиная с высот до 90–100 км, часть молекул и атомов атмосферных газов, в частности кислорода и водорода, является ионизированной, т. е. несет электрические заряды.

Давление и плотность атмосферы заметно снижаются с высотой: около 50 % всей массы атмосферы сосредоточено в слое 5 км, 9/10 – в 0–20 км и 99,5 % – в 0–80 км слое. На высотах приблизительно 750 км плотность атмосферы уменьшается до 10^{-10} г/м³. У земной поверхности ее плотность составляет 10^3 г/м³, но и такая небольшая плотность еще достаточна для возникновения полярных сияний. Резкой верхней границы атмосфера не имеет; плотность составляющих ее газов постепенно приближается к плотности газов межпланетного пространства. На высотах от 2 до 20 тыс. км, в так называемой земной короне, в среднем содержится около 1000 ионизированных частиц на каждый см³, а в межпланетном пространстве за пределами короны в каждом см³ содержится не более 100 частиц, т. е. протонов и электронов.

В вертикальном направлении атмосферу по распределению температуры с высотой разделяют на ряд основных слоев: тропосфера (до 9–17 км), стратосфера (до 50–55 км), мезосфера (до 80–85 км), термосфера (начиная с высоты 80–90 км). По физико-химическим процессам выделяются озоносфера (10–50 км), нейтросфера (от земли до 70–80 км), ионосфера (выше 70–80 км), хемосфера (от стратосферы до нижней части термосферы). По кинетическим процессам выделяются экзосфера (выше 600–1000 км) и земная корона (выше 2000 км); по составу – гомосфера (до 90–100 км) и гетеросфера (выше 90–100 км).

Между атмосферой и педосферой происходит постоянный теплообмен, что вместе с циркуляцией атмосферы влияет на многие климатообразующие процессы. Атмосфера – активный агент физических процессов, протекающих на суше и в верхних слоях водоемов (выветривание, морские течения...). Она играет незаменимую роль и в развитии жизни на Земле. Слой атмосферы до озонового экрана входит в состав биосферы.

Жизнь организмов невозможна без атмосферного воздуха. Так, если человек без пищи может прожить несколько недель, без воды – несколько дней, то без воздуха не более 5 минут. Состав атмосферного воздуха практически идентичен в разных областях земного шара вследствие интенсивных процессов диффузии и массопереноса. Однако под воздействием антропогенных факторов, т. е. факторов, обязанных своим происхождением деятельности человека, содержание диоксида углерода, метана, оксидов азота, фреонов и других газов в атмосфере Земли резко возросло, что привело к возникновению ряда экологических проблем. К таковым относятся:

1) парниковый эффект – постепенное потепление климата на нашей планете в результате увеличения в атмосфере антропогенных примесей – CO₂, CH₄, O₃, оксида азота, фреонов;

2) разрушение озонового слоя – разрушение озонового экрана, т. е. слоя атмосферы на высоте 10–50 км с максимумом концентрации озона, задерживающего проникновение к поверхности Земли наиболее жесткого ультрафиолетового излучения Солнца, губительного для всего живого;

3) кислотные дожди – выпадение осадков, имеющих $pH < 5,6$.

Основными источниками загрязнений атмосферы, прежде всего, являются автомобильный и авиационный транспорт, энергетика, предприятия черной и цветной металлургии, химической и нефтехимической промышленности (рис. 3).



Рисунок 3 – Источники загрязнения атмосферы

Развитие социально-экономической инфраструктуры городов сопровождается повышением интенсификации производственного процесса промышленных предприятий. Следствием роста производства является многокомпонентное загрязнение атмосферы. Масштабы его ощутимы: выброс диоксида углерода за 1 год составляет 20 млрд. т (приблизительно 0,7 % CO_2 , содержащегося в атмосфере); выброс диоксида серы – 200 млн. т (более чем в 2 раза превышает естественное поступление в атмосферу серы в форме газообразных соединений); выброс фреонов – 1 млн. т; выброс свинца – 0,4 млн. т (более чем на 2 порядка превышает поступление из природных источников). За последние 100 лет выбросы диоксида углерода в атмосферу возросли в 30 раз, свинца – в 20 раз, диоксида серы – в 15 раз (табл. 2; [2]).

Таблица 2 – Соотношение между естественным и антропогенным поступлением веществ в атмосферу

| Вещество | Природное | Антропогенное |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| | т/год | |
| Озон | $2 \cdot 10^9$ | незначительно |
| Двуокись углерода | $7 \cdot 10^{10}$ | $1,5 \cdot 10^{10}$ |
| Окись углерода | – | $2 \cdot 10^8$ |
| Сернистый газ | $1,42 \cdot 10^8$ | $7,3 \cdot 10^7$ |
| Соединения азота | $1,4 \cdot 10^9$ | $1,5 \cdot 10^7$ |
| Взвешенные вещества | $770-2200 \cdot 10^6$ | $960-2615 \cdot 10^6$ |

Российская Федерация не является основным поставщиком поллютантов (вещество, загрязняющее среду жизни, от англ. – *pollution*, от лат. – *pollutio* – мариане, рус. эквивалент и синоним – загрязнитель) в атмосферу. В частности, ее вклад по диоксиду серы составляет 12 % (США – 21 %), оксидам азота < 6 % (США > 20 %), оксиду углерода – 10 % (США – 70 %). В настоящее время из-за значительного спада промышленного производства и закрытия многих предприятий в нашей стране количество выбросов в атмосферу уменьшилось.

В таблице 3 [25] приведены данные о городах Российской Федерации с наиболее высоким уровнем загрязнения атмосферы.

Таблица 3 – Города с наибольшим уровнем загрязнения воздуха в Российской Федерации

| Город | Вещества* | Город | Вещества* |
|-----------------------|--|-----------------|---|
| Абакан | БП, Ф | Новороссийск | Ф, NO ₂ , NO |
| Архангельск | CS ₂ , Ф, ММ | Новочеркасск | Фенол, Ф, NO ₂ |
| Благовещенск | Ф, ВВ, СО | Омск | Ф, ацетальдегид |
| Бийск (Амурская обл.) | Ф, ВВ, NO ₂ | Ростов-на-Дону | NO ₂ , Ф, ВВ |
| Калининград | БП, CS ₂ , NO ₂ | Самара | Ф, NH ₃ , NO ₂ |
| Кемерово | БП, CS ₂ , NH ₂ , Ф | Санкт-Петербург | ВВ, Ф, Фенол, NO |
| Красноярск | БП, Ф, ВВ | Саратов | NO ₂ , Ф, NO |
| Краснодар | Фенол, Ф, ВВ | Селенгинск | Ф, Фенол, CS ₂ |
| Кызыл | БП, Ф, ВВ | Соликамск | Ф, NH ₃ |
| Липецк | Фенол, NH ₃ , Ф | Ставрополь | Ф, NO ₂ |
| Магадан | Фенол, Ф, NO ₂ | Сызрань | БП, Ф, NO ₂ |
| Магнитогорск | БП, CS ₂ , NO ₂ | Тольятти | HF, Ф, ВВ |
| Москва | Фенол, CO ₂ , NO ₂ , Ф | Ульяновск | Фенол, Ф, NO ₂ |
| Нижний Тагил | Фенол, NH ₃ , Ф, ЭБ | Хабаровск | БП, SO ₂ , NO ₂ , Ф |
| Новгород | ВВ, NH ₃ , NO ₂ | Чита | БП, Ф, ВВ, NO ₂ |
| Новокузнецк | БП, Ф, ВВ, HF | Южно-Сахалинск | БП, сажа, ВВ, NO ₂ |
| Норильск | Ф, SO ₂ | | |

* Вещества, определяющие высокий уровень загрязнения: Ф – формальдегид, БП – бенз(а)пирен, ВВ – взвешенные вещества, NO, NO₂ – оксиды азота, NH₃ – аммиак, СО – оксид углерода, SO₂, CS₂ – соединения серы, HF – фтористый водород, ММ – метилмеркаптан.

Загрязнение атмосферы отрицательно сказывается на всей экосистеме. У растений поллютанты атмосферы негативно отражаются на интенсивности и продуктивности фотосинтеза, вегетативном и генеративном периодах развития растений. Преждевременно опадают листья и плоды.

Загрязняющие газообразные вещества по-разному влияют на состояние растительности. Одни лишь незначительно повреждают листья, хвоинки, побеги [оксид углерода, этилен], другие действуют губительно [диоксид серы, хлор, пары ртути, аммиак, цианистый водород] (табл. 4; [цит. по 18]). Особенно опасен для растений диоксид серы, под воздействием которого гибнут многие деревья, и в первую очередь хвойные – сосны, ели, пихты, кедр.

У животных поллютанты воздуха приводят к раздражению слизистых оболочек, губ, дыхательных путей. Это отражается на обмене веществ, подавляя его и приводя к интоксикации. В этом случае особенно опасны пестициды – химические препараты для защиты культурных растений от вредителей, болезней и сорняков, а также уничтожения паразитов сельскохозяйственных животных и вредных грызунов.

Таблица 4 – Токсичность загрязнителей воздуха для растений

| Вещество | Характеристика |
|---|---|
| Диоксид серы | Основной загрязнитель для фотосинтезирующих органов растений, действует на расстоянии до 30 км |
| Фтористый водород и четырехфтористый кремний | Токсичны даже в небольших количествах, склонны к образованию аэрозолей, действуют на расстоянии до 5 км |
| Хлор, хлористый водород | Повреждают в основном на близком расстоянии |
| Соединения свинца, углеводороды, оксид углерода, оксиды азота | Заражают растительность в районах высокой концентрации промышленности и транспорта |
| Сероводород | Клеточный и ферментный яд |
| Аммиак | Повреждает растения на близком расстоянии |

Антропогенные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу вызывают самые разнообразные заболевания у человека: от кашля до летального исхода. В таблице 5 приведены данные Х.Ф. Френча [цит. по 18], показывающие последствия их воздействия на здоровье человека.

Таблица 5 – Последствия воздействия поллютантов на здоровье человека

| Вещество | Последствия воздействия поллютантов на организм человека |
|--|---|
| Оксид углерода | Препятствует абсорбированию кровью кислорода, что ослабляет мыслительные способности, замедляет рефлексы, вызывает сонливость и может быть причиной потери сознания и смерти. |
| Свинец | Влияет на кровеносную, нервную и мочеполовую системы; вызывает снижение умственных способностей у детей, откладывается в костях и тканях, поэтому опасен в течение длительного времени. |
| Оксиды азота | Могут увеличивать восприимчивость организма к вирусным заболеваниям (типа гриппа), раздражают легкие, вызывают бронхит и пневмонию. |
| Озон | Раздражает слизистую оболочку органов дыхания, вызывает кашель, нарушает работу легких; снижает сопротивляемость организма к простудным заболеваниям; может обострять хронические заболевания сердца, а также вызывать астму и бронхит. |
| Токсические выбросы (тяжелые элементы) | Вызывают рак, нарушение функций половой системы и дефекты у новорожденных. |

Для нормирования содержания поллютантов в атмосферном воздухе установлены два норматива – разовый и среднесуточный ПДК. Максимально разовая предельно допустимая концентрация (ПДК м.р.) – концентрация вредного вещества в воздухе, которая не должна вызывать при вдыхании его в течение

30 мин рефлекторных реакций в организме человека – ощущение запаха, изменение светочувствительности глаз... Среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК с.с.) – концентрация вредного вещества в воздухе, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия даже при продолжительном (годы) воздействии. Значения ПДК наиболее часто встречающихся загрязнителей атмосферного воздуха указаны в таблице 6 [18].

Таблица 6 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов, мг/м³

| Вещество | ПДК м.р. | ПДК с.с. |
|---------------------|----------|----------|
| Азота оксид | 0,6 | 0,06 |
| Азота диоксид | 0,085 | 0,085 |
| Аммиак | 0,2 | 0,04 |
| Ацетон | 0,35 | 0,35 |
| Бензол | 1,5 | 0,8 |
| Бенз(а)пирен | – | 0,000001 |
| Пыль нетоксичная | 0,5 | 0,15 |
| Ртуть металлическая | – | 0,0003 |
| Сероводород | 0,008 | 0,008 |
| Сероуглерод | 0,03 | 0,005 |
| Углерода оксид | 5,0 | 3,0 |
| Фенол | 0,01 | 0,003 |
| Формальдегид | 0,035 | 0,003 |
| Хлор | 0,1 | 0,03 |

При содержании в воздухе одновременно нескольких поллютантов, обладающих суммарным действием, например, диоксидов серы и азота; озона и формальдегида, сумма их концентраций при расчете не должна превышать единицы:

$$C_1/ПДК_1 + C_2/ПДК_2 + \dots + C_n/ПДК_n < 1,$$

где: C_1, C_2, \dots, C_n – фактические концентрации поллютантов в воздухе;

$ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_n$ – максимально разовые предельно допустимые концентрации поллютантов, которые установлены для их изолированного присутствия, мг/м³.

В различных странах установлены предельно допустимые концентрации поллютантов. Подобные нормативы включают в себя не только концентрацию, но и экспозицию загрязнителей. Всемирная организация здравоохранения в зависимости от наблюдаемых эффектов определила четыре уровня [1]:

Первый – концентрации и время экспозиции ниже или равно величинам, при которых на современном уровне знаний никакой прямой или косвенный эффект не может быть обнаружен;

Второй – наблюдается раздражение органов чувств, вредное воздействие на растительность, уменьшение видимости атмосферы или другие неблагоприятные воздействия на окружающую среду;

Третий – у человека возможны либо расстройство жизненно важных физиологических функций, либо изменения, которые влекут за собой хронические заболевания или преждевременную смерть;

Четвертый – возможны острые заболевания или преждевременная смерть в самых уязвимых группах населения.

Для охраны атмосферы от негативного воздействия поллютантов используют следующие меры защиты:

- экологизацию технологических процессов;
- очистку газовых выбросов от вредных примесей;
- рассеивание газовых выбросов в атмосфере;
- устройство санитарно–защитных зон;
- архитектурно–планировочные решения.

Наиболее радикальная мера защиты атмосферы от загрязнения: – экологизация технологических процессов, включающая создание замкнутых технологических циклов, безотходных и малоотходных технологий.

2.2. Гидросфера

*Облекая мир в праздничный наряд,
Облака земле красоту дарят...
Зелень трав темней, чем глаза газели,
Сладостен ручья вкус и аромат...
Там, где был пустырь выжженный и голый,
Как павлин, земля восхищает взгляд...*

Дакики

Гидросфера (от др. – греч. ὕδωρ – «вода» и σφαῖρα – «шар») – прерывистая водная оболочка Земли, располагающаяся между атмосферой и литосферой и представляющая собой совокупность океанов, морей в поверхностных вод суши. В более широком смысле в состав гидросферы включают также подземные воды, лёд, и снег Арктики и Антарктики, а также атмосферную воду и воду, содержащуюся в живых организмах. Основная масса воды гидросферы сосредоточена в морях и океанах, второе место по объёму водных масс занимают подземные воды, третье – лед и снег арктической и антарктической областей. Поверхностные воды суши, атмосферные и биологически связанные воды составляют доли процента от общего ее объёма в гидросфере (табл. 7; [23]).

Таблица 7 – Распределение водных масс в гидросфере Земли

| Часть гидросферы | Объем воды, | |
|------------------|----------------------|--------|
| | тыс. км ³ | % |
| Мировой океан | 1 370 000 | 94,2 |
| Подземные воды | 60 000 | 4,0 |
| Ледники | 24 000 | 1,7 |
| Озера | 280 | 0,02 |
| Почвенная влага | 80 | 0,01 |
| Пары в атмосфере | 14 | 0,001 |
| Реки | 1,2 | 0,0001 |
| Вся гидросфера | 1 454 375 | 100,0 |

Существуют значительные различия в химическом составе, не только между морской водой, богатой ионами Na⁺, Mg²⁺, Cl⁻ и SO₄²⁻, со средним содержанием солей 35 г/л, и пресной, в которой преобладают ионы Ca²⁺ и HCO₃, но и имеются местные различия, зависящие от характера притоков и степени перемешивания воды. Благодаря водным течениям происходит выравнивание температуры; там, где они отсутствуют, вследствие сильного поглощения солнечной радиации верхними слоями воды возникает характерная зональность температуры.

Вода гидросферы составляет 0,03 % массы всего земного шара и 8 % массы земной коры. Подавляющая часть всей воды на земном шаре содержится в океанах (≈ 95 %). На них приходится 71 % всей поверхности земного шара (360 млн. км²) и занимают объем $1,37$ млрд. км³.

Запасы воды на Земле подразделяют на две принципиально разные части: единовременные стационарные и возобновимые. Последние составляют динамическую часть круговорота воды и оцениваются балансовым методом. Благодаря круговороту воды все виды гидросферы с той или иной интенсивностью возобновляются. Поэтому если использовать воду в объеме, возобновляемом ее круговоротом, то источники водных ресурсов будут неисчерпаемыми, т. е. вечными.

Общая доля водных ресурсов гидросферы, пригодных для хозяйственного использования без проведения специальных мероприятий составляет 5 – 6 млн. км³, что равно $0,3$ – $0,4$ % объема гидросферы, т. е. объема всей свободной воды на Земле. Воды гидросферы находятся в постоянном взаимодействии с атмосферой, литосферой и биосферой. Взаимодействие этих вод и переходы воды из одного состояния в другое составляет круговорот воды на земном шаре.

Гидросфера является средой обитания гидробионтов, встречающихся во всей толще воды – от пленки поверхностного натяжения воды (эпинеястоны) до максимальных глубин Мирового океана (до $11\ 000$ м). Живые организмы играют активную роль в круговороте воды на Земле: весь объем воды гидросферы проходит через живое вещество за 2 млн. лет.

Гидросфера является колыбелью жизни на планете. В воде зародилась жизнь. Она необходима растениям для фотосинтеза, а любому организму – как растворитель и переносчик веществ, температурный демпфер, среда и участник метаболических процессов, которые в организме идут постоянно. Вода является также приемником, хранителем и переносчиком информации в организме.

Любому организму требуется определенное количество воды, а нарушение водообмена ведет к негативным последствиям. Например, растениям кукурузы за вегетативный период воды требуется около $3,5$ млн. л на гектар, а корова в течение 5 лет жизни потребляет около $100\ 000$ л воды. На синтез фитомассы у растений ее расходуется $0,5$ – 1 %, а на образование биомассы у животных – около 1 %. Остальное идет на выделение и испарение. Различные организмы по отношению к воде делятся на:

- 1) гидрофиты – постоянно живущие в воде (рыбы, водные растения и животные),
- 2) гигрофиты – влаголюбивые (рис, осока, а из животных – амфибии, буйвол),
- 3) ксерофиты – предпочитающие засушливый климат (ковыль, верблюжья колючка, длительно переносит засуху верблюды),
- 4) мезофиты – все остальные, кому требуется определенное среднее количество влаги (сельскохозяйственные культуры, домашние животные).

Недостаток воды у растений приводит к нарушению метаболизма, снижению интенсивности фотосинтеза, ослаблению ростовых процессов, что наиболее заметно в критический период их роста и развития. В результате снижается урожай, зерна становятся мелкими, отмечается стерильность колосков, а в случае засухи – гибель. У животных нехватка 10 % воды вызывает токсикоз. Он выражается в общей слабости, вялости, сухости кожи. Потеря

организмом 20 % воды приводит в течение 4–8 суток к гибели, в результате ослабления органов дыхания на фоне сгущения крови, нарушения водно–солевого баланса и расстройства пищеварения.

Избыток влаги также ухудшает жизнедеятельность растений, из–за сбоя ферментативных процессов в клетках. В частности, вместо синтеза полипептидов, полинуклеотидов и других органических молекул происходит их гидролиз, а также преждевременный распад запасных веществ в клетках. В результате резко повышается концентрация сахара в цитоплазме клеток и возрастает осмотическое давление, что отражается на их структуре и функциях. Это может даже вызвать осмотический шок и гибель клеток. Увеличение влажности воздуха выше нормы у животных нарушает водообмен, снижает интенсивность дыхания и кровообращения, что приводит в первую очередь к кожным заболеваниям, а далее может привести к летальным последствиям.

Вода уникальна тем, что может находиться в трех состояниях: жидком, твердом и газообразном. Ее особенностью является аномалия ряда физико–химических свойств: увеличение объема, снижение плотности при замерзании (минимум при 4°C). Именно низкая плотность льда по сравнению с жидкой водой, т. е. его образование на поверхности водоемов, позволяет сохраниться водным растениям и животным в зимний период. Другим важным свойством воды является высокая теплоемкость – в 3000 раз большая, чем у воздуха. Это означает, что при охлаждении одного объема воды на один градус выделяется количество тепла, достаточное для нагревания на один градус 3000 объемов воздуха. Следовательно, аккумулируя тепло, вода оказывает смягчающее влияние на климат (температурный демпфер), не позволяя резко изменяться температуре, например при переходе от дня к ночи.

Гидросфера выполняет следующие экологические функции [38]:

1. Ресурсные. Подразделяются на минеральные, биологические и энергетические;

2. Обеспечение условий существования и эволюции гидробионтов, т. е. организмов, обитающих в водной среде;

3. Геологические. Выражаются в процессах абразии (эрозионный процесс размывания берегов морей и водохранилищ под воздействием волновых ударов, выветривания или хозяйственной деятельности человека) и переноса веществ, а также аккумуляции – механической, биологической и химической;

4. Область зарождения атмосферных синоптических процессов и экстремальных явлений. Определяется участием: в передаче энергии и вещества с атмосферой и литосферой; формирование погодных условий, циклонов и таких экстремальных явлений, как волнения, штормы, цунами;

5. Антропоферные. Определяются следующим составом: условия существования человечества, биоминеральная, рекреационная, транспортная функции и фактор эстетического и эмоционального воздействия.

Экологические функции гидросферы специфичны и функционируют в рамках определенных компонентов природы.

На современном этапе развития человечества вода стала лимитирующим фактором ее существования. Об обеспеченности населения мира пресной водой дает представление таблица 8 [9]. В ней под суммарным устойчивым стоком понимается речной сток подземного происхождения вместе с регулируемым. Последняя графа таблицы характеризует обеспеченность

населения пресной водой, наиболее доступной для использования, а предпоследняя – общую обеспеченность, включая и паводковые воды, в значительной мере представляющие потенциальные ресурсы пресной воды.

Таблица 8 – Обеспеченность населения Земли пресной водой

| Континент | Годовой объем речного стока, км ³ | | Объем стока на душу населения, м ³ /год | |
|------------------|--|------------------------|--|------------------------|
| | полного | суммарного устойчивого | полного | суммарного устойчивого |
| Европа | 3100 | 1325 | 4850 | 2100 |
| Азия | 13190 | 4005 | 6465 | 1960 |
| Африка | 4225 | 1905 | 12250 | 5500 |
| Северная Америка | 5950 | 2380 | 19100 | 7640 |
| Южная Америка | 10380 | 3900 | 56100 | 21100 |
| Австралия* | 1965 | – | 109000 | 27500 |
| Вся суша | 38810 | 13515 | 10963 | 3955 |

*Включая Новую Гвинею, Новую Зеландию и Тасманию

В таблице 9 приведены данные о потреблении воды на одного человека [4]. Безвозвратное потребление воды населением Земли составляет около $9 \text{ км}^3 \cdot \text{сут}^{-1}$. Доступные человечеству запасы пресной воды, сосредоточенные в озерах и водохранилищах, составляют $125 \cdot 10^3 \text{ км}^3$. Расчеты показывают, что без постоянного возобновления этого источника только за счет безвозвратного водопотребления население Земли способно использовать всю доступную воду менее чем за 40 лет. А если учесть и загрязненность возвращаемой воды, то этот срок сократится до 10 лет [4]. Отсюда понятна необходимость поддержания водных экосистем, естественных «фабрик» чистой воды в рабочем состоянии, позволяющем им и далее выполнять свои средооблигающие функции [21].

Таблица 9 – Потребление воды на одного человека

| Вид потребления | Объем, м ³ · сут ⁻¹ |
|----------------------------------|---|
| Бытовое в сельской местности | 0,045 |
| Бытовое в городах | 0,460 |
| Промышленное потребление | 0,900 |
| Производство электроэнергии | 1,600 |
| Сельскохозяйственное потребление | 2,200 |
| Итого: | 5,205 |
| в т. ч.: безвозвратное | 1,500 |

Водопользование осуществляется двумя различными способами: без изъятия воды из источника (проточное водопользование) и с изъятием ее. К первому относится судоходство, гидроэнергетика, рыбное хозяйство, ко второму – водоснабжение и орошение.

Требования к качеству воды в зависимости от ее назначения могут быть разнообразными. Так питьевая и вода, используемая в пищевой промышленности, бытовом водоснабжении и некоторых не водоемких производствах, в основном, легкой промышленности, использующих воду из городских водопроводов, должна отличаться высоким качеством.

Российская Федерация обладает огромным водным потенциалом в мире – на каждого жителя страны воды приходится более 30000 м³/год. По данным государственного водного кадастра, ежегодный суммарный забор воды из природных водных объектов в настоящее время составляет около 80 км³. Однако из-за загрязнения около 70 % рек и озер в стране утратили свои качества как источники питьевого водоснабжения. В последние годы экстремально высокое загрязнение поверхностных вод в Российской Федерации наблюдалось более чем на 100 водных объектах. Максимальную нагрузку от загрязнения испытывают реки Обь, Волга, Амур, Енисей и Северная Двина. Нарушено исторически сложившееся равновесие и в водной среде Байкала – уникальнейшего озера нашей планеты, которое, по подсчетам ученых, могло бы обеспечивать чистой водой все человечество в течение почти 50 лет [18].

Под *загрязнением водоемов* понимают снижение их биосферных функций и экологического значения в результате поступления в них вредных веществ. Загрязнение вод проявляется в изменении физических и органолептических свойств (нарушение прозрачности, окраски, запахов, вкуса), увеличении содержания сульфатов, хлоридов, нитратов, тяжелых элементов, снижении концентрации растворенного в воде кислорода воздуха, появлении радиоактивных элементов, болезнетворных микроорганизмов и других загрязнителей.

Загрязнение гидросферы техногенными потоками складывается из загрязнения поверхностных и подземных грунтовых вод планеты. По источникам загрязнений гидросферы различают природные и антропогенные (рис. 4; [15]).

| Источник загрязнения | | Вид загрязнения | Состав загрязнения |
|--|-----------------------------|----------------------|--|
| Природные | Антропогенные | Бытовые стоки | Твердые взвеси, химические элементы, детергенты или СПАВ, яды, органические вещества: нефть и нефтепродукты, ПАУ, ХБ, сероводород, хлориды и др. металлы, химические элементы, радионуклиды, компоненты взрывчатых веществ |
| Атмосферный воздух | Города, поселки (население) | Моющие средства | |
| Золотые взвеси | Промышленность (отрасли) | Пестициды | |
| Речной сток (твердые вещества, органика, растворенные химические вещества) | Вооруженные силы | Сточные воды | |
| Биогенная органика | | Аэрогенные выпадания | |
| Вулканы | | Боеприпасы | |

Рисунок 4 – Принципиальная схема и состав загрязнителей гидросферы

Различают биологические, физические и химические загрязнители [5].

Биологические загрязнители представлены вирусами и другими болезнетворными микроорганизмами. Бактериальное загрязнение чаще всего носит временный характер.

Физические загрязнители – это, прежде всего, радиоактивные вещества, тепло. Весьма опасно содержание в воде радиоактивных веществ, вызывающих радиоактивное загрязнение. Наиболее вредны «долгоживущие» радиоактивные элементы, обладающие повышенной способностью к миграции в водной среде (стронций–90, уран, радий–226, цезий и др.).

Химическое загрязнение – наиболее распространенное, стойкое и далеко распространяющееся. Оно может быть органическим (фенолы, нафтеновые кислоты, пестициды и др.), неорганическим (соли, кислоты, щелочи), токсичным (мышьяк, соединения ртути, свинца, кадмия и др.) и нетоксичным. Среди химических загрязнителей к наиболее распространенным относят нефть и нефтепродукты, синтетические поверхностно–активные вещества (СПАВ), пестициды, тяжелые элементы, диоксины.

Механическое загрязнение характеризуется попаданием в воду песка, шлама, ила и других механических примесей. Применительно к поверхностным водам выделяют еще засорение мусором, остатками лесосплава, промышленными и бытовыми отходами.

Процессы загрязнения поверхностных вод обусловлены следующими факторами: 1) сброс в водоемы неочищенных сточных вод; 2) смыв пестицидов ливневыми осадками; 3) газодымовые выбросы; 4) утечки нефти и нефтепродуктов.

Общая масса техногенных потоков антропогенного происхождения огромная – около 15 млрд. т в год, что сопоставимо с твердым стоком рек планеты – 18,3 млрд. т в год [15; 22].

В техногенных потоках, поступающих в Мировой океан, преобладают синтетические органические вещества и биогенная органика.

Таблица 10 – Виды и количество веществ техногенных потоков, поставляемых в моря и Мировой океан от антропогенных источников

| Виды техногенного потока | Количество, млн. т/год |
|--|------------------------|
| Аэрогенные выпадения антропогенной природы | 1800 |
| Затонувшие суда, затонувший и плавающий мусор | 1200 |
| Взвешенные вещества антропогенного происхождения | 1400 |
| Растворенные неорганические вещества | |
| в т. ч.: | |
| минеральные удобрения | 80 |
| соли тяжелых элементов | 3 |
| Синтетические органические вещества | 2500 |
| в т. ч.: моющие средства, СПАВ | 15 |
| Фенолы и другие циклические углеводороды | 5 |
| Пестициды | 2 |
| Биогенная органика | 1200 |
| Нефтепродукты | 12 |

Поллютанты поступают в Мировой океан в процессе атмосферного переноса и с речным притоком. Атмосфера может быть существенным, а

иногда доминирующим звеном в цепочке переноса загрязняющих веществ в моря и океаны. О масштабах процесса говорит то, что это поступление сопоставимо с поступлениями из рек (табл. 11) [25].

Таблица 11 – Глобальное поступление элементов в Мировой океан

| Состояние | Pb* | Cd* | Cu* | Ni* | Zn* | As* | Fe** |
|--------------------|--------|---------|-------|-------|--------|-------|---------|
| Атмосферный приток | | | | | | | |
| Раствор | 50–100 | 1,9–3,3 | 14–45 | 8–11 | 33–170 | 2,3–5 | 1,6–4,8 |
| Твердый | 6–12 | 0,4–0,7 | 2–7 | 14–17 | 11–55 | 1,3–3 | 14–42 |
| Речной приток | | | | | | | |
| Раствор | 2 | 0,3 | 10 | 11 | 6 | 10 | 1,3 |
| Твердый | 1600 | 15 | 1500 | 1400 | 3900 | 80 | 110 |

Условные обозначения: * – в 10^9 г в год, ** – в 10^{12} г в год.

Основными поставщиками тяжелых элементов являются реки. Для меди и никеля вклады атмосферы и рек примерно одинаковы, для цинка, кадмия и свинца доминирует атмосферный приток.

Весьма велик вклад атмосферы в загрязнение Мирового океана хлорорганическими соединениями (табл. 12). Здесь в большинстве случаев вклад ее превышает 90 % [25].

Таблица 12 – Атмосферный и речной приток хлорорганических соединений в Мировой океан

| Соединение | Атмосферный | Речной | % атмосферного притока |
|------------|----------------|--------|------------------------|
| | 10^6 г в год | | |
| ПХБ | 240 | 60 | 80 |
| ГХ | 4750 | 60 | 99 |
| ДДТ | 165 | 4 | 98 |
| ГХБ | 77 | 4 | 95 |
| Дилдрин | 43 | 4 | 91 |

Условные обозначения: ПХБ – полихлорбифенил, ГХ – гексахлоран, ГХБ – гексахлорбензол.

Определенную тревогу вызывает и возрастающий антропогенный приток в воды Мирового океана связанного азота. Оценка поступления его из рек и атмосферы в Мировой океан приведена в таблице 13 [25]. Данные таблицы показывают, что вклады разных источников азота примерно одинаковы. Примерно равны и притоки органических и неорганических соединений азота.

Таблица 13 – Поступление связанного азота в Мировой океан

| Источник | Поток азота, 10^{12} г. в год |
|--------------------|---------------------------------|
| Фиксация азота | 14–42 |
| Атмосферный вклад: | |
| $N_{\text{мин.}}$ | 28–70 |
| $N_{\text{орг.}}$ | 28–84 |
| Речной вклад: | |
| естественный | 14–35 |
| антропогенный | 7–35 |

Поступление загрязнителей в Мировой океан отличается в разных регионах мира, но приведенные глобальные оценки тем не менее достаточно информативны, с точки зрения уровней и источников загрязнения.

В последнее время резко возросла скорость поступления загрязняющих веществ в Мировой океан. Ежегодно в него сбрасывается до 300 млрд. м³ сточных вод, 90 % которых не проходит предварительной очистки. Морские экосистемы подвергаются все большему загрязнению загрязнителями, которые, аккумулируясь гидробионтами по трофической цепи, приводят к гибели консументов даже высоких порядков, в т. ч. и наземных животных. Загрязнению подвергаются не только поверхностные, но и грунтовые воды. Ухудшение качества грунтовых вод загрязнителями чаще всего объясняют сельскохозяйственной деятельностью. Однако причинами загрязнения могут быть также промышленные химические материалы, хранящиеся на складах или на территории ликвидированных промышленных предприятий. Среди агрохимикатов, которые могут загрязнять грунтовые воды, следует назвать, в первую очередь, средства защиты растений и нитраты. В таблице 14 указаны некоторые средства защиты растений, которые были обнаружены в грунтовых водах США в результате их применения в сельском хозяйстве [19].

Таблица 14 – Содержание пестицидов в грунтовых водах после сельскохозяйственного применения

| Действующее вещество | Химическая группа | Концентрация, мкг/л |
|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Алахлор | Ацетанилид | 0,04 |
| Альдикарб (сульфоксид, сульфен) | Карбамат | 1–50 |
| Атризин | Триазин | 0,3–3 |
| Бромацил | Урацил | 300 |
| Карбофуран | Карбамат | 1–5 |
| ДВСП | Галогенированный углеводород | 0,02–20 |
| ДСРА и кислотные продукты | Фталат | 50–700 |
| 1,2–Дихлорпропан | Галогенированный углеводород | 1–50 |
| Диносеб | Динитрофенол | 1–5 |
| EDB | Галогенированный углеводород | 0,05–20 |
| Оксамил | Карбамат | 5–65 |
| Симазин | Триазин | 1–2 |

По Ю.А. Израэлю [14], экологические последствия загрязнения Мирового океана выражаются во многих процессах и явлениях (рис. 5).

Стандарты качества воды определяются технологическими и экономическими возможностями и отличаются друг от друга в разных районах. Критерии качества воды для разного использования обуславливают специфику стандартов. Для водной среды ПДК загрязняющих веществ означает такую концентрацию этих веществ в воде, выше которой она становится непригодной для водопользования.

Качество поверхностных вод нормировано для хозяйственно–питьевого, культурно–бытового и рыбохозяйственного водопользования. Для первых двух категорий определяющими являются санитарно–гигиенические нормы (табл. 15; [27]).



Рисунок 5 – Экологические последствия загрязнения Мирового океана

Таблица 15 – Общие требования к составу и свойствам воды, используемой для хозяйственно–питьевых и культурно–бытовых целей

| Показатель | Воды I категории (хозяйственно–питьевые) | Воды II категории (культурно–бытовые) |
|---|--|---------------------------------------|
| Взвешенные вещества | По сравнению с природными условиями содержание взвешенных веществ не должно увеличиваться при сбросе сточных вод больше чем на 0,25 мг/л 0,75 мг/л | |
| Плавающие примеси | На поверхности воды не должно быть пленок нефтепродуктов и скоплений других примесей | |
| Запахи и вкусы | Интенсивность более 2 баллов не допускается | |
| Окраска | Не должна обнаруживаться в столбике воды 20 см 10 см | |
| Температура | Летняя температура в результате спуска сточных вод не должна повышаться более чем на 3° С по сравнению со среднемесячной температурой в самый жаркий месяц за последние 10 лет | |
| Водородный показатель (рН) | Не должен выходить за пределы 6,5–8,5 | |
| Минерализация воды | Не должна превышать по сухому остатку 1000 мг/л, в т. ч. хлоридов 350 мг/л и сульфатов 500 мг/л | Нормируется по показателю «привкусы» |
| Растворенный кислород | Не менее 4 мг/л в любой период года в пробе, отобранной до 12 ч дня | |
| Биохимическое потребление кислорода (БПК _{полн.}) | При 20° С не должно превышать 3 мг/л 6 мг/л | |
| Возбудители заболеваний | Не допускаются | |
| Ядовитые вещества | Не должны содержаться в концентрациях, оказывающих прямо или косвенно вредное влияние на здоровье людей | |

Для воды установлены ПДК более чем 960 химических соединений, которые объединены в три группы по следующим показателям: вредности (ЛПВ – лимитирующий показатель вредности): санитарно–токсикологическому (с.–т.); общесанитарному (общ.); органолептическому (орг.). ПДК некоторых вредных веществ в водной среде представлены в таблице 16 [18].

Таблица 16 – Предельно–допустимые концентрации поллютантов в водных объектах хозяйственно–питьевого и культурно–бытового водопользования, мг/л

| Вещество | ПДК | Вещество | ПДК |
|--|------------|---|-------------|
| По санитарно–токсикологическому показателю | | | |
| Анилин | 0,1 | Метанол | 3,0 |
| Бензол | 0,5 | Нитраты (по азоту) | 10,0 |
| Свинец | 0,03 | Ртуть | 0,0005 |
| Стронций | 2,0 | Динитротолуол | 0,5 |
| Тетраэтилсвинец | отсутствие | Формальдегид | 0,05 |
| Хлорбензол | 0,02 | Полиакриламид | 2,0 |
| Алюминий | 0,5 | Аммиак (по азоту) | 2,0 |
| Ацетофенол | 0,1 | Бенз(а)пирен | 0,000005 |
| Бериллий | 0,0002 | Бор | 0,5 |
| Бром | 0,2 | Висмут | 0,1 |
| Гексахлорбензол | 0,05 | Диметиламин | 0,1 |
| Дифторхлорметан (фреон) | 10,0 | Кадмий | 0,001 |
| Нитраты (по NO ₃ ⁻) | 45,0 | Нитраты (по NO ₂ ⁻) | 3,3 |
| Полиэтиленамин | 0,1 | Тиоцианаты | 0,1 |
| Цианиды (в пересчете на циан) | 0,1 | Этиленгликоль | 1,0 |
| По санитарному показателю | | | |
| Аммиак (по азоту) | 2,0 | Метилпирролидон | 0,5 |
| Бутилацетат | 0,1 | Стрептоцид | 0,5 |
| Дифутилфталат | 0,2 | Тринитротолуол | 0,5 |
| Капролактан | 1,0 | Ацетон | 2,2 |
| Бензойная кислота | 0,6 | Дифенилуксусная кислота | 0,5 |
| Масляная кислота | 0,7 | Муравьиная кислота | 3,5 |
| Уксусная кислота | 1,2 | Жирные синтетические кислоты (C ₅ –C ₂₀) | 0,1 |
| Мочевина | 1,0 | Сульфиды | отсутствуют |
| Цинк | 1,0 | | |
| По органолептическому показателю | | | |
| Бензин | 0,1 | Диметилфенол | 0,25 |
| Бутилбензол | 0,1 | Динитробензол | 0,5 |
| Бутиловый спирт | 1,0 | Динитрохлорбензол | 0,5 |
| Гексахлоран | 0,02 | Дихлорметан | 7,5 |
| Алюминий оксихлорид | 1,5 | Железо | 0,3 |
| Диэтиловый эфир | 0,3 | Керосин окисленный | 0,01 |
| Изопрен | 0,005 | Карбофос | 0,05 |
| Керосин осветленный | 0,05 | Марганец | 0,1 |
| Керосин технический | 0,001 | Нафталин | 0,01 |
| Медь | 1,0 | Нефть прочая | 0,3 |
| Нефть многосернистая | 0,1 | Скипидар | 0,2 |
| Сероуглерод | 1,0 | Этилен | 0,5 |
| Трибулофосфат | 0,01 | Этилендиамин | 0,2 |

Самые высокие требования предъявляются к качеству питьевой воды. Технический регламент на воду, используемую для питья и в пищевой промышленности, определяет благоприятные для человека органолептические показатели воды: вкус, запах, цвет, прозрачность, а также безвредность ее химического состава и эпидемиологическую безопасность. Одни и те же требования предъявляются к воде из любого источника водоснабжения независимо от способа ее обработки и конструкции водозабора и водопровода. Вкус воды обусловлен растворимыми в ней веществами (табл. 17; [27]).

Таблица 17 – Предельная концентрация солей в воде, вызывающих вкусовые ощущения

| Соль | Концентрация, мг/л | |
|-------------------|---------------------|------------------|
| | неопределенный вкус | неприятный вкус |
| NaCl | 150 | 500 (соленый) |
| MgCl ₂ | 100 | 400 (горький) |
| MgSO ₄ | 200 | 500 (горький) |
| CaSO ₄ | 70 | 150 (вяжущий) |
| KCl | 350 | 700 (горький) |
| FeSO ₄ | 1,5 | 5,0 (железистый) |
| MnCl ₂ | 2,0 | 4,0 (болотный) |
| FeCl ₂ | 0,3 | 0,5 (болотный) |

Часто неприятный привкус и запах придают воде присутствующие в ней сероводород и продукты разложения животных и растительных организмов. Наоборот, O₂, CO₂, небольшое количество Ca(HCO₃)₂, растворенные в воде, придают воде приятный, освежающий вкус. Питьевая вода в любое время года не должна содержать менее 4 г/м³ O₂, а наличие в ней минеральных примесей не должно превышать (мг/л):

| | | | |
|-------------------------------------|-----|-------------------------------|------|
| Cl ⁻ | 350 | Zn ²⁺ | 5,0 |
| SO ₄ ²⁻ | 500 | Al ³⁺ | 0,5 |
| Fe ³⁺ + Fe ²⁺ | 0,3 | PO ₃ ⁻ | 3,5 |
| Mn ²⁺ | 0,1 | PO ₄ ³⁻ | 3,5 |
| Cu ²⁺ | 1,0 | Сухой остаток | 1000 |

В то же время очень слабая минерализованность воды (ниже 100 мг/л) также ухудшает ее вкус, а вода, вообще лишенная солей (дистиллированная), даже вредна для здоровья, т. к. ее употребление нарушает пищеварение и деятельность желез внутренней секреции.

Запах воды зависит от химического состава примесей и от концентрации растворенных в ней газов. Интенсивность запаха оценивают по пятибалльной шкале, причем для питьевой воды при температуре 20–60 °С она не должна превышать двух баллов (табл. 18; [27]).

Технический регламент устанавливает также цвет и прозрачность питьевой воды. Цвет воды определяют колориметрически, сравнивая ее с эталонной шкалой, имитирующей эту цветность. Окраска питьевой воды по этим шкалам не должна превышать 20 условных градусов. Степень прозрачности воды зависит от количества содержащихся в ней взвешенных частиц. Взвеси, содержащиеся в воде, не только портят ее вкус, но и служат благоприятной средой для развития болезнетворных микроорганизмов. Поэтому стандарт строго ограничивает их содержание: в водопроводной воде концен-

трация взвешенных веществ не должна превышать 1,5 мг/л. Не допускается в питьевой воде содержание токсических химических веществ в концентрациях, вредных для человеческого организма. Строго регламентированы реакция среды, которая в питьевой воде должна быть близка к нейтральной (рН 6,5–8,5), и температура питьевой воды в водопроводных сетях. Содержание в питьевой воде большого количества растворимых солей магния и кальция не только ухудшает ее вкус, но и обуславливает жесткость воды. Употребление жесткой воды способствует развитию ряда заболеваний. Допускается жесткость питьевой воды не выше 7 ммоль/л и лишь в отдельных случаях по согласованию с санитарно–эпидемиологической службой допускается использование в водопроводных сетях воды с жесткостью до 10 ммоль/л.

Таблица 18 – Оценка интенсивности запаха воды

| Балл | Интенсивность запаха | Характеристика запаха |
|------|----------------------|--|
| 0 | Нет | Отсутствие ощутимого запаха |
| 1 | Очень слабый | Обнаруживаемый опытным исследователем |
| 2 | Слабый | Не привлекающий внимания, но такой, который можно заметить |
| 3 | Заметный | Запах, легко обнаруживаемый и могущий вызвать неодобрение |
| 4 | Отчетливый | Запах, обращающий на себя внимание и делающий воду непригодной для питья |
| 5 | Очень сильный | Запах настолько сильный, что делает воду непригодной для питья |

Вопрос доброкачественности питьевой воды решают путем определения количества кишечной палочки в 1 л воды. Согласно нормам, в 1 л питьевой воды может содержаться не более трех бактерий группы кишечной палочки (БГКП). Это число называется коли–индексом воды; обратная величина, т. е. количество миллилитров воды, в котором находится одна кишечная палочка, называется коли–титром. Питьевая вода, безупречная в бактериальном отношении, должна иметь коли–титр не менее 333.

Угроза поступления болезнетворных бактерий может исходить не только от питьевой воды, но и от воды, используемой для купания и занятий спортом. Пригодность воды для этих целей регламентирует группа Государственных стандартов (табл. 19; [27]).

Таблица 19 – Пригодность воды для использования по содержанию в ней бактерий группы кишечной палочки

| Водный объект | Содержание БГКП в 1 л воды (коли–индекс) | Использование воды для ... |
|--------------------|--|---|
| Подземные воды | Не более 3 | централизованного хозяйственно–питьевого водоснабжения (без водоподготовки) |
| Моря | Не более 1000 | купания людей |
| Поверхностные воды | Не более 1000 | купания людей |
| Поверхностные воды | Не более 10 000 | лодочно–парусного спорта |
| Поверхностные воды | Не более 10 000 | централизованного хозяйственно–питьевого водоснабжения (с водоподготовкой) |

Для водных объектов, используемых в рыбохозяйственных целях, также установлены нормативы качества воды применительно к двум категориям:

Первая – использование водных объектов для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к содержанию кислорода;

Вторая – использование водных объектов для других рыбохозяйственных целей (табл. 20; [27]).

Таблица 20 – Общие требования к составу и свойствам воды, используемой для рыбохозяйственных целей

| Показатель | Воды I категории | Воды II категории |
|---|---|-------------------|
| Взвешенные вещества | По сравнению с природными условиями содержание взвешенных веществ не должно увеличиваться при сбросе сточных вод более чем на 0,25 мг/л 0,75 мг/л Для водотоков, содержащих в межень более 30 мг/л взвешенных веществ, допускается увеличение до 5 % Взвеси со скоростью выпадения более 0,4 мм/с для водотоков и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются | |
| Плавающие примеси | На поверхности воды не должно быть пленок нефтепродуктов | |
| Окраска, запахи и привкусы | Вода не должна приобретать посторонних запахов, привкусов и окраски и передавать их рыбе | |
| Температура | Не должна повышаться по сравнению с естественной температурой водоема или водотока более чем на 5 °С; допускается общее повышение температуры не более чем до 20 °С летом и до 5 °С зимой для водных объектов, в которых обитают холоднокровные рыбы (лососевые и сиговые), и не более чем до 28 °С летом и до 8 °С зимой – для остальных водных объектов В местах нерестилищ налима (хищная пресноводная рыба) запрещается повышение температуры воды зимой более чем до 2 °С | |
| Водородный показатель (рН) | Не должен выходить за пределы 6,5–8,5 | |
| Растворенный кислород | В зимний (подледный) период не должен быть ниже 6 мг/л 4 мг/л | |
| Биохимическое потребление кислорода (БПК полн.) | При 20 °С не должно превышать 3 мг/л. Если в зимний период содержание растворенного кислорода в воде водных объектов I категории рыбохозяйственного назначения снижается до 6 мг/л, а II – до 4 мг/л, то допускается сброс в них только тех сточных вод, которые не изменяют БПК | |
| Ядовитые вещества | Не должны содержаться в количествах, оказывающих прямо или косвенно вредное воздействие на рыб и водные организмы, служащие кормовой базой для них | |

Предельно допустимая концентрация вредных веществ для рыбохозяйственных водоемов и водотоков установлены для 521 ингредиента, объединенных в группы по следующим ЛПВ: токсикологическому, органолептическому, рыбохозяйственному и общесанитарному. Вода для поения животных, согласно нормативам, не должна уступать качеству питьевой воды, однако требования, предъявляемые к органолептическим свойствам, могут быть несколько снижены. Лишь в исключительных случаях, в районах с дефицитом пресной воды, по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы и ветеринарного надзора для мытья и поения животных, приготовления кормов и уборки помещений допускается использование воды повышенной минерализации (табл. 21; [27]).

Таблица 21 – ПДК минеральных примесей в воде, предназначенной для поения скота

| Группа животных | Сухой остаток, мг/л | Хлориды, мг/л | Сульфаты, мг/л | Общая жесткость, ммоль/л |
|-----------------------|---------------------|---------------|----------------|--------------------------|
| Крупный рогатый скот: | | | | |
| взрослый | 2400 | 600 | 800 | 18 |
| молодняк | 1800 | 400 | 600 | 14 |
| Свиньи: | | | | |
| взрослые | 1200 | 400 | 600 | 14 |
| молодняк | 1000 | 350 | 500 | 12 |
| Овцы: | | | | |
| взрослые | 5000 | 2000 | 2400 | 45 |
| молодняк | 3000 | 1500 | 1700 | 30 |
| Лошади: | | | | |
| взрослые | 1000 | 400 | 500 | 15 |
| молодняк | 1000 | 350 | 500 | 12 |

В Российской Федерации утверждены следующие нормативы ПДК радиоактивных элементов в воздушной и водной средах (табл. 22; [27]).

Таблица 22 – ПДК радиоактивных элементов в воздухе и воде, Бк/л

| Радиоактивный изотоп | Воздух рабочих помещений | Вода открытых водоемов |
|----------------------|--------------------------|------------------------|
| Уран | $5 \cdot 10^8$ | $19 \cdot 10^8$ |
| Фосфор-32 | 3,7 | $3,7 \cdot 10^2$ |
| Сера-35 | 37 | $18,5 \cdot 10^4$ |
| Кобальт-60 | 1,85 | 185 |
| Стронций-90 | 0,185 | 18,5 |

Для канцерогенных веществ и ионизирующей радиации не существует нижних пределов безопасности и любые их количества, превышающие природный фон, опасны для всех организмов, если не непосредственно, то генетически в цепи последующих поколений.

Современная промышленность ежегодно синтезирует много новых веществ; установление их ПДК неизбежно запаздывает, тем более что, попадая в воду, они могут создавать новые, неисследованные комбинации соединений с неизвестными свойствами. Следовательно, существующие ПДК да-

леко не полностью отражают влияние чужеродных веществ на водные экосистемы. Необходима разработка экологических ПДК и оценка состояния природных вод не только по общесанитарным, органолептическим и химическим показателям, но и по биохимическим и микробиологическим характеристикам, отражающим уровень жизни гидробионтов [27].

2.3 Педосфера

Законам природы люди повинуются, даже когда борются против них; люди действуют заодно с ней, даже когда хотят действовать против этих законов.

И. Гете

Почвоведение изучает почвы как естественные тела, совокупность которых образует особый мир – педосферу, т. е. поверхностную часть земной коры.

Л.И. Прасолов

Педосфера (от греч. *πέδον* «грунт» + *σφαίρα* «шар»): 1) часть биосферы – почва и лежащие под ней подпочва и кора выветривания, как среда обитания живых организмов (педобионтов); слой Земли в котором происходят почвообразовательные процессы; 2) зона взаимного проникновения литосферы, гидросферы, атмосферы и живой оболочки Земли; 3) почвенный покров Земли (рис. 6; [36]).

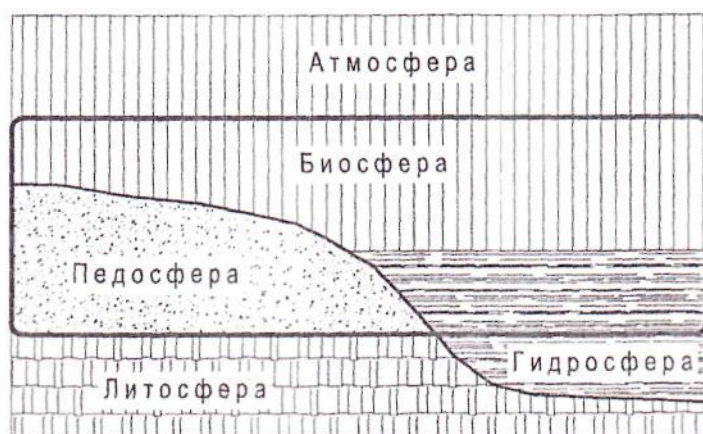


Рисунок 6 – Педосфера часть биосферы планеты

Педосфера покрывает почти без разрывов всю поверхность континентов и островов земного шара. В.И. Вернадский в состав педосферы включал также слой илов водных бассейнов. Впервые термин «педосфера» был введен в научный оборот в 1905 г. А.А. Яриловым в его монографии «*Педология как самостоятельная естественнонаучная дисциплина о земле*».

В педосфере насчитывают сотни типов, видов и разновидностей почв, различающихся по строению, физическим и химическим свойствам, гидротермическому режиму, составу и жизнедеятельности биоты. Распространение различных типов и видов почв на земной поверхности и пространственная структу-

ра почвенного покрова имеют вполне закономерный зонально–географический характер, что обусловлено совокупным взаимодействием биоклиматических и литолого–геоморфологических факторов почвообразования. Закономерности географического распространения почв и структуру почвенного покрова изучает специальная научная дисциплина – география почв. Общую картину структуры педосферы в наиболее наглядном и систематизированном виде отражают мировые почвенные карты и карты почвенно–географического районирования.

Площадь поверхности Земли составляет 134 млн. км². Из них только 86 млн. км² являются продуктивными. Все сельскохозяйственные земли составляют 45 млн. км², из них площадь пашни – около 15 млн. км², причем она непрерывно увеличивается. Все остальное занимают леса, степи, пустыни, полупустыни, ледники. Например, ледники имеют суммарную площадь 14 млн. км². Несмотря на малую мощность – всего от нескольких сантиметров до двух метров педосфера выполняет множество планетарных функций, имеющих незаменимое экологическое значение для жизни на Земле. Среди функций, осуществляемых почвами в различных наземных экосистемах и биосфере в целом наиболее важной считают обеспечение [36]:

1. Существования жизни на нашей планете. Из почвы растения, а через них – животные и человек получают элементы питания и воду для создания своей биомассы. В почве укореняются растения, живет огромное число микроорганизмов и почвообитающих животных. Без почвы невозможно существование на Земле биоценозов – сообществ живых организмов. Свойства почвы, в первую очередь ее плодородие, наряду с климатическими факторами, определяют распределение и обилие живых организмов на суше Земли. Почва поэтому является неотъемлемым компонентом экосистем суши, а их структурной единицей служат биогеоценозы. Эту роль почвы подчеркивал В.Н. Сукачев [29], впервые предложивший понятие «биогеоценоз»: участок земной поверхности, где на известном протяжении биоценоз и отвечающие ему части атмосферы, литосферы, гидросферы и педосферы остаются однородными и имеющими гомогенный характер взаимодействия между ними и поэтому в совокупности образующие единый, внутренне взаимообусловленный комплекс.

2. Геологического и биологического круговорота веществ. На поверхности земли горные породы подвергаются выветриванию, в результате чего в почве накапливаются элементы минерального питания организмов. Они поглощаются растениями и через систему пищевых цепей (растения – животные – микроорганизмы) обратно возвращаются в почву. Из почвы эти элементы частично выносятся в водоемы и в конечном итоге оказываются в Мировом океане, где участвуют в формировании осадочных горных пород, которые в геологической истории Земли могут подвергнуться глубинным превращениями или опять выйти на поверхность. Следовательно, почва является связующим звеном и регулятором взаимодействия двух этих круговоротов веществ.

3. Основной массы пищи, получаемой человеком. Она служит основным средством сельскохозяйственного производства, экономической основой существования людей.

Г.В. Добровольский и Е.Д. Никитин [10] экологические функции почв делят на глобальные и биогеоценотипические.

Структура экологических функций почв, в глобальном масштабе, имеет следующие подразделения: литосферные, гидросферные, атмосферные и общебиосферные [10; 32].

Литосферные функции почв:

- 1) биохимическое преобразование верхних слоев литосферы;
- 2) источник вещества для образования минералов, пород, полезных ископаемых;
- 3) передача аккумулированной солнечной энергии в недра Земли;
- 4) защита литосферы от чрезмерной эрозии и условие ее нормального развития.

Гидросферные функции почв:

- 1) трансформация поверхностных вод в грунтовые;
- 2) участие в формировании речного стока;
- 3) фактор биопродуктивности водоемов за счет приносимых почвенных соединений;
- 4) сорбционный барьер, защищающий акватории от загрязнения.

Атмосферные функции почв:

- 1) поглощение и отражение солнечной радиации;
- 2) регулирование влагообмена атмосферы;
- 3) источник твердого вещества и микроорганизмов, поступающих в атмосферу;
- 4) поглощение и удержание некоторых газов от ухода в космическое пространство;
- 5) регулирование газового режима атмосферы.

Общебиосферные функции почв:

- 1) среда обитания, аккумулятор и источник вещества и энергии, а также для организмов, обитающих на суше;
- 2) связующее звено биологического и геологического круговоротов, планетарная мембрана;
- 3) защитный барьер и условие нормального функционирования биосферы;
- 4) фактор биологической эволюции.

Почва является частью биогеоценоза, в котором условия существования и эволюции организмов определяются физическими, химическими, физико-химическими, информационными и целостными ее свойствами [10].

Биогеоценозические функции почв объединены в группы по контролирующим их свойствам и ее параметрам. В целом они во многом определяют почвенное плодородие и биопродуктивность (рис. 7; [32]).



Рисунок 7 – Биогеоценозические функции почв

Почва состоит из твердой, жидкой, газообразной и живой фаз. Их соотношение не одинаково не только в разных, но и в одной и той же почве. Для всех почв характерно уменьшение содержания органических веществ и живых организмов от верхних горизонтов почвы к нижним. Условное разделение почвы по профилю впервые было сделано В.В. Докучаевым. Отдельные слои профиля он назвал *почвенными генетическими горизонтами*.

Почвенные горизонты – генетические горизонты в почвенном профиле, отличающиеся относительной однородностью минералогического и химического состава, физических свойств, морфологических и других признаков (окраска, структура, сложение и др.). Почвенные горизонты принято обозначать буквами *A, B, C* с подразделениями на подгоризонты. Так, например, выделяют горизонты: гумусовый (гумусово-аккумулятивный, обычно обозначают буквой *A*); иллювиальный (или горизонт вымывания – *B*), обогащенный большей частью теми или иными подвижными минеральными, органо-минеральными, иногда органическими веществами, выносимыми из верхних слоев; элювиальный (или горизонт вымывания – *A₂*), обедненный теми или иными соединениями. Ниже иллювиального горизонта лежит мало затронутая почвообразованием материнская или почвообразующая порода (*C*).

Твердая фаза почвы – это ее основа, матрица, формирующаяся из материнской породы, наследующая ее состав и свойства. Твердая фаза – органо-минеральная система, образующая твердый каркас почвы, наиболее устойчивая во времени, по объему и составу. Она состоит на 90–99 % из минеральной части и 1–10 % органической. Минеральная часть почвы – представлена силикатными и алюмосиликатными минералами, аморфными и кристаллическими гидроокисями Al, Fe, Si, различными минеральными солями. В ней содержатся все зольные элементы. Азот, углерод, кислород, фосфор и сера находятся в минеральной и органической частях почвы.

Органическая часть почвы представлена комплексом разнообразных органических веществ: негумифицированные органические остатки растительного и животного происхождения и гумус. Источниками гумуса являются органические остатки высших растений, микроорганизмов и животных, обитающих в почве. Гумус, в свою очередь, состоит из собственно гумусовых (специфических) веществ, а также продуктов глубокого распада органических остатков ресинтеза микроорганизмов (неспецифические вещества).

Твердая фаза почвы характеризуется *гранулометрическим* (относительное содержание в почве фракций элементарных почвенных частиц различного диаметра, независимо от их минералогического и химического состава), *минералогическим* (количественное соотношение различных минералов в почве, определяемое составом почвообразующих пород и протекающими в почве процессами выветривания) и *химическим* (содержание в почве различных соединений минерального и органического происхождения и отдельных химических элементов) составом, *сложением* (характер взаимного расположения в пространстве элементарных почвенных частиц и почвенных агрегатов и присущие этому расположению величина, раздробленность и конфигурация порозного пространства почвы), *структурой* (форма и размер структурных отдельностей в виде макроагрегатов [педов] размером более 0,25 мм, на которые распадается почва) и *порозностью* (суммарный объем всех промежутков между частицами [агрегатами] почвы, выраженный в процентах от общего ее объема) [37].

Жидкая фаза почвы представляет собой почвенный раствор, который формируется из воды, поступающей в почву с атмосферными осадками, из грунтовых вод, при конденсации водяных паров. При орошении дополнительным резервом влаги для почвенных растворов становятся поливные воды. Жидкая фаза почвы является наиболее мобильной, динамичной и в то же время активной ее частью. Почвенный раствор играет настолько важную роль в почвообразовании и питании растений, что Г.Н. Высоцкий образно назвал «кровью» почвы, а В.И. Вернадский считал его одной из важнейших категорий вод, «основным субстратом жизни», «основным элементом механизмом биосферы». В почвенном растворе совершаются процессы разрушения синтеза гумусовых веществ, формирования вторичных минералов, образования органо-минеральных соединений. Из почвенного раствора растения получают необходимые питательные вещества и воду. Вследствие того, что одни вещества почвы могут поглощаться растениями, микроорганизмами и коллоидами, а другие могут оставаться в почвенном растворе, между жидкой и твердой фазами почвы устанавливается динамическое адсорбционное равновесие. В почвенном растворе минеральные и органические вещества находятся в молекулярном, коллоидном и ионном состоянии. Кроме того, здесь присутствуют кислород, диоксид углерода и другие растворенные газы.

Качественный и количественный состав почвенного раствора в разных почвах не одинаков. Даже в одной и той же почве его состав изменяется по генетическим горизонтам. Вниз по профилю почв количество органических соединений в почвенном растворе резко снижается в результате их закрепления и минерализации в верхних горизонтах. В каштановых почвах, черноземах, сероземах и солонцах в составе почвенных растворов нижних горизонтов увеличивается содержание минеральных соединений – карбонатов, гипса и легкорастворимых солей.

В зависимости от концентрации почвенного раствора все почвы делятся на две группы – незасоленные и засоленные. *Незасоленными* называются такие почвы, у которых концентрация почвенного раствора не превышает нескольких граммов на 1 л при содержании легкорастворимых солей менее 0,25 %. В *засоленных почвах* концентрация почвенного раствора может достигать нескольких десятков граммов на 1 л, а содержание легкорастворимых солей превышать 0,25 %.

Газовая фаза почвы – это воздух, заполняющий в почве поры, свободные от воды. Его количество в почве зависит от общей порозности и степени увлажнения. Эта зависимость, в свою очередь, обуславливается типом почвы, структурным состоянием и степенью ее окультуренности. При одной и той же влажности в структурных почвах, обладающих некапиллярной пористостью, воздуха больше, чем в бесструктурных. Дополнительное насыщение почвы водой влечет за собой вытеснение из нее воздуха.

Почвенный воздух значительно отличается от атмосферного, его состав определяется характером химических, биохимических и биологических почвенных процессов. Корневая система высших растений и аэробные микроорганизмы активно поглощают O_2 и выделяют CO_2 . Газообмен между почвенным воздухом и атмосферой происходит в результате диффузии CO_2 из почвы в атмосферу и O_2 в почву. Количество CO_2 в почвенном воздухе и в припочвенном слое атмосферы в несколько раз больше, чем в воздухе на высоте нескольких метров. Количество углекислоты в почвенном воздухе существенно меняется в течение года и суток. Ниже приводится состав почвенного (верхние 15–30 см) и атмосферного воздуха [17]:

| Компоненты | Атмосферный воздух | Почвенный воздух |
|-----------------|--------------------|------------------|
| N ₂ | 78,1 % | 78–86 % |
| O ₂ | 20,47 % | 11–21 % |
| CO ₂ | 0,03 % | 0,3–8,0 % |

В более глубоких слоях почвы содержание CO₂ в почвенном воздухе возрастает до 19 %, а содержание O₂ снижается до 10 %.

Живая фаза почвы – это населяющие ее организмы, непосредственно участвующие в почвообразовательном процессе. К ним относятся как микротак и макроорганизмы. Макроорганизмы в свою очередь делятся на макрофауну и макрофлору. Наиболее распространенные представители макрофауны – грызуны, насекомые, насекомоядные, двупарноногие, равноногие, клещи, брюхоногие моллюски, многоножки, пауки и кольчатые черви. Макрофлора почвы в основном состоит из корней растений.

Микроорганизмы включают микрофауну и микрофлору. Микрофауна делится на три группы: нематоды, простейшие и коловратки. Основными представителями почвенной микрофлоры являются бактерии, актиномицеты, водоросли и грибы [12, 13].

Главными экологическими факторами, определяющими природу и количество заселяющих почву живых организмов, являются температура и влажность, а также наличие в ней органических остатков. Основные характеристики живой фазы: общая биологическая, микробиологическая и ферментативная активность почвы, общая численность почвенных микро- и макроорганизмов. С их деятельностью связаны три источника почвенного плодородия: 1) снабжение растений элементами зольного питания за счет разрушения минеральной части почвы; 2) вовлечение в биологический круговорот солнечной энергии, закрепляемой растениями в химических связях, путем ее освобождения и преобразования при разложении и синтезе новых органических соединений, что в конечном итоге приводит к формированию гумуса – основного энергетического фонда почвы; 3) связывание молекулярного азота и перевод его в доступные для растений соединения. Кроме того, микроорганизмы, обладая большим разнообразным и лабильным ферментативным аппаратом, играют исключительно важную роль в формировании фитосанитарного состояния почвы.

Основное свойство почвы – плодородие, т. е. способность почвы удовлетворять потребность растений в элементах питания, влаге, воздухе, биотической (микоризообразователи, животные, микроорганизмы – редуценты) и физико-химической среде, включая тепловой режим и на этой основе обеспечивать урожай сельскохозяйственных культур, а также биологическую продуктивность дикорастущих растений.

Плодородие естественных почв определяется факторами почвообразования и оценивается продуктивностью биоценоза. Плодородие пахотных земель измеряется величиной урожая культурных растений и зависит от уровня развития сельскохозяйственного производства: механизации производственного процесса, обеспечения оптимального водного, воздушного и питательного режимов почвы. Общее содержание элементов питания для растений находится в почвах в достаточном количестве. Так, в черноземах содержится столько азота и фосфора, сколько необходимо для получения среднего урожая пшеницы (40–50 ц/га) в течение 250 лет, а калия – 3000 лет. Однако элементы питания, как правило, содержатся в почве в формах, не-

усвояемых или трудноусваиваемых для растений. Так, определенная часть азота и фосфора находится в ней в форме органических соединений, не доступных растениям. Большая часть калия входит в состав вторичных или первичных силикатов и в таком состоянии практически не усваивается растениями. Кроме того, ежегодно с урожаем из почвы отчуждается значительная часть элементов питания, поэтому для получения высокого урожая необходимо внесение в почву удобрений. Внесением их человек активно влияет на продуктивность агроценоза, целенаправленно изменяя процессы обмена веществ в растениях. Ежегодно в почвы вносится более 120 млн. т удобрений, т. е. в среднем почти 10 т/км² пахотных земель [26; 37].

Большое значение для жизнедеятельности растений имеет водный режим почв. Так, например, для прорастания семян пшеницы требуется около 45 %, а для свеклы – около 120 % воды от их массы. На создание 1 т сухой массы растения пшеницы в среднем расходуют около 500 т воды, а на 1 т риса – более 1000 т. Поэтому важное значение для повышения плодородия почвы имеет проведение агротехнических мероприятий, направленных на увеличение поступления воды в почву: регулирование поверхностного стока, снегозадержание, орошение, а также меры по сохранению влаги в почве. Особое место в этих мероприятиях, безусловно, занимает орошение.

Оросительные системы мира сегодня обслуживают более 250 млн. га. На них в первую очередь выращивается рис, занимающий примерно $\frac{2}{3}$ всей поливной площади мира, хлопчатник, масличные, плодовые и овощные культуры. Всего в мире орошается 15–20 % пахотных земель, которые дают 30–40 % мировой продукции земледелия. В Российской Федерации, где $\frac{2}{3}$ посевов колосовых размещается в засушливых зонах, орошение является самым высокоэффективным агроприемом, обеспечивающим рост урожая культур.

Наряду с механизацией и химизацией большое значение для повышения урожая сельскохозяйственных культур, создания прочной кормовой базы имеет *мелиорация* – совокупность организационных, хозяйственных и технических мероприятий, направленных на коренное улучшение земель. «С помощью мелиорации, – подчеркивает В.А. Ковда [17], – человек перестраивает самоуправляемую экологическую систему, вносит в нее новые постоянные структурные компоненты и превращает ее в управляемую (контролируемую) многокомпонентную агроэкосистему, дающую высокую продукцию необходимого человеку органического вещества». Однако человек оказывает не только положительное влияние на почву, но и отрицательное. Основные виды отрицательного антропогенного воздействия на почвы [1; 26; 30]:

1. Эрозия;
2. Загрязнение;
3. Засоление и заболачивание;
4. Опустынивание;
5. Отчуждение земель для промышленного и коммунального строительства.

Эрозия почв (лат. *erosio* – «разъедание») – совокупность взаимосвязанных процессов разрушения, переноса и отложения почвы и подстилающих ее горных пород, происходящих под воздействием природных и техногенных факторов (табл. 23; [14]).

Таблица 23 – Основные причины деградации почв

| Естественные | Антропогенные |
|--------------------|---|
| Климатические | Нерациональное ведение богарного и орошаемого земледелия |
| Гидрогеологические | Чрезмерный выпас |
| Морфодинамические | Уничтожение почвенно-растительного покрова промышленным, коммунально-бытовым, ирригационным строительством |
| Фитозоогенные | Горные разработки Технологические и аварийные промышленные выбросы Сбросы сточных и дренажных вод Загрязнение, захламление Истощающее землепользование Уплотнение техникой Подтопление, несовершенство поливной техники, нарушение режима орошения (дозы, сроки, технология) Внесение органических и минеральных удобрений |

Эрозия – один из существенных факторов деградации почв и земельных угодий. Масштабность проявления эрозии зависит от уровня плодородия почв, рельефа и климатических условий. Потери верхних горизонтов почв – основной показатель ущерба, нанесенного эрозией; выражается в т/га и мм/год перенесенной почвенной массы (табл. 24; [1]).

Таблица 24 – Потери почвы при эрозии

| Степень эрозии | т/га/год | мм/год |
|------------------------|----------|----------|
| Слабая или отсутствует | < 10 | < 0,6 |
| Умеренная | 10–50 | 0,6–3,3 |
| Сильная | 50–200 | 3,3–13,3 |
| Очень сильная | > 200 | > 13,3 |

По данным UNEP (Программа ООН по охране окружающей среды), в мире разной степени деградации подвержены около 2 млрд. га почв, из них 55,6 % приходится на счет водной эрозии, 28 % – ветровой, более 12 % – химической (табл. 25; [24]).

Таблица 25 – Виды и размеры глобальной антропогенной деградации почв, млн. га

| Виды деградации | Степень деградации | | | Общая площадь |
|--------------------------|--------------------|---------|---------|---------------|
| | слабая | средняя | сильная | |
| Водная эрозия | 343 | 527 | 224 | 1094 |
| Ветровая эрозия | 269 | 254 | 26 | 549 |
| Химическая деградация | 93 | 103 | 43 | 239 |
| Потеря элементов питания | 52 | 63 | 20 | 135 |
| Засоление | 35 | 20 | 21 | 76 |
| Загрязнение | 4 | 17 | 1 | 22 |
| Закисление | 2 | 3 | 1 | 6 |
| Физическая деградация | 44 | 27 | 12 | 83 |
| Общая площадь | 842 | 1014 | 348 | 2204 |

Водная эрозия проявляется на склонах, где стекает дождевая или талая вода. Подразделяется на: 1) плоскостную (сравнительно равномерный смыв почвы под влиянием стока воды, не успевающей впитаться); 2) струйчатую (образование неглубоких промоин, устраняемых обычной обработкой); 3) глубинную (размыв потоками воды почв и горных пород).

Ветровая эрозия, или *дефляция*, развивается на любых типах рельефа, в т.ч. на равнинах; бывает повседневной (ветры малой скорости поднимают в воздух почвенные частицы и относят их на другие участки) и периодической – пыльные (черные) бури (сильные ветры поднимают в воздух верхний слой почвы, иногда вместе с посевами, и переносят почвенные массы на большие расстояния). Как правило, черные бури возникают при скорости ветра порядка 10–12 м/с, но наибольшей силы они достигают при скорости ветра 15–20 м/с. Разрушение почвы под воздействием транспорта, землеройных машин и техники получило название технической эрозии [26].

По степени разрушения эрозию почв подразделяют на: 1) нормальную (естественную) и 2) ускоренную (антропогенную). *Нормальная эрозия* протекает медленно, плодородие почвы не снижается. *Ускоренная эрозия* связана с хозяйственной деятельностью человека – с неправильной обработкой почвы, орошением, нарушением растительного покрова при выпасе скота, вырубкой лесов и строительными работами. Для её решения разработаны зональные комплексы взаимодополняющих агротехнических, лесомелиоративных, гидротехнических и организационно–хозяйственных противоэрозионных мероприятий. Агротехнические мероприятия (обработка участков и посев поперёк склонов, глубокая, более 22 см, вспашка, чередуемая через 2–3 года с обычной вспашкой, плоскорезная и безотвальная обработка почвы, весеннее рыхление зяби полосами, щелевание, залужение склонов) способствуют регулированию стока талых и дождевых вод и значительно уменьшают смыв почвы. В районах распространения ветровой эрозии вместо вспашки применяют плоскорезную обработку почвы культиваторами-плоскорезами с сохранением стерни на поверхности (почвозащитная технология обработки почвы), что уменьшает распыление и способствует большему накоплению почвенной влаги. Во всех районах, подверженных эрозии почв, большое значение имеют почвозащитные севообороты, а также посевы сельскохозяйственных культур между кулис из высокостебельных растений. Из лесомелиоративных мероприятий эффективны защитные лесные насаждения (полезащитные, приовражные и прибалочные лесные полосы). Из гидротехнических мер применяют террасирование на крутых склонах, сооружают водозадерживающие валы и водоотводящие каналы, быстроток и перепады в руслах оврагов и ложбин.

Загрязнение почв – привнесение и накопление в почве антропогенных загрязнителей (пестициды, нефтепродукты, тяжелые элементы, радионуклиды, отходы животноводства, полеводства и промышленности, патогенные организмы...) представляющих опасность для всех живых организмов. Как правило, почвенные загрязнители включаются растениями и животными в пищевые цепи и таким путем доходят до человека [3; 7; 33].

В Российской Федерации отмечается увеличение площади земель, загрязненных токсикантами промышленного происхождения и агрохимикатами. В настоящее время их площадь приближается к 75 млн. га земель (Северо–Кавказский, Центрально–Черноземный экономические районы). Наиболее

загрязнены почвы тяжелыми элементами вблизи крупных промышленных центров (Новокузнецк, Магнитогорск, Иркутск, Красноярск и др.), где их содержание в 10–20 раз превышает фоновые значения.

Почва, как было отмечено выше, является средой обитания многочисленных микроорганизмов – бактерий, актиномицетов, грибов, вирусов, водорослей. В 1 г почвы содержится 3–90 млн. бактерий, 0,1–35 млн. актиномицетов, 8–10 000 тыс. микроскопических грибов, 100 тыс. водорослей и 1,5–6 млн. простейших.

Каждая почва характеризуется определенной обогащенностью микроорганизмами, и она может изменяться при разных видах воздействия на нее. Оценка микробиологического состояния почв дана в таблице 26 [13].

Таблица 26 – Оценка степени обогащенности почв микроорганизмами, люминесцентно-микроскопический метод

| Степень обогащенности почв | Бактерии | | | Микроскопические грибы | | |
|----------------------------|------------------|----------------------|----------------|------------------------|----------------------|----------------|
| | общее количество | | сухая биомасса | длина гиф | | сухая биомасса |
| | млрд/г | млрд/см ³ | кг/га | млрд/г | млрд/см ³ | кг/га |
| Очень бедная | < 1 | < 50 | < 42 | < 30 | < 750 | < 120 |
| Бедная | 1–2 | 50–100 | 42–85 | 30–100 | 750–2500 | 120–400 |
| Среднеобогащенная | 2–5 | 100–200 | 85–170 | 100–300 | 2500–7500 | 400–1200 |
| Богатая | 5–10 | 200–400 | 170–340 | 300–1000 | 7500–25000 | 1200–4000 |
| Очень богатая | > 10 | > 400 | > 340 | > 1000 | > 25000 | > 4000 |

Принято считать, что верхний слой почвы в целом состоит из минеральной субстанции (93 %) и органического вещества (7 %). В свою очередь, органическое вещество включает мертвое органическое вещество (85 %) корни растений (10 %) и эдафон (5 %). В структуру эдафона входят бактерии и актиномицеты (40 %), грибы и водоросли (40 %), дождевые черви (12 %), прочая микрофауна (5 %) и мезофауна (3 %). Масса бактерий составляет примерно 10 т/га; такую же массу имеют микроскопические грибы; масса простейших достигает порядка 370 кг/га. На 1 га пашни приходится 250 тыс. дождевых червей (50–140 кг/га), на 1 га пастбища – 500–1575 тыс. (1150–1680 кг/га), на 1 га сенокосных угодий – 2–5,6 млн. (более 2 т/га). Среди животных организмов биосферы обитатели почвы характеризуются наибольшей биомассой. Исходя из того, что в среднем биомасса почвенной фауны составляет 300 кг/га, на площади 80 млн. км² почвенного покрова Земли (без пустынь) суммарная биомасса почвенных животных всего земного шара – 2,5 млрд. т. Большинство почвенных микроорганизмов – сапрофаги; они живут и размножаются в почве и не приносят вреда животным организмам [20].

Деятельность почвенной фауны состоит в разложении опада на комплексные органические производные (первоначальная функция дождевых червей); данные соединения затем переходят к бактериям, актиномицетам, грибам, освобождающим из органических остатков исходные минеральные компоненты, которые опять ассимилируются продуцентами. Все эти организмы находятся в постоянном взаимодействии; они динамичны в пространстве и во времени; некоторые из них обладают необычайно мощным фермен-

тативным аппаратом и способностью выделять в окружающую среду различные токсины. От деятельности почвенной биоты зависит плодородие почвы, ее «здоровье», качество сельскохозяйственной продукции, состояние окружающей среды. Знание особенностей функционирования почвенно-биологического комплекса (ПБК) в различных экологических условиях необходимо для создания продуктивных и устойчивых агроэкосистем, производства экологически безопасной сельскохозяйственной продукции и минимизации загрязнения биосферы [20]. Вместе с тем в почве, обитают постоянно или временно так называемые патогенные – (греч. *pathos* – страдание + *genos* – рождение) – болезнетворные микроорганизмы, возбудители инфекционных болезней. Некоторые из них (главным образом постоянные обитатели почвы) образуют споры – плотную оболочку, обеспечивающую им высокую устойчивость по отношению к различным неблагоприятным факторам внешней среды: высокой температуре, высушиванию, давлению, элементам питания. Попадая в благоприятные условия, споры приобретают исходную, первоначальную форму.

Группу спорообразующих бактерий принято называть клостридиями. Эти бактерии обладают способностью длительное время сохраняться в почве в виде спор и размножаться в ней в вегетативный период своего существования. К патогенным бактериям относятся также возбудители таких опасных инфекционных заболеваний, как сибирская язва, газовая гангрена, столбняк, ботулизм и др. Возбудители этих болезней в отдельных почвах способны оставаться жизнеспособными многие десятилетия.

Заражение человека через загрязненную почву может наступить при самых различных обстоятельствах: непосредственно при обработке почвы, уборке урожая, строительных работах [2; 26; 31].

Информативными показателями степени деградации почв служат микробиологические тесты. Они позволяют оперативно оценить любые отклонения в функциональной деятельности почвенного микробиоценоза. Основных микробиологических тестов всего четыре (табл. 27; [24]).

Таблица 27 – Показатели и критерии биологической активности почв

| Показатель | Степень деградации | | | | |
|--|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Уровень активной биомассы, кратность уменьшения по сравнению с контролем | < 5 | 5–10 | 10–50 | 50–100 | > 100 |
| Количество патогенных микроорганизмов в 1 г почвы, шт | < 10 ³ | 10 ³ –10 ⁴ | 10 ⁴ –10 ⁵ | 10 ⁵ –10 ⁶ | > 10 ⁶ |
| Фитотоксичность (снижение числа проростков и подавление их роста), кратность | < 1,1 | 1,1–1,2 | 1,2–1,4 | 1,4–2,0 | > 2,0 |
| Генотоксичность (рост числа мутаций в сравнении с контролем), кратность | < 2 | 2–10 | 10–100 | 100–1000 | > 1000 |

При окультуривании почв повышается их биологическая активность, которую оценивают по интегральным показателям. Наибольшее распространение получили методы определения интенсивности дыхания почвы, нитри-

фицирующей и аммонифицирующей способности, а также азотфиксирующей, амило-, протео- и целлюлозолитической активности. Показатели биологической активности почв, в отличие от их физических и физико-химических характеристик, крайне вариабельны и существенно изменяются в течение вегетационного периода.

Для характеристики биохимических процессов трансформации органического вещества определяют энзиматическую активность почвы – дегидрогеназу, полифенолоксидазу, пероксидазу, каталазу, нитратредуктазу, инвертазу, амилазу, целлюлазу, уреазу, протеазу, фосфатазу. Биологическую активность почв чаще всего оценивают по шкале обогащенности их ферментами (табл. 28; [22]).

Таблица 28 – Шкала для оценки степени обогащенности почв ферментами

| Показатель | Почва | | | | |
|---|--------------|----------|-----------|---------|---------------|
| | очень бедная | бедная | средняя | богатая | очень богатая |
| Каталаза O ₂ , см ³ /г за 1 мин | < 1,0 | 1,0–3,0 | 3,0–10,0 | 10–30 | > 30 |
| Дегидрогеназа, ТФФ/10 г за 24 ч | < 1,0 | 1,0–3,0 | 3,0–10,0 | 10–30 | > 30 |
| Инвертаза, мг глюкозы / г 24 ч | < 5,0 | 5,0–15,0 | 15,0–50,0 | 50–150 | > 150 |
| Уреазы, мг NH ₃ / 10 г за 24 ч | < 3,0 | 3,0 10,0 | 10,0–30,0 | 30–100 | > 100 |
| Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ / 10 г за 1 ч | < 0,5 | 0,5–1,5 | 1,5–5,0 | 5–15 | > 15 |

Современные технологии выращивания сельскохозяйственных культур предусматривают широкое применение пестицидов. Их использование предотвращает потери урожая от вредителей на 5,1–20,7 %, болезней – на 13 и сорняков на 6,8–15,7 %. В настоящее время число используемых препаратов достигло 60 тыс.

Наряду с положительным влиянием пестицидов на производство продуктов растениеводства в последнее время накапливаются данные и об отрицательных последствиях их применения. Углубление наших представлений о поведении пестицидов в окружающей среде вскрывает самые неожиданные проявления их действия на живые организмы и экосистемы. Большая часть пестицидов, применяемых при выращивании сельскохозяйственных культур, вносится непосредственно в почву или попадает туда с протравленными семенами, а также в результате смывания с поверхности растений выпадающими осадками. Многие пестициды способны длительное время сохраняться в почве. Поэтому их концентрация в пахотном слое при длительном применении постепенно увеличивается.

Пестициды, попавшие в почву, постепенно распределяются между отдельными ее фазами. Часть из них связывается органическим веществом и закрепляется, таким образом, в виде устойчивых химических соединений. Закрепление их в почве происходит и в результате их аккумуляции в клетках и тканях живых организмов. Другая часть – переходит в почвенный раствор и поэтому очень быстро распространяется по всему пахотному слою. Пестициды, находящиеся в почве, постоянно переходят из одного состояния в другое. Интенсивность и направленность этого процесса зависят от ряда факторов – влажности, температуры, газового режима и выращиваемых культур.

Применение средств химической защиты растений на посевах неизбежно ведет к включению их в биогеохимические потоки. Миграция пестицидов, продуктов их физико-химической и биологической трансформации совершается в основном с поверхностными и внутрипочвенными потоками воды,

в меньшей степени – за счет аэрозольного переноса. В некоторых случаях они переносятся живыми организмами, ведущими подвижный образ жизни.

Появление пестицидов в биосфере планеты представляет существенную опасность для живых организмов. В результате их применения в мире ежегодно отмечается 500 тыс. случаев острых отравлений. Еще больший вред здоровью людей они причиняют без внешне заметных проявлений. При острой и хронической токсичности пестицидов по отношению к живым организмам они обладают тератогенными, эмбриотоксическими, мутагенными и нейротоксическими свойствами [3].

Среди пестицидов наибольшую опасность представляют стойкие хлорорганические соединения, которые могут сохраняться в почвах продолжительное время и даже малые их концентрации в результате биологического накопления могут стать опасными для жизни организмов. В ничтожно малых концентрациях они подавляют иммунную систему организма, а в высоких – обладают выраженными мутагенными и канцерогенными свойствами. Попадая в организм, пестициды могут не только вызвать быстрый рост злокачественных новообразований, но и поражать их генетически, что может представлять серьезную опасность для здоровья будущих поколений.

Пестициды негативно воздействуют на всю фауну и флору почвы. Растительный покров оказался очень чувствительным к действию пестицидов, причем не только в зонах его применения, но и в местах, достаточно удаленных от них, из-за их переноса ветром или поверхностным стоком воды (рис. 8; [38]).

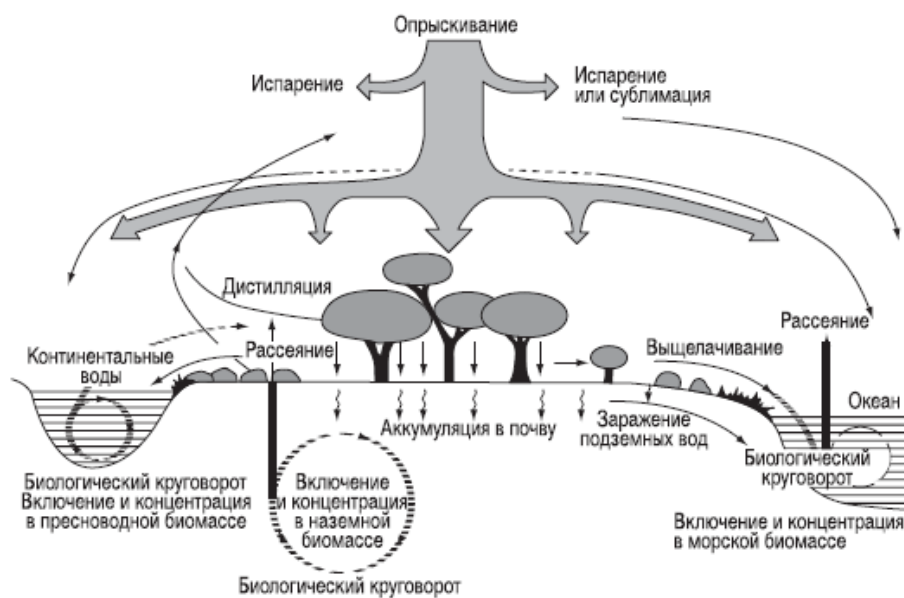


Рисунок 8 – Движение пестицидов в биосфере

Огромный вред для нормального функционирования почв представляют газодымовые выбросы промышленных предприятий. Почва обладает способностью аккумулировать тяжелые элементы (табл. 29; [38]).

Таблица 29 – Последствия воздействия тяжелых элементов на здоровье человека

| Элемент | Последствие воздействия | Источник |
|---------|--|----------------------------|
| Hg | Нервно–паралитические расстройства (болезнь Минамата); нарушение функций желудочно–кишечного тракта, почек; изменение в хромосомах | Почва, природные воды |
| As | Раковые заболевания кожи, интоксикация, периферические невриты | Почва, протравленное зерно |
| Pb | Разрушение костных тканей, задержка синтеза протеина в крови, нарушение нервной системы и почек | Почва, природные воды |
| Cu | Органические изменения в тканях, распад костной ткани, гепатит | Почва, природные воды |
| Cd | Цирроз печени, нарушение функций почек, протеинурия | Почва |

К загрязнению почв приводят отходы производства. В нашей стране ежегодно образуется свыше 1 млрд. т промышленных отходов, из них более 50 млн. т особо токсичных. Огромные площади земель заняты свалками, золоотвалами, хвостохранилищами, которые загрязняют почвы, а их способность к самоочищению весьма ограничена.

Одна из важнейших экологических проблем, с которой связывают окисление природной среды, – кислотные дожди, т. е. выпадение осадков, имеющих pH менее 5,6 [11; 35]. Термин «кислотные дожди» появился в 1872 г. Его ввел в практику английский инженер Роберт Смит, опубликовавший книгу «Воздух и дождь: начала химической климатологии». Кислотные дожди образуются при промышленных выбросах в атмосферу диоксида серы и оксидов азота, которые, соединяясь с атмосферной влагой, образуют серную и азотную кислоты (рис. 9; [38]).

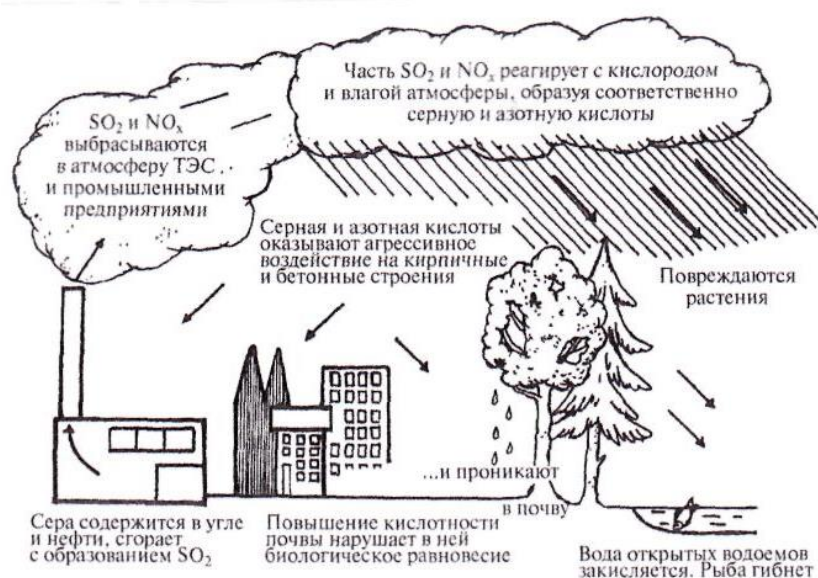


Рисунок 9 – Кислотные дожди: их причины и вредное влияние

Кислотные дожди приводят к негативным экологическим последствиям: закислению почв и снижению урожая сельскохозяйственных культур; закислению пресноводных водоемов и сокращению видового разнообразия рыб; повреждению и гибели лесов; ускорению коррозии мостов, плотин, металлических конструкций; разрушению памятников мировой архитектуры. По мере увеличения кислотности природных вод возрастает растворимость соединений алюминия и тяжелых элементов, причем концентрация алюминия в 0,2 мг/л летальна для гидробионтов. Поэтому многочисленные заморы и гибель рыб, земноводных, моллюсков вызвана не столько высокой кислотностью воды, сколько токсичным воздействием алюминия. По словам канадского министра окружающей среды Дж. Робертса, «кислотный дождь – одна из наиболее тяжелых форм загрязнения окружающей среды, которую только можно себе представить, опасная болезнь биосферы».

Максимальный отрицательный эффект кислотные дожди и газовые выбросы наносят воздушной среде, а через нее – флоре к фауне. Однако велик и уровень загрязнений водной среды и педосферы. Интенсивность выпадения кислотных осадков за последнее 50–70 лет время заметно возрастает. Однако кислотные дожди не являются исключительно порождением века индустриализации. Они были причинами катаклизмов и в далекие времена. Так американские ученые Р. Принн и Б. Фегли считают причиной гибели динозавров длительные кислотные дожди. Откуда же они взялись, если в те далекие времена не было ни ТЭЦ, ни заводов, ни автотранспорта? Полагают, что это случилось в результате столкновения нашей планеты с кометой. Именно тогда в атмосфере образовалось большое количество оксидов азота, которые выпадали в виде дождей с высоким содержанием азотной кислоты. Или другой пример. В 1661 г. – жители Лондона были поражены беспрецедентным по силе смогом (хотя в то время такого понятия и не существовало). Житель Лондона Дж. Эвелин так описывает ситуацию, сложившуюся в городе в результате загрязнения воздуха и выпадения кислых осадков: «Повсюду пагубный дым, затеняющий красоту города, покрывающий все налетом копоти, разрушающий повозки, оставляющий ржавчину на посуде, украшениях и домашней утвари и разъедающий даже балки из чистого железа и самый прочный камень» [11].

Засоление и заболачивание почв. Почва содержит различные соли: Na_2CO_3 , MgCO_3 , CaCO_3 , Na_2SO_4 . Некоторые из перечисленных и прежде всего натриевые соли значительно снижают плодородие почвы. В естественных условиях засоление почв происходит через грунтовые воды, насыщенные солями. Если грунтовые воды расположены на небольшой глубине, в жарких и засушливых районах они поднимаются по почвенным капиллярам и испаряются. На поверхности почвы остаются все растворенные до этого соли. Если грунтовые воды лежат на достаточно большой глубине, то даже в засушливых зонах почва не всегда подвергается засолению.

Наибольшую опасность в земледелии представляет вторичное засоление орошаемых почв. Современные оросительные системы за немногим исключением строятся и функционируют без гидроизоляции. В результате грунтовые воды, поднимаясь вверх, подтопляют поверхность почвы и при отсутствии хорошего естественного дренажа вызывают заболачивание и засоление земель [5; 15; 26].

В мире процессам вторичного засоления и осолонцевания подвержено около 30 % орошаемых земель. Площадь засоленных почв в Российской Феде-

рации составляет 36 млн. га, или 18 % общей площади орошаемых земель. Засоление почв ослабляет их вклад в поддержание биологического круговорота веществ. Исчезают многие виды растительных организмов, их место чаще всего занимают растения галофиты. Уменьшается генофонд популяций в связи с ухудшением условий жизни организмов, усиливаются миграционные процессы.

Как указывалось выше, основная причина вторичного засоления почвы – низкий коэффициент полезного действия оросительных систем. Следовательно, борьба с этим бедствием должна быть, прежде всего, направлена на техническое усовершенствование самих оросительных систем, повышение эффективности использования воды. Основным профилактическим мероприятием, повышающим КПД оросительных систем, является облицовка каналов непроницаемыми экранами и сооружение оросительных каналов в закрытых трубопроводах [3; 26; 28].

Заболачивание почв наблюдается в сильно переувлажненных районах, например в Нечерноземной зоне Российской Федерации, Западно–Сибирской низменности, зонах вечной мерзлоты. Заболачивание почв сопровождается деградационными процессами в биоценозах, появлением признаков оглеения и накоплением на поверхности неразложившихся остатков. Заболачивание ухудшает агрономические свойства почв и снижает продуктивность биоценоза.

Опустынивание – процесс необратимого изменения почвы и растительности, снижения биологической продуктивности, который в экстремальных случаях может привести к превращению территории в пустыню. Происходит главным образом в аридных районах земного шара в результате естественных (засуха, засоление почв, эрозия) и преимущественно антропогенных факторов (сведение лесов, чрезмерная нагрузка на пастбища, интенсивная распашка, ускоренная дефляция, нерациональное водопользование при орошении земель). Эти процессы охватили даже влажные тропические районы, где интенсивное уничтожение лесных формаций под сельхозугодья приводит к активизации процессов эрозии, возникновению оползней и других негативных явлений, способствующих опустыниванию.

Засушливые территории по данным ЮНЕСКО составляют около одной трети суши Земли (табл. 30).

Таблица 30 – Площадь засушливых территорий мира

| Регион | Площадь, млн. га |
|--------------|------------------|
| Супераридные | 900 |
| Аридные | 2680 |
| Семиаридные | 1750 |
| Всего | 5330 |

Приведенные в таблице регионы засушливых земель, согласно классификации ЮНЕСКО, определяются следующими количественными показателями:

1) супераридные территории – годовые осадки менее 100 мм, отсутствует растительность за исключением эфемеров и кустарников по руслам водотоков; земледелие и животноводство невозможны, за исключением оазисов. Это настоящие пустыни с индексом аридности 0,03;

2) аридные территории – годовые осадки 100–200 мм, скудная, разреженная и однолетняя растительность; земледелие возможно при орошении, а скотоводство лишь кочевое; индекс аридности 0,03–0,2;

3) семиаридные территории – годовые осадки 200–400 мм; полупустынная и кустарниковая растительность с прерывистым покровом; возможно неустойчивое богарное земледелие и развитое пастбищное животноводство; индекс аридности 0,2–0,5.

Масштабы опустынивания огромны, ежегодно в мире 21 млн. га земель вследствие опустынивания теряют свою продуктивность до полной экономической нецелесообразности их использования (табл. 31; [24]).

Таблица 31 – Масштабы опустынивания земель различных видов использования в разных регионах планеты

| Регион | Засушливые пастбища | | Неполивные пахотные земли | | Поливные земли | |
|------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| | общая площадь, тыс. га | деградированные земли, % | общая площадь, тыс. га | деградированные земли, % | общая площадь, тыс. га | деградированные земли, % |
| Африка | 1342345 | 74 | 79822 | 61 | 102424 | 18 |
| Азия | 1571240 | 76 | 218174 | 56 | 92021 | 35 |
| Австралия | 657233 | 55 | 42120 | 34 | 1870 | 13 |
| Европа | 111570 | 72 | 22106 | 54 | 11898 | 16 |
| С. Америка | 483141 | 85 | 74169 | 16 | 20867 | 28 |
| Ю. Америка | 390901 | 76 | 21346 | 31 | 8415 | 17 |
| Всего | 4556430 | 73 | 457737 | 47 | 237495 | 30 |

Критерии оценки деградации земель при опустынивании включают многочисленные показатели состояния почв и растительности (табл. 32; [24]).

В Российской Федерации опустынивание охватывает около 1–1,2 млн. км², что составляет около 7 % от общей площади земель. Наиболее вредны водная эрозия и дефляция. Примерно каждый четвертый гектар сельскохозяйственных угодий эродирован в разной степени. Годовой прирост площади смытых почв только в черноземной зоне страны составляет 0,3–0,5 %, а в отдельных районах достигает порядка 1 %. Почвы разрушаются оврагами, площадь которых составляет около 2,4 млн. га и ежегодно увеличивается на 0,1–0,2 млн. га. Опустынивание подрывает продовольственную безопасность страны: на 7–8 % территории Российской Федерации, подверженных опустыниванию, производится более 70 % сельскохозяйственной продукции страны. Недобор урожая только растениеводства составляет 20–30 % [24].

Отчуждение земель. Почвенный покров агроэкосистем необратимо нарушается при отчуждении земель для нужд несельскохозяйственного пользования: строительстве промышленных объектов, городов, поселков, прокладке дорог, трубопроводов, линий связи, а также, при открытой разработке месторождений полезных ископаемых. По данным ООН, в мире только при строительстве городов и дорог ежегодно безвозвратно теряется более 300 тыс. га пахотных земель. Конечно, эти потери в связи с развитием цивилизации неизбежны, однако они должны быть сокращены до минимума.

На здоровье человека может оказывать определенное влияние химический состав почвы. Еще В.И. Вернадский обратил внимание на значение для организмов некоторых находящихся в почве микроэлементов. Многие из них оказывают существенное влияние на рост и развитие растений, на состояние и функции организма животных, в т. ч. и человека. Отсутствие того или другого

Таблица 32 – Критерии оценки деградации земель

| Критерий современного состояния | Классы опустынивания | | |
|---|--------------------------------------|---|---|
| | слабое | умеренное | сильное и очень сильное |
| Деградация растительного покрова | | | |
| 1. Растительное сообщество | Климатское или слабо измененное | Длительное произрастание | Эфемерное |
| 2. Климатских видов, % | >75 | 75–25 | <25 |
| 3. Сокращение проективного покрытия, % | <25 | 25–75 | >75 |
| 4. Потери кормов на пастбищах, % | <25 | 25–75 | >75 |
| 5. Сокращение прироста древесины в лесу, % | <25 | 25–75 | >75 |
| Ветровая эрозия | | | |
| Необработываемые земли | | | |
| 1. Площадь, покрытая лесами, % | <30 | 30–70 | >70 |
| 2. Площадь, покрытая дерниной, % | 50–30 | 30–10 | <10 |
| Обработываемые земли | | | |
| 1. Выдувание верхнего почвенного горизонта, % | <25 | 25–50 | >50 |
| 2. Площади, занятые котловинами выдувания, % | <5 | 5–10 | >10 |
| 3. Потеря урожая ведущей культуры, % | <25 | 25–50 | >50 |
| Водная эрозия | | | |
| Необработываемые земли | | | |
| 1. Тип эрозии | Плоскостной смыв, эрозионные борозды | Плоскостной смыв, эрозионные борозды, образование оврагов | Плоскостной смыв, эрозионные борозды, овражная сеть |
| 2. Смыв поверхностного горизонта, % | <25 | 25–50 | >50 |
| Обработываемые земли | | | |
| 1. Смыв поверхностного горизонта, % | <25 | 25–50 | >50 |
| 2. Потеря урожая ведущей культуры, % | <25 | 25–50 | 25–50 |
| Засоление орошаемых земель | | | |
| 1. Степень засоления по плотному остатку, % | 0,20–0,40 | 0,40–0,60 | >0,60 |
| 2. Минерализация грунтовых вод, % | 3–6 | 6–10 | 10–30 |
| 3. Минерализация оросительных вод, % | 0,5–1,0 | 1,0–1,5 | >1,5 |
| 4. Сезонное накопление солей, т/га | 16–30 | 30–45 | 45–90 |
| 5. Потеря урожая основной культуры, % | <15 | 15–40 | >40 |

микроэлемента сопровождается специфическими признаками его недостаточности. Заболевания, связанные с недостатком или избытком микроэлементов, получили название эндемических (от греч. *endemos* – местный). Районы, в которых обнаруживаются эти отклонения в развитии растений и животных, а также регистрируются эндемические заболевания, связанные с местными геохимическими особенностями, А.П. Виноградов назвал биогеохимическими провинциями.

На основе биогеохимического районирования В.В. Ковальским установлены пороговые концентрации ряда химических элементов в почвах (табл. 33; [16]).

Таблица 33 – Пороговые концентрации химических элементов в почвах, мг/кг

| Элемент | Нормальное содержание | Нижняя граница пороговой концентрации | Верхняя граница пороговой концентрации |
|---------|-----------------------|---------------------------------------|--|
| Co | 7–30 | 2–7 | >30 |
| Cu | 15–60 | 6–15 | >60 |
| Mn | 400–3000 | <400 | >3000 |
| Zn | 30–70 | <30 | >70 |
| B | 6–30 | 6–30 | >30 |
| Mo | 1,5–4 | >1,5 | >4 |
| Sr | 600 | <600 | >600 |
| J | 5–40 | 2–5 | >40 |

Почва обладает способностью накапливать радиоактивные элементы, поступающие в нее с отходами ядерных и энергетических реакторов, регенерационных установок «горячих» лабораторий, медицинских, научно-исследовательских учреждений, использующих радиоизотопы, а также с атмосферными осадками после ядерных испытаний. Из радиоактивных изотопов наибольшую опасность представляют ^{90}Sr и ^{137}Cs с длительными периодами полураспада (соответственно 28 и 30 лет). Радиоактивные элементы включаются в пищевые цепи и поражают живые организмы. Поражение организма может быть как индивидуальным (развитие злокачественных новообразований), так и генетическим, представляющим потенциальную опасность для здоровья будущих поколений.

Т.И. Хаханина, Н.Г. Никитина и Л.С. Суханова [34] сделали следующие выводы о химическом составе и причинах химической устойчивости почв:

1. Почвы имеет сложный химический состав как по набору и количественному соотношению элементов, так и по формам их соединений.

2. Наиболее активную химическую роль в почвах играют те вещества, которые находятся в высокодисперсном состоянии (ил, «плазма»); к ним относятся гуминовые вещества, слоистые глинистые минералы, ионные и молекулярные дисперсии.

3. Для почв характерно образование и накопление специфических гумусовых веществ, наиболее активных составляющих органического вещества почвы.

4. В почвах одновременно протекает множество реакций, зачастую противоположно направленных, что обуславливает стабильность системы: многообразие химических соединений и реакций – главное условие устойчивости почв.

5. В каждой природной зоне формируются почвы, которые имеют специфический химический состав и режимы, хорошо согласованные с экологической обстановкой или, по В. В. Докучаеву, соответствующие факторам почвообразования.

Нормальное функционирование экосистем в условиях загрязнения предполагает в первую очередь сохранение систем биотрансформации и детоксикации. В качестве оценочных при этом используют следующие показатели: самоочищающую способность почвы, степень концентрирования химического элемента в растении, т. е. коэффициент биологического поглощения (КБП), показатель содержания токсиканта в почве и коэффициент концентрации (K_c), равный отношению концентраций ингредиента в загрязненной почве к фоновой. Критериями экологического нормирования также могут служить экологическая емкость территории, экологически оптимальная биопродуктивность (максимально возможная в конкретных условиях данного района), биологическая продуктивность биогеоценозов, агро- и урбаноценозов с учетом оптимального для данной территории состава растительного и животного мира.

В таблице 34 представлена, предложенная Т.М. Обуховым и Л.Н. Ефремовой [цит. по: 6], шкала экологического нормирования содержания тяжелых элементов с учетом генетического типа почв.

Таблица 34 – Шкала экологического нормирования содержания тяжелых элементов для геохимической ассоциации почв со слабокислой и кислой реакцией, мг/кг

| Градация | Pb | Cd | Zn | Cu | Ni | Hg |
|---------------------------|----------|-----------|----------|---------|---------|-----------|
| Уровень содержания | | | | | | |
| Очень низкий | <5 | <0,05 | <15 | <5 | <10 | <0.05 |
| Низкий | 5–10 | 0,05–0,10 | 15–30 | 5–15 | 10–20 | 0,05–0,10 |
| Средний | 10–35 | 0,10–0,25 | 30–70 | 15–50 | 20–50 | 0,10–0,25 |
| Повышенный | 35–70 | 0,25–0,50 | 70–100 | 50–80 | 50–70 | 0,25–0,50 |
| Высокий | 70–100 | 0,50–1,00 | 100–150 | 80–100 | 70–100 | 0,50–1,0 |
| Очень высокий | 100–150 | 1–2 | 150–200 | 100–150 | 100–150 | 1–2 |
| Уровень загрязнения (ПДК) | | | | | | |
| Низкий | 100–150 | 1–2 | 150–200 | 100–150 | 100–150 | 1–2 |
| Средний | 150–500 | 2–5 | 200–1000 | 150–250 | 150–300 | 2–5 |
| Высокий | 500–1000 | 5–10 | 500–1000 | 250–500 | 300–600 | 5–10 |
| Очень высокий | >1000 | >10 | >1000 | >500 | >600 | >10 |

Разработаны критерии физической деградации, химического и биологического загрязнений, которые целесообразно использовать при экологическом нормировании (табл. 35; [20]).

Установление ПДК загрязняющих веществ в почвах весьма трудная задача. С одной стороны, педосфера – среда, гораздо менее подвижная, чем гидросфера и атмосфера, и аккумуляция поступающих в почву химических веществ может происходить в течение продолжительного времени, постепенно приближаясь к предельно допустимым концентрациям. Поэтому основным фактором определения предельно допустимых выбросов (ПДВ) для какого-либо предприятия или группы предприятий должно быть предполагаемое время работы, в течение которого в почве прилегающих территорий накопится количество выбрасываемого загрязняющего вещества, достигающее ПДК. С другой стороны, активная микробиологическая жизнь почвы и протекающие в ней физико-химические процессы способствуют трансформации посторонних веществ, поступающих в почву, причем направление и глубина этого процесса определяются целым рядом факторов. В одних случаях

Таблица 35 – Критерии экологической оценки состояния почв

| Показатель | Экологическое бедствие | Чрезвычайная экологическая ситуация | Удовлетворительная ситуация |
|--|------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Площадь выведенных из сельскохозяйственного оборота земель вследствие их деградации, от процента общей площади сельхозугодий | >50 | 30–50 | до 5 |
| Уничтожение гумусового горизонта | A+B | A (A) | до 0,1 а |
| Перекрытость поверхности почвы абиотическими наносами, см | >20 | 10–20 | отсутствие |
| Увеличение плотности почвы по отношению к равновесной, % | >40 | на 30–40 | до 10 |
| Превышение уровня грунтовых вод, проценты от критического значения | >50 | 25–50 | допустимый уровень |
| Радиоактивное загрязнение, Ки/км: | | | |
| цезий–137 | >40 | 15–40 | до 1 |
| стронций–90 | >3 | 1–3 | до 0,3 |
| плутоний (сумма изотопов) | >0,1 | >0,1 | – |
| Мощность экспозиционной дозы на уровне 1 м от поверхности почвы, мкР/ч | >400 | 200–400 | до 20 |
| Потери гумуса в пахотных почвах за 10 лет (относительные), % | >25 | 10–25 | <1 |
| Увеличение содержания легкорастворимых солей, г/100 г почвы | >0,8 | 0,4–0,8 | до 0,1 |
| Увеличение доли обменного натрия, проценты от емкости катионного обмена | >25 | 15–25 | до 5 |
| Превышение ПДК химических веществ: | | | превышения |
| I класса опасности (включая бенз(а)пирен, диоксины) | >3 раза | в 2–3 раза | нет |
| II класса опасности | >10 раз | в 5–10 раз | >> |
| III класса опасности (включая нефть и нефтепродукты) | >20 раз | в 10–20 раз | >> |
| Суммарный показатель химического загрязнения (Z_c) | >128 | 32–128 | <16 |
| Снижение уровня активной микробной массы | >100 раз | в 50–1000 раз | до 5 раз |
| Фитотоксичность почвы (снижение числа проростков), проценты к фону | >200 | 140–200 | до 110 |
| Дополнительные показатели | | | |
| Доля загрязненной сельскохозяйственной продукции, от процентов проверенной | >50 | 25–30 | до 5 |
| Число яиц гельминтов в 1 кг почвы | >100 | 10–100 | отсутствие |
| Число патогенных микроорганизмов в 1 кг почвы | >10 | 10–10 | <10 |
| Колититр (для почвы – наименьшая масса почвы в г, в которой содержится 1 кишечная палочка) | <0,001 | 0,01–0,001 | >1,0 |
| Генотоксичность почвы (рост числа мутаций по сравнению с контролем), число раз | >1000 | 100–1000 | <2 |

разрушение загрязняющих веществ и их миграция так малы, что ими можно пренебречь; в других – деградации и миграции поллютантов в почве сопоставимы с темпами поступления, и предел их накопления обуславливается равновесием между процессом поступления загрязняющих веществ и их удалением в результате разрушения или миграции. Следовательно, ПДК загрязняющих веществ в почвах определяется не только их химической природой и токсичностью, но и особенностями самих почв. В отличие от атмосферы и гидросферы почвы зонально–генетического ряда настолько разнятся друг от друга по химическому составу и свойствам, что для них не могут быть установлены единые уровни ПДК. Эти уровни неизбежно должны варьировать в зависимости от конкретной обстановки: биоклиматических особенностей природной зоны, свойств почвы, возделываемых культур, системы удобрений и агротехники.

Почва от других компонентов биосферы отличается еще и тем, что поллютанты поступают в нее не только с атмосферными выпадениями, поливными водами, в составе балластных веществ и различных отходов, но и вносятся с агрохимикатами и в первую очередь с пестицидами. При этом в почвах сложно проследить тенденции изменения уровней загрязнения, т. к. для этого требуются длительные наблюдения. Исключение составляют лишь некоторые виды пестицидов, способные быстро разлагаться под воздействием экологических факторов. Установленные в настоящее время нормативы их содержания в почве приведены в таблице 36.

Таблица 36 – ПДК пестицидов в почве, мг/кг воздушно–сухой почвы

| Пестицид | ПДК | Пестицид | ПДК |
|-------------------------|------|-----------------------|------|
| Атразин | 0,01 | Малатион | 2,0 |
| Базудин | 0,1 | Металаксил | 0,05 |
| Бетанал | 0,25 | Пиримифосметил | 0,5 |
| 2,4–Д (кислота) | 0,1 | Прометрин | 0,5 |
| 2,4–Д (дихлорфенол) | 0,05 | Ронит | 0,8 |
| 2,4–Д (аминная соль) | 0,25 | Севин | 0,05 |
| 2,4–Д (бутиловый эфир) | 0,15 | Симазин | 0,2 |
| 2,4–Д (кротиловый эфир) | 0,15 | Трихлорфон (хлорофос) | 0,5 |
| 2,4–Д (октиловый эфир) | 0,15 | Фталофос | 0,1 |
| Карбофуран | 0,01 | Хлорпирифос | 0,2 |

Много внимания уделяется разработке нормативов содержания в почве тяжелых элементов. Восстановление биологической продуктивности почв, загрязненных тяжелыми элементами – одна из наиболее сложных проблем охраны биоценозов.

Определение ПДК химических веществ в почвах фактически сводится к экспериментальному определению способности этих веществ поддерживать допустимую для живых организмов их концентрацию в контактирующих с почвой воде, воздухе, растениях. ПДК химических веществ для почв устанавливается по общесанитарному, транслокационному, миграционному водному и миграционному воздушному показателям (табл. 37).

Транслокационный показатель определяют по способности почв поддерживать содержание химических веществ на допустимом для растений уровне (тест-культурами служат редис, салат, горох, фасоль, капуста и др.).

Соответственно миграционный водный и миграционный воздушный – по способности обеспечивать содержание этих веществ в воде и в воздухе не выше ПДК. Норматив для почв устанавливается по наименьшему из всех экспериментально найденных показателей.

Таблица 37 – Предельно допустимые концентрации химических веществ в почвах и допустимые уровни их содержания по показателям вредности

| Вещество | ПДК, мг/кг почвы с учетом фона | Показатель вредности | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|---|----------------|-------------|----------------|
| | | транслокационный (накопление в растениях) | миграционный | | общесанитарный |
| | | | водный | воздушный | |
| Подвижные формы | | | | | |
| Медь | 3,0 | 3,5 | 72,0 | – | 3,0 |
| Никель | 4,0 | 6,7 | 14,0 | – | 4,0 |
| Цинк | 23,0 | 23,0 | 200,0 | – | 37,0 |
| Кобальт | 5,0 | 25,0 | Более 1000 | – | 5,0 |
| Фтор | 2,8 | 2,8 | – | – | – |
| Хром | 6,0 | – | – | – | 6,0 |
| Водорастворимые формы | | | | | |
| Фтор | 10,0 | 10,0 | 10,0 | – | 25,0 |
| Валовое содержание | | | | | |
| Сурьма | 4,5 | 4,5 | 4,5 | – | 50,0 |
| Марганец | 1500,0 | 3500,0 | 1500,0 | – | 50,0 |
| Ванадий | 150,0 | 170,0 | 350,0 | – | 150,0 |
| Марганец + ванадий | 1000,0 + 100,0 | 1500,0 + 150,0 | 2000,0 + 200,0 | – | 1000,0 + 100,0 |
| Свинец | 30,0 | 35,0 | 260,0 | – | 30,0 |
| Мышьяк | 2,0 | 20,0 | 15,0 | – | 10,0 |
| Ртуть | 2,1 | 2,1 | 33,3 | 2,5 | 5,0 |
| Свинец + ртуть | 20,0 + 1,0 | 20,0 + 1,0 | 30,0 + 2,0 | – | 30,0 + 2,0 |
| Медь | 55* | – | – | – | – |
| Никель | 85* | – | – | – | – |
| Цинк | 100* | – | – | – | – |
| Хлорид калия | 560,0 | 100,0 | 560,0 | 1000,0 | 5000,0 |
| Нитраты | 130,0 | 180,0 | 130,0 | – | 225,0 |
| Сероводород | 0,4 | 160,0 | 140,0 | 0,4 | 160,0 |
| Элементарная сера | 160,0 | 180,0 | 380,0 | – | 160,0 |
| Серная кислота | 160,0 | 180,0 | 380,0 | – | 160,0 |
| Комплексные гранулированные удобрения | 120,0 | 800,0 | 120,0 | 800,0 | 800,0 |
| Жидкие комплексные удобрения | 80,0 | Более 800,0 | 80,0 | Более 800,0 | 800,0 |

* Ориентировочные ПДК

Уровни ПДК (общее содержание), установленные по разным показателям, отражают как токсичность химических веществ, так и доминирующий механизм их распространения в природных средах. Например, для ртути лимитирующим является общесанитарный показатель, для мышьяка – транслокационный, для хлористого калия – водный, для сероводорода – воздушный (табл. 38).

Таблица 38 – ПДК химических веществ (общее содержание) в почвах и их лимитирующие показатели

| Вещество | ПДК, мг/кг |
|------------------------|------------|
| Общесанитарный | |
| Бенз(а)пирен | 0,02 |
| Свинец | 32 |
| Транслокационный | |
| Ксилол | 0,3 |
| Ртуть | 2,1 |
| Воздушный миграционный | |
| Сероводород | 0,4 |
| Формальдегид | 7,0 |
| Стирол | 0,1 |

Для установления степени загрязненности почв химическими элементами, в отдельных странах используются статистическое нормирование. Этот путь установления ПДК химических элементов в почвах состоит в определении усредненных уровней их содержания в природных средах в естественных условиях. Теоретическая основа такого подхода: среднее содержание химических элементов в природных средах в естественных условиях соответствует условиям нормального состояния живых организмов. Методически задача состоит в том, чтобы определить фоновые уровни (а при отсутствии фоновых – кларки) содержания химических элементов в почвах, учесть их природное варьирование, и отклонением от нормы считать значимое превышение верхнего предела возможных уровней содержания этого элемента. За значимое принимается превышение от среднего содержания элемента на 3 стандартных отклонения. На такой основе построены некоторые зарубежные системы ПДК для почв (табл. 39).

Таблица 39 – Предельно допустимые концентрации химических элементов в почвах, мг/кг

| Элемент | Автор(ы) | | | | |
|---------|--------------------|--------|----------------|-------|-------------------|
| | El Bassam, Tietjen | Linzon | Kabata-Pendias | Kloke | Kitagishi, Yamane |
| As | 50 | 25 | 30 | 20 | 15 |
| B | 100 | 100 | 25 | | |
| Be | 10 | 10 | 10 | | |
| Cd | 5 | 8 | 5 | 3 | |
| Co | 50 | 25 | 40 | 50 | 50 |
| Cr | 100 | 75 | 100 | 100 | |
| Cu | 100 | 100 | 100 | 100 | 125 |
| F | 500 | | 1000 | 200 | |
| Hg | 5 | 0,3 | 5 | 2 | |
| Mo | 10 | 2 | 10 | 5 | |
| Ni | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Pb | 100 | 200 | 100 | 100 | 400 |
| Se | 10 | 5 | 10 | 10 | |
| V | 1 | 60 | 100 | 50 | |
| Zn | 300 | 400 | 300 | 300 | 250 |

К этой группе нормативов качества почв следует также отнести показатель суммарного загрязнения почв (Z_c) (табл. 40; [24]). Рассчитывают его по формуле, предложенной Ю.Е. Саетом:

$$Z_c = (S_{Ci} / C_{\phi}) - (n - 1).$$

Таблица 40 – Показатель суммарного загрязнения почв

| Категория загрязнения | Показатель загрязнения |
|-----------------------|------------------------|
| Допустимая | 1–8 |
| Слабая | 8–16 |
| Средняя | 16–32 |
| Сильная | 32–64 |
| Очень сильная | 64–128 |

Для оценки санитарного состояния почвы можно ориентировочно пользоваться также данными, приведенными в таблице 41.

Таблица 41 – Комплексные гигиенические показатели санитарного состояния почвы

| Почва | Число личинок и куколок мух в 0,25 м ² почвы | Число яиц гельминтов в 1 кг почвы | Титр–коли | Титр анаэробов (титр Perfringens) | Санитарное число |
|---------------------|---|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------------|
| Чистая | 0 | 0 | ≥1 | ≥0,1 | 0,98–1 |
| Мало загрязненная | единичные экземпляры | ≤10 | 1,0–0,01 | 0,1–0,001 | 0,85–0,08 |
| Загрязненная | 10–25 | 11–100 | 0,01–0,001 | 0,001–0,0001 | 0,7–0,80 |
| Сильно загрязненная | 25 | > 100 | ≤0,001 | ≤0,0001 | ≤0,7 |

В связи с увеличением количества катастроф природного и техногенного характера повышается внимание к оценке экологического риска, т. е. нежелательных для человека и почв последствий антропогенной деятельности, которые могут произойти с определенной долей вероятности. Понятие экологического риска связано с понятием опасности, крайней степенью проявления которой является экологическая катастрофа.

При этом учитываются следующие факторы, характеризующие исследуемый ландшафт [20; 24; 29]: 1) тип почв – характеризует кислотно–щелочные условия, содержание и тип гумуса, численность и видовой состав микрофлоры; 2) гранулометрический состав – характеризует почвенную поглощательную способность, содержание физической глины и песка; 3) положение в рельефе – характеризует степень геохимической подчиненности почв в ландшафте, т. е. интенсивность и направленность процессов рассеивания и аккумуляции загрязняющих веществ; 4) водный режим почв – характеризует соотношение количества осадков и испаряемости; 5) тип растительности – характеризует биологический фактор, оказывающий влияние на степень подвижности загрязняющих веществ; 6) почвообразующие породы – характеризуют направление и скорость почвообразовательного процесса.

Негативный эффект влияния поллютантов, на почвы оценивается по реакции чувствительных живых организмов. Для нахождения ориентировоч-

ного показателя экологического риска для почвы нужны два показателя: общая химическая нагрузка загрязняющего вещества на педосферу и критическая их нагрузка на данную территорию. Общую химическую нагрузку находят по массе всех потоков вещества на данную территорию и выражают в кг/га или т/га. Основными источниками их на пахотных землях чаще всего являются атмосферные выпадения и средства химизации. Под критической нагрузкой понимается максимально безопасное для данного ландшафта количество загрязняющего вещества. Её находят, принимая во внимание все механизмы трансформации и перераспределения исследуемых веществ на данной территории, а также механизмы устойчивости почв данной территории, основываясь на их поглотительной способности.

Показатель критической нагрузки можно получить разными способами [24]: а) экспериментально, определив параметры процессов, влияющих на поведение исследуемых веществ в данных почвах или используя необходимые сведения из различных источников; б) используя существующие программы, предназначенные для вычисления критических нагрузок конкретных поллютантов по вышеуказанным показателям; в) по критическому содержанию исследуемых веществ в урожае, полученные на данной почве; г) опираясь на ПДК химических веществ в почвах, переведя их величины из мг/кг массы вещества в кг/га площади исследуемых почв. Ориентировочный показатель экологического риска для почв можно найти как отношение общей химической нагрузки на педосферу к критической нагрузке этих веществ на эту же территорию [24].

Уровни показателя экологического риска загрязнения почв измеряются величинами, превышающими единицу. Они могут быть классифицированы (табл. 42).

Таблица 42 – Классификация риска загрязнения почв

| Интегральный показатель риска R_j | Категория риска | Вероятность наступления негативных событий | Опасность загрязнения почв |
|-------------------------------------|--------------------|--|----------------------------|
| $R_j < 1$ | Незначительный | $\rightarrow 0$ | Отсутствует |
| $R_j = 1-10$ | Условно допустимый | 0,1 | Незначительная |
| $R_j = 10-30$ | Условно допустимый | 0,2 | Очень низкая |
| $R_j = 30-70$ | Условно допустимый | 0,3 | Низкая |
| $R_j = 70-100$ | Недопустимый | 0,4 | Умеренная |
| $R_j = 100-250$ | Недопустимый | 0,5 | Умеренно высокая |
| $R_j = 250-500$ | Недопустимый | 0,6 | Высокая |
| $R_j = 500-800$ | Недопустимый | 0,7 | Экстремальная |
| $R_j = 800-1000$ | Недопустимый | 0,7-0,9 | Предкризис |
| $R_j > 1000$ | Недопустимый | 0,9-1 | Кризисная |

Нормирование на основе концепции экологического риска имеет прямой выход в практику, т. к. позволяет учитывать опасность загрязнения почвы при расчете кадастровой стоимости.

В настоящее время в подходах к нормированию содержания химических элементов в почвах все большее распространение получает экосистемная направленность. В данном случае для выявления максимально допустимого воздействия на экосистему необходимо среди всех воздействий выявить то,

которое оказывает наиболее сильное негативное действие. При экосистемном подходе нужно принимать во внимание не только токсическое действие химического вещества. Следует оценивать и другие возможные виды нарушения экосистемы, такие как сокращение видового разнообразия, изменение отдельных групп биоты, выпадение из экосистемы видов-доминантов, изменение величины продуктивности, упрощение трофической цепи, уменьшение ассимиляционной емкости экосистемы и ее способности к самоочищению, разрушение экосистемы. *Под ассимиляционной емкостью* понимается количество поллютанта, которое система способна ассимилировать без нарушения закономерностей ее функционирования. При ее расчете принимаются во внимание все потоки вещества: его поступление из разных источников, вынос за пределы системы, сорбция почвенными компонентами, перевод в нерастворимые формы, биотическая и абиотическая деструкция. В качестве показателя сохранности экосистемы можно использовать и баланс гумуса в почве. При этом предлагается считать нагрузки на экосистемы допустимыми, если в почве поддерживается равновесный баланс гумуса, что свидетельствует о выполнении почвами их функции в биосфере. Есть предложение признаком нарушения сохранности и целостности экосистемы считать накопление в зоне техногенного воздействия на биогеоценоз неразложившейся подстилки, что может свидетельствовать о незавершенности круговорота углерода [20; 24; 30].

Вопросы для самоконтроля.

1. Дайте определение, что понимают под атмосферой Земли.
2. Как изменяется температура атмосферы в вертикальном направлении?
3. Как изменяется содержание основных составляющих компонентов атмосферы?
4. Что такое поллютанты?
5. Что такое антропогенные факторы?
6. Какие вещества являются основными источниками загрязнения атмосферы?
7. Как влияют поллютанты на экосистему?
8. Какие города Российской Федерации характеризуются наиболее высоким уровнем загрязнения атмосферы?
9. Назовите ПДК наиболее часто встречающихся загрязнителей воздуха.
10. Какие методы используются для охраны атмосферы от негативного воздействия поллютантов?
11. Что такое гидросфера?
12. Каковы особенности Мирового океана с экологической точки зрения?
13. Какие экологические функции выполняет гидросфера?
14. Как происходит загрязнение гидросферы?
15. Каким образом пестициды поступают в гидросферу? Каковы последствия?
16. Из чего складываются запасы пресной воды?
17. Оцените водные ресурсы Российской Федерации.
18. Объясните, почему для развития растений нужна вода.
19. Какие общие требования предъявляют к составу и свойствам воды водных объектов для хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых целей?
20. Что такое педосфера? Дайте определение.
21. Кем был введен в научный оборот термин педосфера?
22. Назовите экологические функции педосферы.
23. Изложите понятия о твердой, жидкой, газовой и живой фазах почвы.
24. Назовите и охарактеризуйте основные виды антропогенного воздействия на почву.
25. Дайте определение терминов эрозия, загрязнение, засоление, заболачивание, опустынивание и отчуждение земель.

26. Назовите основные причины деградации почв.
27. Какие последствия воздействия тяжелых элементов на здоровье человека вы можете назвать?
28. Дайте определение кислотных осадков.
29. Что означает ПДК?
30. Назовите причины химической устойчивости почв.
31. Перечислите критерии экологической оценки состояния почв.
32. Какими причинами может быть вызвано химическое загрязнение почв?
33. Как влияют поллютанты на почвенную биоту?
34. В чем отличительные особенности установления ПДК в почвах от воздуха и воды?

Литература

1. Агесс П. Ключи к экологии / П. Агесс. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 96 с.
2. Алексеев С.В. Экология человека / С.В. Алексеев, Ю.П. Пивоваров. – Экология человека. – М.: ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, 2001. – 640 с.
3. Андруз Дж. Введение в химию окружающей среды / Дж. Андруз, П. Бримбл-кумб, Т. Джикелз, П. Лисс. – М.: Мир, 1999. – 271 с.
4. Белопухов С.Л. Химия окружающей среды / С.Л. Белопухов, Н.К. Сюняев, М.В. Тютюнькова. – М.: Проспект, 2016. – 240 с.
5. Бертокс П. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнителей / П. Бертокс, Д. Радд. – М.: Мир, 1980. – 606 с.
6. Гайдукова Н.Г. Мониторинг содержания тяжелых металлов в системе удобрение-почва-растение / Н.Г. Гайдукова, И.В. Шабанова, Н.Н. Нещадим, А.В. Загорулько. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 181 с.
7. Гогмачадзе Г.Д. Деградация почв: причины, следствия, пути снижения и ликвидации / Г.Д. Гогмачадзе. – М.: МГУ, 2011. – 272 с.
8. Голдовская Л.Ф. Химия окружающей среды / Л.Ф. Голдовская. – М.: Мир: БИНОМ, 2008. – 295 с.
9. Деградация и охрана почв / Отв. ред. Г.В. Добровольский. – М.: МГУ, 2002. – 651 с.
10. Добровольский Г.В. Экология почв / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: МГУ-Наука, 2006. – 364 с.
11. Заиков Г.Е. Кислотные дожди и окружающая среда / Г.Е. Заиков, С.А. Маслов, В.П. Рубайло. – М.: Химия, 1991. – 144 с.
12. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкала для оценки некоторых ее показателей / Д.Г. Звягинцев // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.
13. Звягинцев Д.Г. Микроорганизмы и охрана почв / Д.Г. Звягинцев. – М.: МГУ, 1989. – 203 с.
14. Израэль Ю.А. Экология и контроль природной среды / Ю.А. Израэль. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 375 с.
15. Карлович И.А. Геоэкология / И.А. Карлович. – М.: Академический проспект, 2013. – 512 с.
16. Ковальский В.В. Геохимическая экология / В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 300 с.
17. Ковда В.А. Основы учения о почвах / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1973. – Кн.1 – 447 с.; Кн.2 – 468 с.
18. Коробкин В.И. Экология и охрана окружающей среды / В.И. Коробкин, Л.В. Передельский. – М.: Кнорус, 2014. – 336 с.
19. Кортэ Ф. Экологическая химия / Ф. Кортэ, М. Бахадир, В. Клайн и др. – М., 2000. – 320 с.
20. Куликов Я.К. Агроэкология / Я.К. Куликов. – Минск: Высшая школа, 2012. – 319 с.
21. Лалоян Ю.Г. Экологические аспекты отходов / Ю.Г. Лалоян. – М.: Наука, 1983.
22. Лисицин А.П. Биохимия океана / А.П. Лисицин. – М.: Наука, 1983.

23. Львович М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее / М.И. Львович. – М.: Мысль, 1974. – 448 с.
24. Мотузова Г.В, Экологический мониторинг почв / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова. – М.: Академический Проект, 2007. – 327 с.
25. Никаноров А.М. Глобальная экология / А.М. Никаноров, Т.А. Хоружая. – М.: Книга сервис, 2003. – 288 с.
26. Никитин Д.П. Окружающая среда и человек / Д.П. Никитин, Ю.В. Новиков. – М.: Высшая школа, 1980. – 424 с.
27. Орлов Д.С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, И.Н. Лозановская. – М.: Высшая школа, 2002. – 334 с.
28. Скурлатов Ю.И. Введение в экологическую химию / Ю.И. Скурлатов, Г.Г. Дудка, А. Мизити. – М.: Высшая школа, 1994. – 400 с.
29. Сукачев В.Н. Избранные труды / В.Н. Сукачев. – Л.: Наука, Т.1, 1972. – 418 с.; Т.2, 1973. – 352 с.; Т.3, 1975. – 543 с.
30. Тарасова Ю.П. Задачи и вопросы по химии окружающей среды / Ю.П. Тарасова, В.А. Кузнецов, Ю.П. Сметанников, А.В. Малков, А.А. Додонова. – М.: Мир, 2002. – 368 с.
31. Трифонова Т.А. Прикладная экология / Т.А. Трифонова, Н.В. Селиванова, Н.В. Мищенко. – М.: Академический Проект, 2007. – 384 с.
32. Уваров Г.И. Экологические функции почв / Г.И. Уваров. – СПб: Лань, 2017. – 296 с.
33. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию / Г. Фелленберг. – М.: Мир, 1997. – 232 с.
34. Хаханина Т.И. Химия окружающей среды / Т.И. Хаханина, Н.Г. Никитина, Л.С. Суханова. – М.: Юрайт, 2014. – 215 с.
35. Хорварт Л. Кислотный дождь / Л. Хорварт. – М.: Стройиздат, 1990. – 80 с.
36. Шапиро Я.С. Агрэкоэкология / Я.С. Шапиро. – СПб: Изд-во «Ллби-СПб», 2005. – 264 с.
37. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 4. Фундаментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 529 с.
38. Ясаманов Н.А. Основы геоэкологии / Н.А. Ясаманов. – М.: Академия, 2003. – 252 с.

3. КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ В ПРИРОДЕ

Все элементы, входящие в состав органического вещества, находятся на земной поверхности в состоянии непрерывного круговорота, и само органическое вещество представляет лишь одну из мимолетных стадий – один из статических моментов, слагающих в своей непрерывной последовательности цикл грандиозного динамического процесса – круговорота веществ на земной поверхности.

В.Р. Вильямс

Круговорот веществ – закономерный процесс многократного участия абиогенных и биогенных веществ в явлениях, протекающих в геосферах Земли:

1) *литосфере* – верхняя твердая оболочка Земли, ограниченная сверху атмос– и гидросферой, а снизу астеносферой – слой пониженной твердости, прочности и вязкости, расположенный в верхней мантии Земли ниже литосферы;

2) *педосфере* – зона взаимного проникновения литосферы, гидросферы, атмосферы и живой оболочки Земли;

3) *биосфере* – оболочка Земли, содержащая совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которая находится в непрерывном обмене с этими организмами;

4) *гидросфере* – прерывистая водная оболочка Земли, располагающаяся между атмосферой и земной корой;

5) *атмосфере* – газовая оболочка Земли, связанная с ней силой тяжести и принимающая участие в ее суточном и годовом вращении;

6) *ионосфере* – ионизированный слой верхней атмосферы, расположенный на высоте от 50–80 до нескольких тысяч км;

7) *магнитосфере* – область околоземного пространства, физические свойства которой определяются магнитным полем Земли и его взаимодействием с потоками заряженных частиц космического происхождения.

Вещество, вовлекаемое в круговорот, не только перемещается, но и испытывает трансформацию и нередко меняет свое физическое и химическое состояние. Перенос веществ, их перераспределение с образованием новых горных пород – одна из главных диалектических особенностей эволюции Земли за весь период ее существования.

Круговороты веществ отражают неразрывную связь геологических и биологических процессов в биосфере. В природе, как отметил В.Р. Вильямс [2], наблюдается два круговорота веществ: большой (геологический) и малый (биологический [биогеохимический]). «Общий грандиозный по масштабу своего существования, – пишет он, – комплекс явлений круговорота веществ на земной поверхности довольно отчетливо расчленяется на два порядка, слагающиеся из ряда процессов, охватывающих одновременно круговорот каждого элемента земной коры. Как всюду при изучении природы, так и в настоящем случае, не представляется возможным провести резкой черты, составляющей границу между двумя порядками процессов, слагающих явление всеобщего круговорота веществ в природе, и обе группы переплетаются между собою в сложных комбинациях взаимного влияния; но все–таки в типичных случаях своего проявления оба порядка процессов охватывают каждый

принципиально различные группы взаимоотношений между земными и космическими агентами земной поверхности. Мы имеем здесь в виду проявление двух типов круговорота веществ – геологического, разумея под этим словом преобладание в процессе, совершающемся под господствующим влиянием тепловой лучистой энергии, абиотических материальных элементов природы, и биологического, противопоставляемого первому вследствие преимущественного преобладания в нем биологических элементов природы, вызываемых к жизни господствующим влиянием световой лучистой энергии».

Геологический и биологический круговороты различаются механизмами, продолжительностью циклов (сезоны и года в биологическом и тысячелетия–миллионы лет в геологическом круговороте). В такую единицу времени, как год, сезон, *интенсивность* (масса переносимого вещества в единицу времени) и *емкость* (общая масса в течение одного цикла или определенного промежутка времени) этих круговоротов могут оказаться близкими [7].

Идеи о сочетании и роли геологического и биологического круговоротов веществ в почвообразовании были введены в геохимию и почвоведение В.И. Вернадским, В.Р. Вильямсом и В.М. Гольдшмидтом.

3.1. Геологический круговорот

К геологическому круговороту относят передвижение, миграцию веществ в виде растворов, взвесей, газов в пределах атмосферы, литосферы и гидросферы.

Л.О. Карпачевский

Большой геологический круговорот веществ в верхних оболочках планеты охватывает магматические, осадочные и метаморфические породы и их взаимопереходы. Такой круговорот был впервые рассмотрен И.Д. Лукашевичем [11] в его учении о метаморфизме и в дальнейшем на более высоком уровне разрабатывался В.И. Вернадским [1].

Геологический, большой круговорот веществ в природе обусловлен взаимодействием солнечной энергии с глубинной энергией Земли и осуществляет перераспределение вещества между биосферой и более глубокими горизонтами Земли.

Осадочные горные породы, образованные за счет выветривания магматических пород, в подвижных зонах земной коры вновь погружаются в зону высоких температур и давлений. Там они переплавляются и образуют магму – источник новых магматических пород. После поднятия этих пород на земную поверхность и действия процессов выветривания вновь происходит трансформация их в новые осадочные породы (рис. 10; [10]). Символом круговорота веществ является спираль, а не круг. Это означает, что новый цикл круговорота не повторяет в точности старый, а вносит что-то новое, что со временем приводит к весьма значительным изменениям.

Для современного наблюдателя современный геологический круговорот однонаправлен (с суши в океан). Поверхностные и грунтовые воды сносят в Мировой океан твердые и растворенные вещества, которые образуют в океане морские осадочные породы. При отступлении океана, горообразовании и других геологических процессах дно океана становится сушей, и осадочные породы вновь становятся корой выветривания и основой почвообразования. Суще-

ствует и обратный поток вещества с океана на материк. В основном это относится к приносу солей с морской водой (теория импульвиризации). В.А. Казанцев [цит. по 7] считает, что засоление почв Западной Сибири связано именно с приносом солей ветрами. К геологическим процессам, составляющим геологический круговорот, следует отнести процесс эрозии, снос мелкозема, образовавшегося в результате выветривания плотных пород, с гор на равнины и в океан и перенос с равнин ветрами мелкозема в горы. Речной аллювий также в значительной степени – результат размыва горных пород и почв, следствие геологической эрозии, и его отложение в поймах возвращает субстрат в педосферу, вовлекая в новый цикл почвообразования [7].

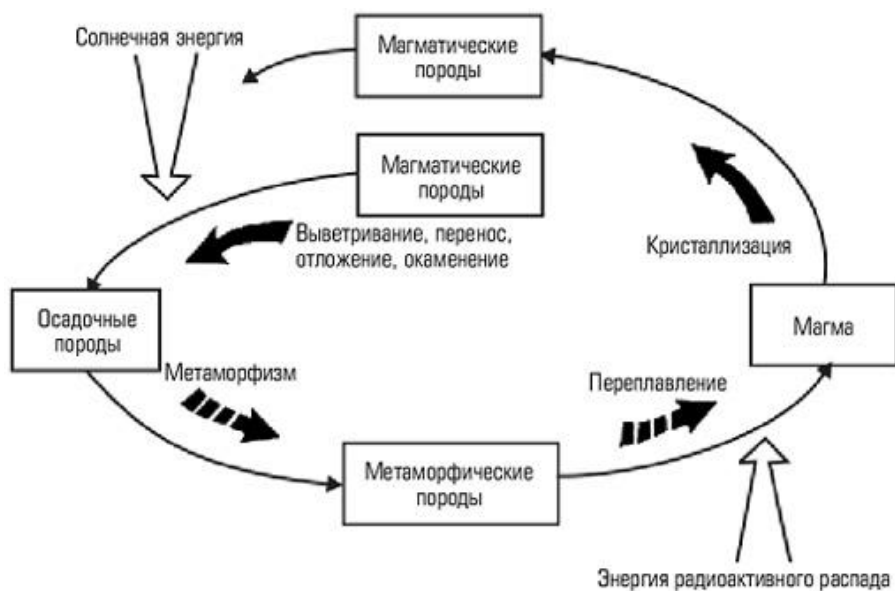


Рисунок 10 – Большой круговорот веществ

Геологическим круговоротом веществ, с точки зрения почвоведения, называется вся совокупность процессов образования земной коры, магматических и осадочных горных пород и минералов, обособления ее стратиграфических горизонтов, коры выветривания и форм рельефа, денудации и формирования водного, твердого и химического стока, седиментации и аккумуляции веществ, принесенных наземными и подземными водами и эоловым путем [8].

Большой круговорот – это и круговорот воды между сушей и океаном через атмосферу (рис. 11). Влага, испарившаяся с поверхности Мирового океана (на что затрачивается почти половина поступающей к поверхности Земли солнечной энергии), переносится на сушу, где выпадает в виде осадков, которые вновь возвращаются в океан в виде поверхностного и подземного стоков. Круговорот воды происходит и по более простой схеме: испарение влаги с поверхности океана – конденсация водяного пара – выпадение осадков на эту же водную поверхность океана. Подсчитано, что в круговороте воды на Земле ежегодно участвует более 500 тыс. км³ воды. Примечательно, что этот механизм большого круговорота воды на Земле был известен тысячелетия назад. Так, в Книге Екклесиаста (1; 7) читаем: «Все реки текут в море, но море не переполняется: к тому месту, откуда реки текут, они возвращаются, чтобы течь опять».

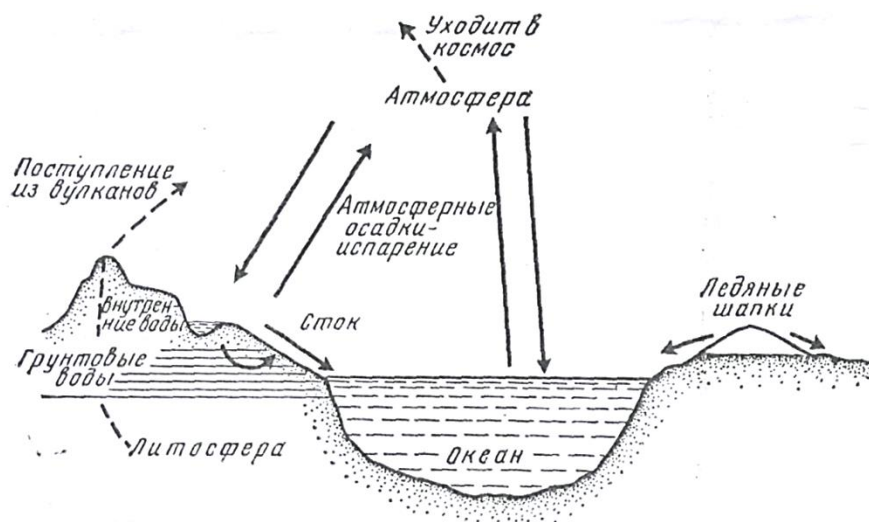


Рисунок 11 – Большой круговорот воды

Круговорот воды в целом играет основную роль в формировании природных условий на нашей планете. С учетом транспирации воды растениями и поглощения ее в биогеохимическом цикле весь запас воды на Земле распадается и восстанавливается за 2 млн. лет [10].

О масштабах большого геологического круговорота веществ можно получить представление исходя из данных приведенных В.Г. Мамонтовым [12]. Ежегодно реки мира транспортируют в моря и океаны около 16 млрд. т твердого взвешенного материала и примерно 3 млрд. т растворенных веществ. Кроме того, во внутриматериковые бессточные области суши земного шара с водами поверхностного стока ежегодно поступает около 1 млрд. т водорастворимых соединений. Количество веществ, вовлекаемых в большой геологический круговорот, еще больше возрастает с учетом продуктов, переносимых с грунтовым стоком и эоловым путем.

3.2. Биологический круговорот

Биологический круговорот веществ на земной поверхности осуществляется путем гармонического сочетания двух основных процессов – создания и разрушения органического вещества.

В.Р. Вильямс

В понятие «биологический круговорот веществ» необходимо включить сумму циклических процессов обмена веществ и энергии между средой и совокупностью растительных и животных организмов. Иногда биологический круговорот понимают шире: как движение веществ под воздействием организмов. В этом случае биологический круговорот включает: 1) движение элементов по трофическим цепям, 2) движение веществ в результате механического воздействия животных на различные породы и почвы, 3) движение элементов в результате механического воздействия растений (вывалы), 4) движение веществ под влиянием продуктов жизнедеятельности организмов.

мов. Сущность биологического круговорота веществ заключается в повторяющихся циклах связывания автотрофами в своей биомассе элементов питания, взятых из абиотической среды, и высвобождения их в абиотическую среду гетеротрофными организмами – фитофагами, хищниками, детритофагами, редуцентами. Ниже приводится отрывок из книги А. Леопольда [21], в котором автор не без художественной образности описывает одиссею элемента X, или, другими словами, участие его в естественных циклах.

Элемент X, который покоился среди отложений известняка со времен палеозойской эры, когда на месте сегодняшней суши было море, не испытывал влияния времени. И вдруг все изменилось. Корень крупноплодного дуба проник в трещину, образовавшуюся в известняке, и стал разрастаться во все стороны, впитывая влагу. За какие-то 100 лет известняковая порода разрушилась, элемент X был извлечен на белый свет и стал участником естественных циклов. Он помог вырасти цветку, превратившемуся в желудь, который в свою очередь стал пищей для оленя, а последний – пищей для индейца. И все это за один год. Когда индеец умер, элемент X ненадолго спрятался в землю, а потом вновь пустился в путешествие по кровеносным сосудам земли.

Покинув свое пристанище, которым был для него прах индейца, он снова узнал, что такое погоня и бегство, сытость и голод, надежда и страх. Для него все эти перемены были ничем иным, как хаотическими химическими толчками, которые без конца терзают каждый элемент.

На сей раз, он был извлечен из земли корешком бородача, лист которого стал для элемента X новым пристанищем. На долю этого листа выпала не совсем обычная миссия – прятать в своей тени яйца ржанки. Восторженная ржанка, паря в небе, неустанно пела гимны чему-то совершенному: может быть, яйцу, может быть, тени, а быть может, легкому туману цвета розовых флоксов, окутавшему прерию. Но вот настала пора ржанкам улетать в Аргентину. Прощаясь с ними, все бородачи махали вслед новыми метелками. Когда с севера прилетели первые гуси и бородачи стали цвета красного вина, запаивая оленья мышья отгрызла лист, в котором покоился элемент X, и спрятала его в гнезде под землей, словно укрывая кусочек бабьего лета от разбойника-мороза. Но мышья поймала лисица, а гнездо разрушили плесень и грибки, и элемент X оказался в земле свободный и беспечный.

*Затем элемент X переселился в пучок граммовой травы, растущей вместе с овсом, потом в буйвола, в кизяк и снова в землю. Потом его пристанищем стали традесканция, кролик и сова. И наконец, пучок шаровидной споромаксы. Но всему приходит конец. Для элемента X он наступил вместе с пожаром в прерии, который превратил растения в дым, газ и пепел. Фосфор и поташ остались в золе, а азот был развеян ветром. Здесь можно было бы предсказать развязку биотической драмы: в связи с пожарами, источающими запасы азота, почва должна была утратить свой растительный покров, разрушенный огнем и развеянный ветром. Однако у прерии было чем себя защитить. Пожары «пропололи» ее травы, но увеличили травостой бобовых растений, таких как степной американский клевер, прилистниковая леспедеца, строфостилес, вика, беловато-серая аморфа, трилистник и *Vartisia*. Клубеньки корешков этих растений перекачивали азот из воздуха в растения и в конечном счете в почву. Таким образом, прерия накопила в своем хранилище большее количество азота из растений семейства бобовых,*

чем принесла в жертву огню. То, что прерия богата, известно даже оленьей мышью, но на протяжении веков редко кого интересовало, почему она богата.

Между путешествиями в биоту элемент X покоился в земле и сантиметр за сантиметром смывался дождями. Живые растения препятствовали смыву, накапливая элемент X, а погибшие растения заточали его в своих разложившихся тканях. Животные, поедая растения, на какое-то время переносили их выше или ниже места кормления в зависимости от того, где их достигала смерть или где они оставляли свой помет. Так, например, бобры всегда питаются в местах, расположенных выше места их гибели. Когда элемент X нашел свое пристанище в тополе, растущем у реки, он стал добычей бобра. Бобр погиб от голода, т. к. пруд в результате сильных морозов вымерз. Элемент X был увлечен весенним паводком вниз по реке. Опускаясь все ниже и ниже, он застрял в иле в затоне реки, где стал добычей рака, енота-полоскуна, а затем индейца. Индеец умер, и его останки были захоронены на берегу реки. Весной старица разрушила берег, и море вновь стало пристанищем для элемента X.

Вообще элемент в биоте слишком свободен, чтобы знать, что такое свобода: элемент X, вернувшись в море, забыл о ней. Взамен каждого элемента X, ставшего вечным пленником моря, прерия извлекает новый элемент X из разрушающейся породы.

В отличие от большого, малый круговорот веществ происходит на уровне экосистемы, а источником энергии в них служит энергия химических связей биомассы.

Общее содержание всех химических элементов на земле практически неизменно, однако их распределение между различными геосферами и по поверхности земного шара, регулируемое глобальными биологическими и геохимическими циклами, подвергается существенным изменениям под влиянием человеческой деятельности. К этому надо добавить природную и антропогенную трансформацию веществ, переход химических элементов из одних соединений в другие, появление новых соединений и веществ.

Цикл круговорота биогенных элементов в природных экосистемах более закрытый, чем в агроэкосистемах, где значительная их часть отчуждается с урожаем. Газообразные потери азота из почвы в агроэкосистемах значительно выше, чем в природных экосистемах, вследствие большей активности денитрифицирующих микроорганизмов.

Живые организмы изымают из большого круговорота около 40 химических элементов и удерживают их в биогеохимических циклах, что предотвращает отчуждение в большой круговорот на целые эпохи значительной части элементов.

В.И. Вернадский [1] писал: «Живое вещество охватывает и перестраивает все химические процессы биосферы, действенная его энергия огромна. Живое вещество есть самая мощная геологическая сила, растущая с ходом времени». Однако биологический круговорот веществ – это не замкнутый цикл. Некоторое количество химических элементов, высвобождающихся из растительного опада, вовлекается в абиотические процессы и отчуждается из зоны биологического поглощения, т. е. включается в большой геологический круговорот веществ (рис. 12; [15]).

В малом круговороте биогенных макроэлементов циркулирует во много раз больше, чем в большом: азота – в 6–20 раз, фосфора – 3–30 раз, тогда как серы больше вращается в большом круговороте.

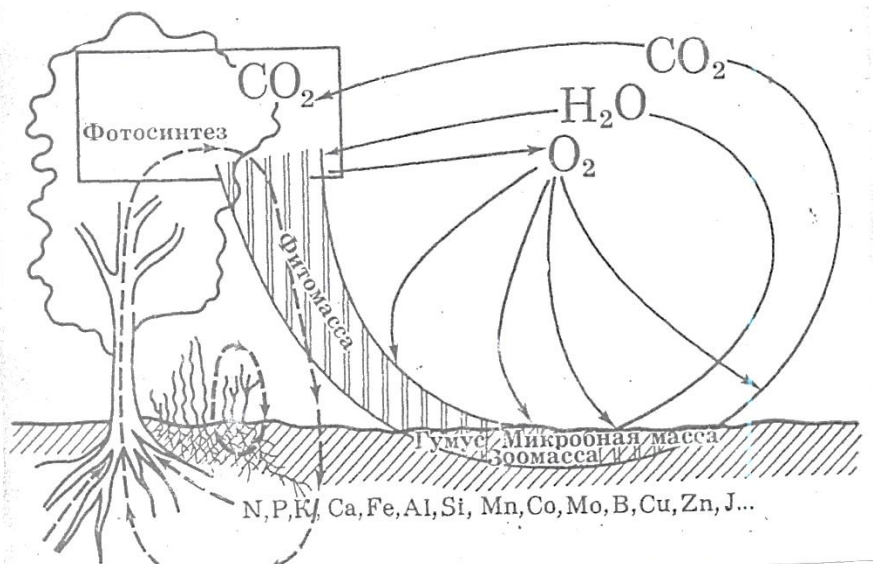


Рисунок 12 – Биологический круговорот веществ в биогеоценозе

Биологические циклы веществ можно разделить на отдельные потоки, что особенно широко используют при моделировании циклов (поток – часть пути вещества в пределах цикла). Циклы позволяют оценить важность любого химического элемента для жизни, судьбу его в биосфере, почве и литосфере, последствия загрязнения этим элементом биосферы. В живых организмах практически присутствуют все элементы таблицы Менделеева, хотя роль многих из них пока не установлена.

Круговорот отдельных веществ В.И. Вернадский назвал биогеохимическими циклами. Применительно к биосфере под термином «биогеохимический круговорот» подразумевают обмен химических элементов между живыми организмами и неорганической средой, различные стадии, которого происходят внутри экосистемы. «Круговое движение химических элементов, – пишет Е. Одум [13], – переносимых в ту или другую сторону между организмами и окружающей средой называется биогеохимическими циклами».

Существование подобных круговоротов создает возможность для саморегуляции системы (или гомеостаза), что придает экосистеме устойчивость: удивительное постоянство процентного содержания различных элементов.

В биогеохимических круговоротах следует различать две части, или как бы два среза: 1) *резервный фонд* – огромная масса движущихся веществ, не связанных с организмами, 2) *обменный фонд* – значительно меньший, но весьма активный, обусловленный прямым обменом биогенным веществом между организмами и их непосредственным окружением. Если же рассматривать биосферу в целом, то в ней можно выделить: 1) круговорот газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере и гидросфере (океан); 2) осадочный цикл с резервным фондом – в земной коре (в геологическом круговороте).

Для характеристики круговорота вещества в экосистемах используются следующие показатели:

- масса вещества в компонентах экосистемы;

- скорость переноса вещества;
- баланс вещества в компонентах экосистемы;
- коэффициент возврата вещества в повторный цикл (коэффициент рециркуляции вещества);
- пути возврата вещества в повторный цикл.

Природный биологический круговорот веществ был нарушен человеком на огромной площади, достигающей чуть не половины всей площади суши [19]: антропогенные пустыни – 5 %, антропогенный бэдленд (от англ. *badlands*, буквально – плохие, бесплодные земли) – 3, индустриальные и городские земли – 2, пашни, сады, сеяные луга – 13, вторичные низкопродуктивные леса – 15, истощенные пастбища – 10; всего – около 48 % площади суши, или 60 % всей биологически продуктивной поверхности суши (исключая ледники, воды, скалы, пустыни).

Геологический круговорот веществ также был нарушен в заметной степени, особенно в некоторых точках планеты. В этом отношении существенную роль сыграли следующие факторы [19].

1. Ускоренная денудация (от лат. *denudatio* – обнажение) земной поверхности за счет эрозии почв и возрастания твердого стока в океан.
2. Перемещение огромных масс земной коры. При обработке почвы, строительных и вскрышных (открытие горных пород для обнажения полезных ископаемых) работах за один только год перемещается свыше 4 тыс. км³ почвы и грунта [20].
3. Интенсивное использование горючих ископаемых (нефти, угля, газа) и перевод их в конечном итоге в углекислоту атмосферы.
4. Извлечение из недр огромных количеств руд и других материалов.
5. Перераспределение солей в почвах, грунтах, грунтовых и речных водах под влиянием орошаемого земледелия.
6. Поступление на поля минеральных удобрений и ядохимикатов.
7. Загрязнение среды сельскохозяйственными, индустриальными и коммунальными отходами.
8. Поступление в среду новых веществ, не существовавших в естественном состоянии в природе.
9. Рассеивание в техногенезе геохимических аккумуляций тех или иных элементов.

Особую роль в нарушении биологических и геохимических циклов веществ, т. е. в изменении биогеохимического параметра планеты, сыграли загрязнения окружающей среды, как вещественные, так и энергетические.

3.2.1 Биогехимический цикл азота

Азот играет незаменимую роль в биогеоценоотическом покрове Земли. Общее содержание этого элемента в земной коре составляет $1 \cdot 10^{-2}$ %. Он необходимый компонент аминокислот и белков. В белках его содержится до 16 %, в организме человека в целом – около 3 %. Азот – самый атмосферный элемент, его кларк в атмосфере составляет 40000, значительно ниже биофильность – 160. Невысока и талассофильность азота – $5 \cdot 10^{-2}$.

Согласно геохимической теории F.J. Stevenson [22], азот атмосферы первоначально находился в виде соединений аммония и нитридов – соединений азота с другими элементами в недрах Земли. По мере разогревания Земли азот

выделялся в атмосферу большей частью в форме аммиака. Когда концентрация кислорода в атмосфере возросла за счет фотосинтеза, аммиак стал окисляться до элементарного азота. Хотя почти 78,09 % атмосферных газов по объему приходится на азот, его общее содержание в атмосфере составляет всего 2 % от всего планетарного азота. Почти весь остальной азот находится в горных породах, хотя относительное содержание в них элемента крайне невелико. По сравнению с материнскими породами почвы сильно обогащены азотом, но, тем не менее, содержание его в почвах составляет лишь незначительную часть общего количества элемента на Земле. Основная масса азота почвы входит в состав органических соединений и, по-видимому, накапливалась в них из элементарного азота атмосферы в результате процессов его фиксации.

Распределение азота в природе характеризуется следующими данными: в атмосфере $3,78 \cdot 10^{15}$ т, осадочных породах $4,06 \cdot 10^{18}$, первичных изверженных породах $16,25 \cdot 10^{10}$, в водах Мирового океана $2,02 \cdot 10^{13}$, почвах $15,24 \cdot 10^{10}$, растительности $1,1 \cdot 10^9$, животном мире $6,09 \cdot 10^7$, залежах каменного угля $12,2 \cdot 10^{10}$, природных залежах селитры $1 \cdot 10^8$ т [16].

Главным поставщиком азота в биосферу являются недра Земли, основным накопителем – атмосфера, точнее – тропосфера. В свою очередь состав атмосферного газа непрерывно обновляется благодаря циклическим процессам массообмена, связывающим атмосферу с Мировой сушей, педосферой, океаном и его осадками. Общая схема круговорота азота представлена на рисунке 13 [4].

Круговорот азота охватывает все области биосферы. Хотя запасы его в атмосфере практически неисчерпаемы, высшие растения могут усваивать этот элемент лишь в связанной форме, т. е. после того как он соединится с водородом (NH_4^+) или кислородом (NO_3^-).

Ежегодно биотическое сообщество биосферы связывает около 10 млрд. т азота, определенную часть этого количества фиксируют микроорганизмы. Причем микроорганизмы усваивают молекулярный азот. Фиксировать молекулярный азот атмосферы или воды океана способны: 1) свободноживущие бактерии *Azotobacter chr.* и *Clostridium past.*; 2) симбиотические клубеньковые бактерии бобовых растений (*Rhizobium*); 3) цианобактерии (*Anabaena*, *Nostok* и другие микроорганизмы из порядка *Nostokales*). Цианобактерии могут фиксировать молекулярный азот как самостоятельно, так и в симбиозе с грибами (лишайники). Так, у водного папоротника (*Azolla*) имеются микроскопические поры, которые наполнены симбиотическими цианобактериями (сине-зелеными водорослями *Anabaena*). Усваивать молекулярный азот могут и почвенные бактерии *Pseudomonas*, пурпурные *Phodospirillum* и другие представители фотосинтезирующих микроорганизмов. Обладают способностью к фиксации молекулярного азота и актиномицеты, находящиеся в клубеньках на корнях ольхи. Клубеньки, вызываемые актиномицетами на корнях, обнаружены у 160 видов двудольных растений.

Организмы, способные к фиксации молекулярного азота, имеют фермент нитрогеназу, которая катализирует расщепление молекулы N_2 . Активный центр этого фермента состоит из двух компонентов: белка, в состав которого входят молибден, железо и сера – молибдоферредоксина и белка, содержащего железо и серу – азоферредоксина. Для связывания молекулярного азота необходимы АТФ, катион магния и поток электронов, которые могут быть получены в процессе фотосинтеза, дыхания и брожения.

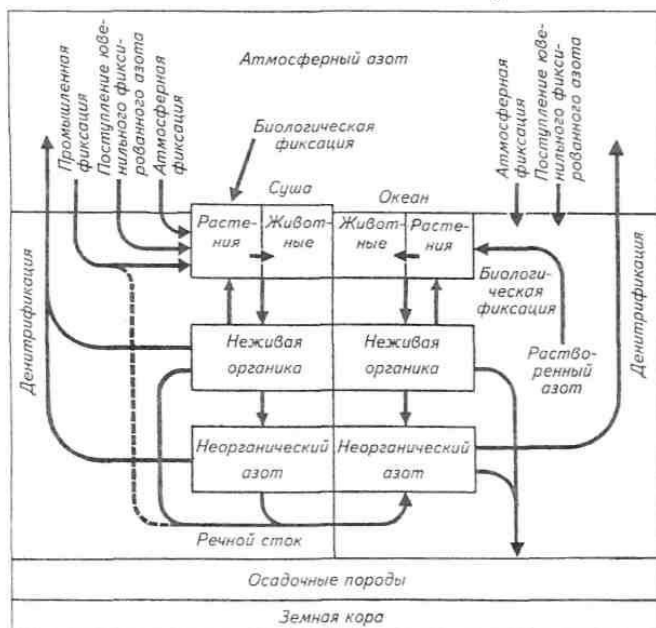
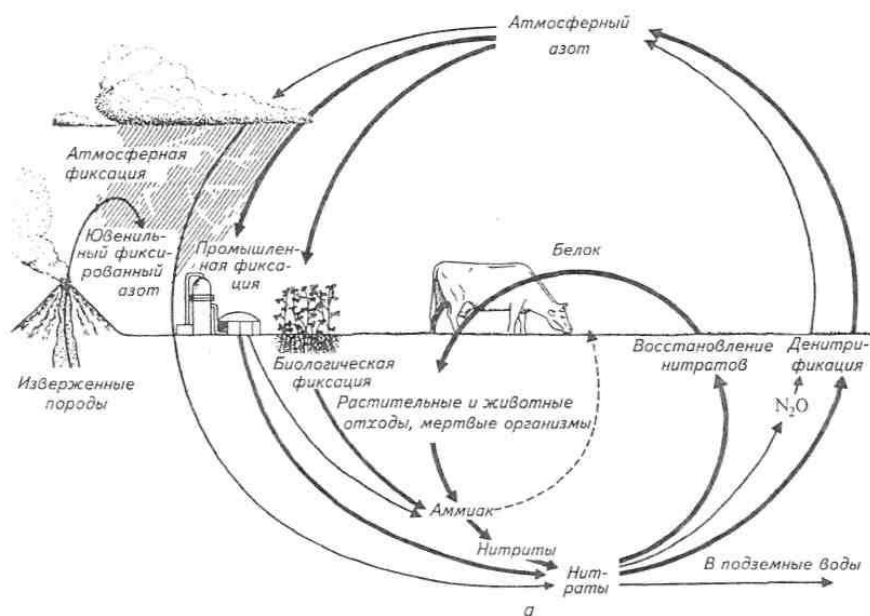


Рисунок 13 – Биогеохимический цикл азота

Фиксация азота микроорганизмами требует больших затрат энергии, необходимой для разрыва тройной связи в молекуле азота (225 ккал/моль), а также для соединения атомов азота и водорода. Клубеньковые бактерии бобовых растений для фиксации 1 г азота атмосферы расходуют 10 г глюкозы ($1,67 \cdot 10^5$ Дж), которую поставляет им растение-хозяин. Поэтому эффективность симбиотической азотфиксации выше фиксации свободноживущими микроорганизмами [17].

Каждому виду бобовых растений присущи свои симбиотические клубеньковые бактерии. Микроорганизмы проникают в ткани корневой системы своих растений-хозяев через корешки и вызывают образование клубеньков при быстром нарастании паренхимной ткани. Они живут в симбиозе с клетками последней. Растение снабжает их необходимыми углеводами, а они поставляют растению азот в связанной форме, который синтезируют из молекулярного азота атмосферы. Азотфиксирующие бактерии обогащают азотом не только надземную часть бобовых растений (что объясняет высокое содержание протеина в бобовых растениях и их большую питательную ценность), но и почву, т. к. излишки нитратной формы азота диффундируют на уровне ризосферы. К тому же, когда растения отмирают, клубеньки разлагаются и выделяют в почву значительное количество азота органических соединений.

Кроме указанных процессов азотфиксации в атмосфере возможно образование оксидов азота при электрических грозных разрядах. Эти оксиды затем в виде селитры или азотной кислоты при смешивании с атмосферными осадками попадают в почву. Имеет место и фотохимическая фиксация азота.

За последние 100–150 лет человек вмешивается в устоявшийся в природе круговорот азота, выращивая на обширных площадях бобовые культуры и связывая его искусственно в промышленных масштабах. За год эти два дополнительных источника дают примерно на 10–15 % больше фиксированного азота, чем производили наземные экосистемы до зарождения земледелия [4].

Среднегодовое поступление нитратного азота абиотического происхождения при осаднении из атмосферы в почву составляет 8–10 кг/га, свободноживущие бактерии фиксируют 20–25 кг/га, в то время как симбиотические клубеньковые бактерии бобовых растений продуцируют в среднем 200 кг/га [18].

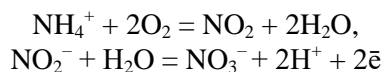
Азот, поступивший в растения, включается в органические соединения, а после их отмирания переходит в минеральные формы. Минерализация органического азота в почве складывается из процессов аммонификации и нитрификации, а конечные продукты этого процесса: NH_3 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- .

Аммонификация – процесс разложения азотсодержащих органических веществ, протекающий с участием специфических аммонифицирующих микроорганизмов и ведущий к образованию NH_3 или NH_4^+ . Объектами аммонификации могут служить белки, аминсахара, нуклеиновые кислоты, пуриновые основания, амиды, фосфатиды, алкалоиды, амины, мочевиная кислота, мочевина и другие азотсодержащие вещества самой разнообразной природы. Первое место среди них занимают белки, на долю которых приходится не менее 50 % от органических азотсодержащих соединений. Процесс аммонификации белков происходит следующим образом: аммонифицирующие бактерии выделяют в среду протеолитические экзоферменты, катализирующие расщепление пептидных связей в молекулах белков с образованием полипептидов и олигопептидов. Последние в силу осмоса относительно легко проникают через цитоплазматическую мембрану в бактериальную клетку, где расщепляются внутриклеточными ферментами пептидазами до аминокислот. Далее аминокислоты либо включаются в метаболизм микроорганизмов, либо выделяются в почву и вовлекаются в химические реакции, либо адсорбируются на почвенных частицах. Внутриклеточные превращения аминокислот возможны по четырем направлениям: синтез белка, переаминирование, декарбоксилирование и дезаминирование. Выделение аммиака в данном про-

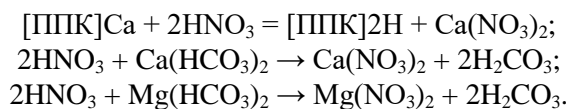
цессе происходит вследствие неравномерного потребления микроорганизмами азота и углерода разлагаемого ими субстрата ввиду преимущественного использования белков и их дериватов в качестве источника энергетического материала и углеродного питания. Выделяющийся аммиак образует соли с органическими и минеральными кислотами, возникающими при минерализации органического вещества почвы, обменно поглощается почвенными коллоидами, усваивается растениями, поступает в атмосферу, а некоторая часть растворенного аммиака может поступать в грунтовые воды, реки, моря.

Аммонификация осуществляется аэробными и анаэробными микроорганизмами, которые составляют обширные группы бактерий, актиномицетов и плесневых грибов. В аэробных условиях аммонификацию белков начинают неспорообразующие бактерии, относящиеся к родам *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Proteus*, а также микобактерии и плесневые грибы. На смену им приходят различные виды бацилл. На завершающих этапах в этот процесс подключаются актиномицеты. В анаэробных условиях процесс аммонификации осуществляют бактерии рода *Clostridium*.

Нитрификация – процесс микробиологического превращения восстановленных соединений азота в окисленные неорганические. Протекает в почвах в окислительных условиях при величине окислительно-восстановительного потенциала E_h около 0,4–0,5 В. Нитрификация завершает минерализацию органических соединений азота, начатую аммонификацией, и является признаком культурного состояния почвы, а нитрификационная способность почвы в определенной степени характеризует ее плодородие. В то же время чрезмерное накопление нитратов в почве нежелательно, т. к. они легко вымываются и загрязняют окружающую среду. Нитрификация осуществляется в две стадии хемосинтезирующими нитрифицирующими бактериями, использующими энергию окисления аммония или нитрита для ассимиляции углекислоты. Сначала ион аммония окисляется бактериями родов *Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Nitrosococcus* и *Nitrosolobus* в нитрит-ион (первая фаза), а затем нитрит-ион окисляется представителями родов *Nitrobacter*, *Nitrospina* и *Nitrococcus* в нитрат-ион (вторая фаза):



Образовавшаяся азотная кислота нейтрализуется поглощенными основаниями, бикарбонатом кальция или магния:



При доступе воздуха, влажности почвы 60–70 % капиллярной влагоемкости, температуре 25–32°C и pH 6,2–8,2 нитрификация протекает интенсивно.

Большая часть образовавшихся в процессе нитрификации нитратов потребляется растениями, т. е. вовлекается в повторный цикл, а какая-то часть их может вымываться, т. к. они не закрепляются в почвенно-поглощающем комплексе. Определенная часть нитратов подвергается процессу денитрикации. Денитрификация – процесс восстановления нитратной формы азота в газообразные N_2 , NO_2 , NO , N_2O . Этот процесс протекает в анаэробных условиях по-

всеместно в почве и воде. Одним из факторов, определяющих интенсивность процесса денитрификации, является дефицит кислорода в среде. При дефиците кислорода денитрифицирующие бактерии используют кислород нитратов для своего дыхания. Таким образом, благодаря деятельности денитрифицирующих бактерий азот, взятый из воздуха, вновь возвращается обратно.

Около 15–25 % азота остатков биоценоза консервируется в почве в форме гумуса, который весьма устойчив к микробному разложению. На азот гумуса приходится почти 90 % запасов этого элемента в почве, тогда как доля минерального азота в ней не превышает 10 %. Вместе с тем азот гумуса, так же как и детрита, подвергается медленной минерализации – аммонификации и нитрификации. В зависимости от складывающихся гидротермических условий среднегодовая скорость минерализации гумуса почвы может колебаться от 0,5 до 2,5 % от его запасов. Образующиеся в результате разложения гумуса неорганические формы элемента включаются в фонд минерального азота почвы. Следовательно, основная часть элемента органических соединений после его минерализации поступает в почву и вовлекается растениями в новый цикл. Часть азота поступает в атмосферу, откуда он снова фиксируется микроорганизмами. Небольшая часть его в результате вымывания поступает в реки, озера, моря, океан, где он может быть связан автотрофным сообществом или же попасть в глубинные отложения и выпасть из круговорота на длительное время. Некоторая часть азота Мирового океана возвращается на сушу с продуктами морского промысла или птицами.

Поток азота в атмосферу складывается из его поступления с суши и Мирового океана в результате денитрификации, сжигания органического вещества, ископаемого топлива и вулканической деятельности. Отток азота из атмосферы происходит в результате его усвоения микроорганизмами, индустриальной фиксации (синтез аммиака) и осаждения в почву в связанной форме (кислотные осадки) [17].

Круговорот азота в большинстве сообществ замкнутый, лишь небольшие количества этого элемента выносятся из наземных сообществ со стоком. Реки ежегодно выносят в океан азота около 30 млн. т. Следовательно, существование многочисленных парациклов весьма усложняет круговорот азота, но в то же время создает замечательный гомеостаз в циркуляции этого элемента. Основные процессы нитрификации и денитрификации отлично приспособлены к производительным нуждам экосистем.

3.2.2 Биогеохимический цикл серы

Сера относится к весьма распространенным в природе химическим элементам. Кларк ее в земной коре составляет $4,7 \cdot 10^{-2} \%$, водах Мирового океана – $8,7 \cdot 10^{-2} \%$ [3].

Сера – характерный представитель группы активно дегазируемых элементов. В то же время, поступление ее в атмосферу по сравнению с инертными газами или диоксидом углерода сильно затруднено. Это В.В. Добровольский [5] объясняет следующим образом. Среди газообразных соединений серы, выделяющихся с вулканическими газами, наиболее обычными являются диоксид серы и сероводород. В процессе активного дегазирования мантии Земли и прохождения через толщи горных пород газообразные

соединения серы растворяются в подземных водах. При этом сероводород активно восстанавливает тяжелые элементы, образуя трудно растворимые сульфиды, главным образом дисульфид железа, а диоксид серы частично связывается в составе также трудно растворимых сульфатов бария, кальция и стронция. В результате названных обстоятельств значительная часть дегазируемых соединений серы трансформируется в твердые минералы. Средняя концентрация сульфидной серы в гранитном слое континентального блока земной коры составляет 0,064 % ($5,3 \cdot 10^{15}$ т), сульфатной – 0,04 % ($3,3 \cdot 10^{15}$ т).

В результате фракционирования элементов при магматическом процессе сера вместе с элементами отщепляется от силикатного расплава и уходит в пневматолитово-гидротермальные флюиды, из которых затем выпадает в виде аккумуляций сульфидов металлов. Часть диффундирующих через земную кору газообразных соединений серы, а также сернистые газы вулканических выбросов и газовой-жидких выделений наземных и подводных гидротерм поступает в систему Мирового океана и педосферу. При этом значительная часть газов захватывается бактериями в своеобразный микробиологический круговорот. Таким образом, дегазируемые соединения серы по пути в атмосферу должны преодолевать двойной фильтр: физико-химический в земной коре и биогеохимический на поверхности Мировой суши и в океане [5].

В настоящее время значительным источником серы стали техногенные выбросы предприятий металлургической, нефтяной и других отраслей промышленности. Диоксид серы SO_2 составляет более 95 % всех техногенных выбросов серосодержащих веществ в атмосферу. Планетарный выброс его (без учета нефтепереработки и выплавки металлов) составляет около 110,4 млн. т. С учетом этих отраслей промышленности мировой выброс SO_2 достигает 150 млн. т. В ближайшее время в связи с ростом потребления топлива ежегодные выбросы SO_2 в атмосферу будут возрастать [4].

Круговорот серы в биосфере не ограничен миграцией газообразных соединений, он также включает в себя миграцию водорастворимых соединений этого элемента в грунтовых и поверхностных водах (рис. 14; [18]). Образование водорастворимых форм серы связано с гипергенной трансформацией труднорастворимых сульфидов, содержащихся в горных породах, в хорошо растворимые сульфаты. Сульфиды металлов в зоне гипергенеза подвергаются гидролизу и окислению, в результате чего образуется серная кислота, нерастворимые гидроксиды четырехвалентного железа и четырехвалентного марганца, а также легко растворимые сульфаты. Образование сульфатов также происходит в почве в результате микробиологических процессов. Водорастворимые сульфаты выщелачиваются из выветривающихся горных пород и выносятся с поверхности суши с речным стоком в моря и океаны. Концентрация ионов SO_4^{2-} в морской воде составляет 2,7 г/л. В Мировом океане аккумуляровано $3,7 \cdot 10^{15}$ т SO_4^{2-} или $1,2 \cdot 10^{15}$ т в пересчете на элементарную серу [5].

Своеобразие глобального цикла серы в биосфере обусловлено следующими тремя причинами: 1) способностью этого элемента под влиянием микробиологических процессов образовывать газообразные соединения – SO_2 , H_2S и благодаря этому активно участвовать в массообмене между сушей и океаном, с одной стороны, и атмосферой – с другой; 2) трансформацией сернистых газов в хорошо растворимые сульфаты и заменой газовой миграции серы на водную. Это происходит благодаря быстрому окислению восстанов-

ленных и недоокисленных сернистых газов кислородом атмосферы и образованием хорошо растворимых сульфатов, легко мигрирующих из атмосферы и включающихся в круговорот воды; 3) широким развитием сульфатредуцирующих бактериальных процессов в водных бассейнах и гидроморфных ландшафтах, в которые поступают с водой растворенные сульфаты. Образующийся при разрушении сульфатов сероводород переводит растворенные в воде формы соединений металлов в труднорастворимые сульфиды, которые уходят в осадки морей и надолго прочно связывают крупные массы серы [40]. Средняя концентрация сульфидной серы в осадочных породах 0,183 %, масса – $4,1 \cdot 10^{15}$ т, масса сульфатной – $5,2 \cdot 10^{15}$ т, а общее количество серы – $9,3 \cdot 10^{15}$ т. В то же время во всем гранитном слое земной коры содержится $8,5 \cdot 10^{15}$ т этого элемента. Если же учесть растворенную в океане сульфатную серу ($1,2 \cdot 10^{15}$ т), то очевидно, что в биосфере данного элемента имеется больше, чем его могло быть извлечено из гранитного слоя Земли даже при полном его разрушении. Распределение масс серы в биосфере убедительно свидетельствует, что они не выщелочены из гранитного слоя при его выветривании, а привнесены в биосферу в результате дегазации мантии Земли [5; 14].

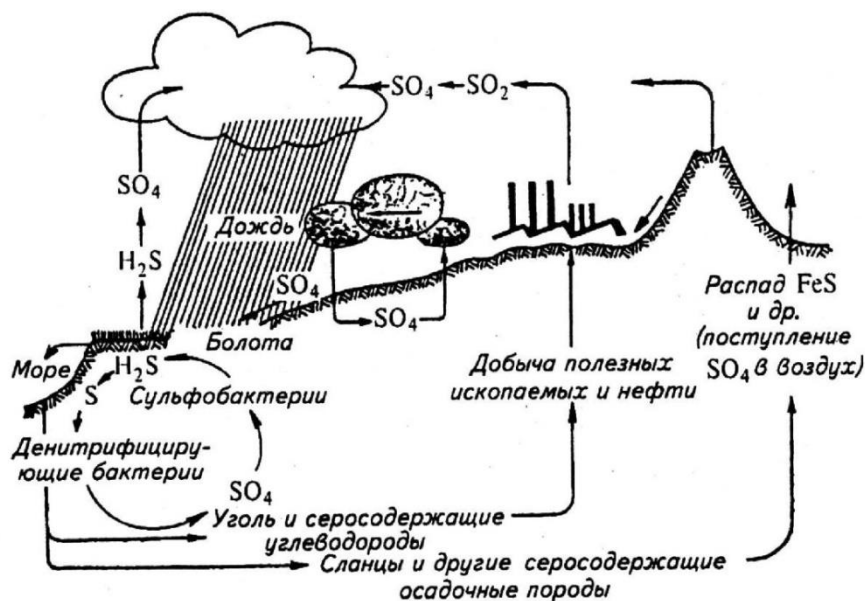


Рисунок 14 – Биогеохимический цикл серы

Для глобальной геохимии серы в биосфере велико значение живого вещества. В составе живого вещества Мировой суши, образованного в основном растениями, содержание серы составляет 0,34 % сухой биомассы. В животных организмах и бактериях из-за большого содержания в биомассе белков количество его значительно выше. В живом веществе океана среднее содержание серы равно 1,20 % сухого вещества. Количество серы, находящейся в биомассе суши, составляет $8,5 \cdot 10^9$ т, в фотосинтетиках океана – $0,07 \cdot 10^9$ т, в консументах океана – $0,05 \cdot 10^9$ т. Концентрация серы в неживом органическом веществе, близка к 0,5 % сухого вещества. Следовательно масса серы, находящаяся в органическом веществе педосферы, равна $15,5 \cdot 10^9$ т. [5].

Таким образом, несмотря на существование многочисленных газообразных соединений серы – сероводород (H_2S) и сернистый ангидрид (SO_2), преобладающая часть круговорота этого элемента имеет осадочную природу и происходит в почве и воде.

Основной источник серы, доступный живым организмам – это хорошо растворимые в воде сульфаты. Поглощая сульфаты, растения их восстанавливают и синтезируют серосодержащие аминокислоты – метионин, цистеин, цистин. Эти аминокислоты играют важную роль при образовании третичной структуры белка, когда формируются дисульфидные мостики между различными зонами полипептидной цепи. Из органических соединений сера обратно поступает в почву при разложении микроорганизмами остатков биоценоза. Микроорганизмы осуществляют три важнейших этапа в превращении серы: минерализацию органической серы, окисление и восстановление минеральной серы. Эти три этапа определяют основные формы природной серы: органическую серу (аминокислоты, белки); сульфаты и сульфиты; сероводород и сульфиды.

Сера органического происхождения восстанавливается в сероводород (H_2S), минеральную серу или окисляется в сульфаты, которые повторно могут быть использованы растениями, т. е. вновь поступает в биологический круговорот.

3.2.3 Биогеохимический цикл фосфора

По распространенности в литосфере фосфор занимает 13-е место среди всех элементов; кларк его в земной коре равен 0,08 %, почве – 0,08, в водах Мирового океана – $5 \cdot 10^{-6}$, растениях – 0,07, животных – 0,95 % [3].

Биогеохимия фосфора крайне отлична от биогеохимии азота и серы (рис. 15). Газовая форма соединений азота и серы является обязательным и важнейшим звеном в биогеохимии этих элементов. Газовые формы соединений фосфора (PH_3) практически в биогеохимическом круговороте не представлены, хотя иногда появляются в болотных ландшафтах и кладбищах [9]. Геохимический цикл фосфора включает разнообразные пути миграции в земной коре, интенсивный биологический круговорот и миграцию в гидросфере [6]

На суше протекает интенсивный круговорот фосфора в системе «почва-растения-животные-почва». Запасы фосфора, доступные живым организмам, полностью сосредоточены в литосфере. Основными источниками элемента являются изверженные (апатиты) и осадочные (фосфориты) породы.

Фосфор из пород земной коры вовлекается в циркуляцию выщелачиванием и растворением в континентальных водах. Он попадает в экосистемы суши и поглощается растениями, которые при его участии синтезируют различные органические соединения и таким образом включается в трофические цепи. Затем органические соединения фосфора вместе с остатками биоценоза и выделениями живых организмов возвращаются в почву, где снова подвергаются воздействию микроорганизмов-деструкторов и превращаются в доступные автотрофам ортофосфаты.

Круговорот фосфора происходит и в системе суша-Мировой океан. Реки постоянно выносят его в океаны, содействуя развитию их обитателей.

Органический фосфор, оседающий на небольшой глубине приливно-отливных и неритических зон, после минерализации возвращается в круговорот. В глубоководных зонах, составляющих 85 % общей площади океанов,

фосфатные отложения выключаются из биосферы и могут быть возвращены ей лишь в результате тектонических процессов, требующих десятков и сотен миллионов лет. Правда, и здесь некоторая часть фосфора поступает на сушу вместе с выловленной рыбой и экскрементами морских птиц на прибрежных скалах (перуанское гуано).

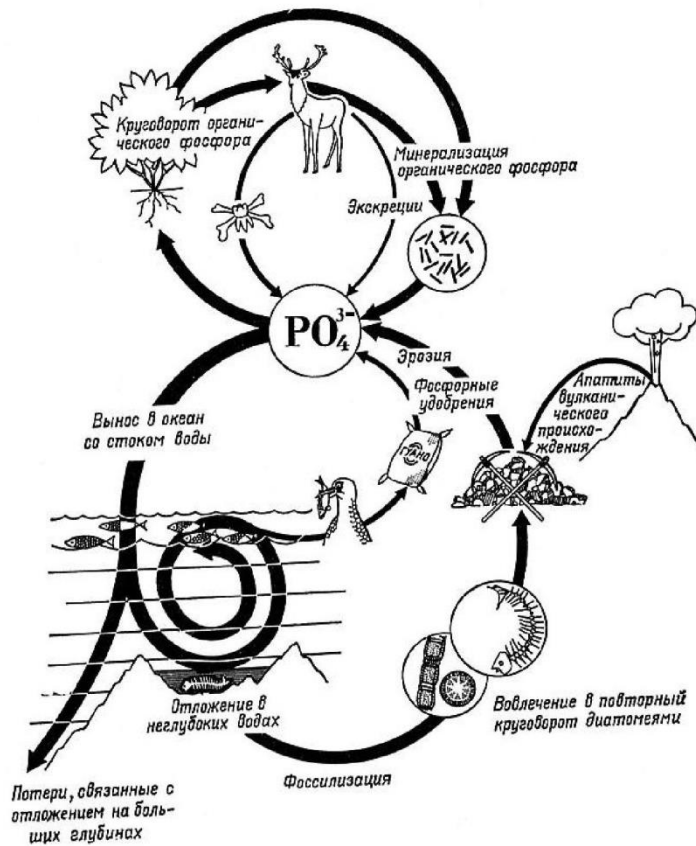


Рисунок 15 – Биогеохимический цикл фосфора

Согласно расчетам В.В. Добровольского [5] распределение масс фосфора в биосфере следующее:

| Резервуары | Масса, $1 \cdot 10^9$ т |
|--|-------------------------|
| Мировая суша: | |
| Природная растительность суши (до вмешательства человека) | 5,0 |
| Органическое вещество педосферы | 4,7 |
| Океан: | |
| Биомасса фотосинтетиков | 0,04 |
| Растворенное неорганическое вещество | 15,0 |
| Земная кора: | |
| Осадочная оболочка | 1311000 |
| Гранитный слой | 6330000 |

Ветровой вынос фосфора с континентов в виде твердых пылевых частиц представлен прочносвязанными фосфатами и существенного значения в его балансе не имеет.

Основные потоки масс фосфора, образующие его глобальный цикл, следующие:

| | Масса, 10 ⁶ т/год |
|---|------------------------------|
| Мировая суша | |
| Биологический круговорот | |
| с учетом сельскохозяйственных культур | 345 |
| Речной сток в: | |
| форме растворимых неорганических соединений | 1,0 |
| составе дисперсного органического вещества | 2,0 |
| составе минеральной взвеси | 21,0 |
| Океан: | |
| Биологический круговорот фотосинтезирующих организмов | 1210,0 |

Рассматривая круговорот фосфора в масштабе биосферы за сравнительно короткий период, следует отметить, что он полностью не замкнут. Характерная особенность глобального цикла этого элемента – отсутствие постоянно действующего геохимического потока, возвращающего крупные массы элемента на сушу. В естественных условиях механизм возвращения фосфора из океанов на сушу совершенно не способен компенсировать потери этого элемента на седиментацию, т. е. осаждение частиц дисперсной фазы в жидкости или газе под действием гравитационного поля или центробежных сил.

В Мировой океан ежегодно поступает $1,4 \cdot 10^7$ т фосфора, а возвращается обратно на сушу (в основном с продуктами морского промысла) лишь порядка 10^5 т. Очевидно, проблема дефицита фосфора – это проблема как естественных экосистем, так и агроценозов. По мнению П. Дювино [6], «положение однажды окажется угрожающим, поскольку фосфор – наиболее слабое звено в жизненной цепи, обеспечивающей существование человека».

Перенос фосфора через атмосферу в форме аэрозолей незначителен и не может компенсировать вынос элемента с водным стоком с суши в океан. Единственный природный источник поступления фосфора в глобальный цикл – выветривающиеся горные породы суши. Прогрессирующая потеря этого элемента может быть восполнена только поступлением в зону гипергенеза осадочных пород, в которых был аккумулирован элемент. Учитывая, что его выделение из океана насчитывает десятки миллионов лет, можно предполагать, что функционирование глобального цикла фосфора поддерживается тектоническими процессами, перемещающими обогащенные фосфором осадочные породы в зону выветривания [5].

Внесение фосфорных удобрений, представляющих собой продукты переработки осадочных пород, позволяет восполнить потребленный растениями фосфор в регионах с интенсивным сельскохозяйственным производством. Однако смыв удобрений с полей при избыточном их внесении, а также поступление в водоемы фосфатов с продуктами жизнедеятельности животных и человека могут приводить к перенасыщению водных экосистем фосфатами и нарушению в них экологического равновесия.

3.2.4 Биогеохимический цикл калия, мезо- и микроэлементов

Основным источником калия, мезо- и микроэлементов на суше является почва, куда они попадают в процессе выветривания горных пород. Биологический круговорот этих элементов начинается с продуцентов, т. е. поглощения растениями. Далее по трофической цепи калий и микроэлементы попадают к консументам – организмам, потребляющим органические вещества или редуцентам – организмам, питающимся остатками биоценоза. Ряд животных способен частично получать эти биогенные элементы непосредственно из почвы – процесс солонцевания. Минерализация остатков биоценоза позволяет калию, мезо- и микроэлементам возвратиться в почву, что вновь делает их доступными для включения в повторный биогенный круговорот. Такой биогеохимический цикл калия и микроэлементов в природе нарушается выносом их в реки и оттуда в моря и океаны. Выщелачивание атмосферными осадками приводит к деградации почвенно-поглощающего комплекса и к ослаблению физиологической активности корневых систем растений. Особенно заметно этот процесс проявляется во влажном климате; в умеренной зоне это приводит к оподзоливанию почв.

Миграция химических элементов в растворенном состоянии представляет собой планетарный процесс. Реки ежегодно выносят в моря и океаны $37 \cdot 10^{15}$ л воды. Согласно данным ученого-гидрохимика Д. Ливингстона, средняя минерализация, т. е. сумма растворимых соединений, в речных водах равна 120 мг/л. Следовательно, на протяжении года реки выносят со всей суши в среднем 4,4 млрд. т растворимых соединений. Кальция они ежегодно выносят – 481 млн. т., кремния – 212, натрия – 166, магния – 122, калия – 55 млн. т; мигрируют анионы: хлора – 236, сульфат-иона – 444, нитрат-иона – 37 млн. т. В большом количестве с водами рек мигрируют тяжелые элементы. Особенно много выносится железа – более 20 млн. т/год, цинка 740 тыс. т.; меди – 260 тыс., никеля – 74 тыс., свинца – 37 тыс. т. С каждого км² суши ежегодно выносится около 32 т растворимых веществ.

Не остается неподвижным и твердое вещество педосферы. Оно также участвует в миграции, перемещаясь с поверхностными водами суши. Поверхностные воды наряду с элементами, мигрирующими в растворенном состоянии или с коллоидными частицами, переносят огромные массы обломков горных пород и минералов, называемые твердым стоком. Значительная часть твердого стока перемещается в пределах суши, но и объемы, попадающие в моря, достаточно велики. В Мировой океан с континентов поступает ежегодно 22,13 млрд. т обломочного и глинистого материала, что примерно в 7 раз превышает количество выносимых растворенных веществ [5].

Нельзя, разумеется, упускать из виду и все возрастающую миграцию биогенных элементов, обусловленную антропогенными факторами. Так, ежегодно в результате уборки урожая только зерновых культур люди вовлекают в искусственную миграцию не менее 48 млн. т азота, 36 – калия, 12 млн. т фосфора. С учетом всех сельскохозяйственных культур эти количества будут гораздо больше. Так, в 30-х гг. XX столетия с урожаем ежегодно с полей отчуждалось около 25 млн. т азота, столько же калия и 8 млн. т фосфора. Эти цифры сегодня значительно возросли.

Вопросы для самоконтроля

1. Что подразумевают под круговоротом веществ?
2. Опишите геологический круговорот веществ.

3. Охарактеризуйте биологический круговорот веществ.
4. Выделите основные черты биогеохимических циклов азота, серы, фосфора, калия, мезо- и микроэлементов.
5. Чем различаются большой и малый круговорот веществ?
6. Какой процесс лежит в основе малого круговорота веществ?
7. Какой процесс лежит в основе большого круговорота веществ?
8. Что называют биогеохимическими циклами?
9. В чем различие газообразных и осадочных биогеохимических циклов?
10. Какие процессы лежат в основе круговорота азота?
11. Какого рода процессы (физические, химические, биологические) относят к нитрификации? К денитрификации?
12. Какие организмы могут усваивать газообразный азот из атмосферы? Как называется этот процесс?

Литература

1. Вернадский В.И. Избрание сочинений / В.И. Вернадский. – М.: Изд. АН СССР. Т.1, 1954. – 696 с., Т.2, 1955. – 615 с., Т.3, 1959. – 508 с., Т.4 (книга 1), 1959. – 624 с.
2. Вильямс В.Р. Естественнонаучные основы луговодства или луговедения / В.Р. Вильямс. – М.: «Новая деревня», 1922 / Собрание сочинений. Т.4, М.: Госсельхозиздат, 1949. – 502 с. (С. 30–31).
3. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
4. Делвич К. Круговорот азота / К. Делвич / Биосфера. – М.: Мир, 1972. С. 105–119.
5. Добровольский В.В. Основы биогеохимии / В.В. Добровольский. – М.: Высшая школа, 1998. – 413 с.
6. Дювино П. Биосфера и место в ней человека / П. Дювино, М. Танг. – М.: Прогресс, 1973. – 270 с.
7. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение / Л.О. Карпачевский. – М.: ГЕОС, 2005. – 336 с.
8. Ковда В.А. Основы учения о почвах / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1973. Кн.1. – 447 с.; Кн.2. – 468 с.
9. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1985. – 262 с.
10. Коробкин В.И. Экология и охрана окружающей среды / В.И. Коробкин, Л.В. Передельский. – М.: Кнорус, 2014. – 336 с.
11. Лукашевич И.Д. Неорганическая жизнь земли. Часть 2 / И.Д. Лукашевич. – СПб, 1909. – 274 с.
12. Мамонтов В.Г. Общая схема почвообразовательного процесса / В.Г. Мамонтов, Н.П. Панов, И.С. Кауричев, Н.Н. Игнатъев / Общее почвоведение. – М.: КолосС. 2006. С. 64–79.
13. Одум Е. Экология / Е. Одум. – М.: «Просвещение», 1968. – 168 с.
14. Орлов Д.С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, И.Н. Лозановская. – М.: Высшая школа, 2002. – 334 с.
15. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1975. – 342 с.
16. Петербургский А.В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии / А.В. Петербургский. – М.: Наука, 1979. – 168 с.
17. Придворев Н.И. Биогеохимические циклы / Н.И. Придворев / Экология. Под ред. Ю.И. Житина. – М.: Академический проект, 2008. С. 129–149.
18. Рамад Ф. Основы прикладной экологии / Ф. Рамад. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 543 с.
19. Розанов Б.Г. Основы учения об окружающей среде / Б.Г. Розанов. – М.: МГУ, 1984. – 376 с.
20. Рябчиков А.М. Изменения природной среды в результате производственной деятельности / А.М. Рябчиков // Метеорология и гидрология. 1974. №3. С. 9–16.
21. Leopold A.A. Sand County Almanac, Oxford Univ. Press / A. A. Leopold. – 1966. – 166 p.
22. Stevenson F.J. / Agromomy. 1965. Vol. 10. P. 1–42.

4. БИОСФЕРА – ГЛОБАЛЬНАЯ ЭКОСИСТЕМА ЗЕМЛИ

Люди погибли от неумения пользоваться силами природы и от незнания истинного мира.

Иероглифическая надпись на пирамиде Хеопса

Для современных условий характерно мощное техногенное воздействие на биосферу и почву, которое проявляется в почти полной распашке пахотно-пригодных земель, внесении в почву огромных количеств минеральных удобрений и пестицидов, в производственных выбросах в атмосферу, реки и океан различных токсических веществ, которые включаются в биогеохимические круговороты, поступают через почву, гидросферу и атмосферу в растения, организм животных и человека.

А.Д. Фокин, 1986

4.1 Биосфера – «область жизни»

4.1.1 Живое вещество и энергетика биосферы

Биосфера (от греч. *bios* – жизнь и греч. *sphaira* – шар), биогеоценотипический покров Земли, экосфера – экосистема высшего ранга, оболочка Земли, состав, энергетика и организация которой обуславливаются взаимодействием ее биотического и абиотического компонентов. Биосфера включает живые организмы (живое вещество), их остатки, зоны атмосферы, гидросферы и литосферы, населенные и видоизмененные этими организмами.

В настоящее время на Земле существует около 2 млн. видов организмов, из них на долю животных приходится 1,5 млн., растений – 0,5 млн. (табл. 43; [18]).

Таблица 43 – Число видов животных и растений

| Растения | Число видов | Животные | Число видов |
|---------------------|-----------------|--------------------------------|-------------|
| Всего | 500 000 | Всего | 1 500 000 |
| в т.ч.: низшие: | | в т.ч.: простейшие | 15 000 |
| водоросли | 25 000 | губки | 5 000 |
| бактерии и грибы | 100 000 | кишечнополостные | 9 000 |
| лишайники | 18 000 | черви | 19 000 |
| высшие: | | моллюски | 105 000 |
| мохообразные | 20 000 | членистоногие (без насекомых) | 50 000 |
| плауновые | 800 | насекомые | 1 000 000 |
| хвощевые | 30 | иглокожие | 5 000 |
| папоротникообразные | 6 000 | хордовые | 48 000 |
| голосеменные | 600 | хордовые (включая позвоночных) | 50 000 |
| покрытосеменные | 200 000–300 000 | из них: | |
| | | птицы | 10 000 |
| | | млекопитающие | 6 000 |

Вся масса живого вещества, которое было на Земле хотя бы в течение 1 млрд. лет, уже превышает массу самой земной коры. Сухая биомасса Земли составляет $2,44 \cdot 10^{12}$ т, т. е. 0,00001 % земной коры ($2 \cdot 10^{16}$ т), ежегодная продукция живого вещества приблизительно составляет $2,32 \cdot 10^{11}$ т. Полагая, что последний миллиард лет продукция была близка к современной, можно считать ее суммарное количество: $2 \cdot 10^{11} \cdot 10^9 = 2 \cdot 10^{20}$ т, т. е. в 10 раз больше массы земной коры [15].

Солнечной энергии в год на земную поверхность падает около $21 \cdot 10^{23}$ кДж, из этой величины на растительный покров Земли и водоемы приходится примерно 40 %, т. е. около $8,4 \cdot 10^{23}$ кДж. С учетом потери энергии радиации вследствие отражения, а также энергетического выхода фотосинтеза, не превышающего 2 %, общее количество энергии, запасаемой ежегодно в продуктах фотосинтеза, выразится величиной порядка $20,9 \cdot 10^{22}$ кДж.

Помимо создания биомассы, живой покров суши использует захваченную им солнечную энергию для процесса дыхания. Эти энергетические затраты составляют около 30–40 % энергии, расходуемой на ее создание чистой продукции. Таким образом, живой зеленый экран Земли, т. е. растительность суши, преобразует ежегодно суммарно (на дыхание и создание биомассы) около $4,2 \cdot 10^{18}$ кДж солнечной энергии.

4.1.2 Компоненты биосферы

Масштабы биосферы определяются следующими показателями. В литосфере дождевые черви встречаются на глубине до 8 м, нефтяные бактерии найдены глубже 7500 м. Мировой океан населен до максимальных своих пучин. В горах растения достигают высоты 6200 м над уровнем моря. В атмосфере насекомые обнаружены на высоте до 2000 м, летающие пауки – до 4000 м, а споры и бактерии – не менее чем до 22 000 м.

Толщина биосферы в атмосфере составляет более 20 км. В ее пределах организмы сталкиваются с огромным диапазоном температур, света, давления, газового состава и других экологических условий. Можно только поражаться удивительной способности организмов адаптироваться к самым экстремальным экологическим условиям жизни на суше, воде и в воздухе.

В состав биосферы входят *живое вещество* (совокупность живых организмов: растений, животных и микроорганизмов), *биогенное вещество* (непрерывный биогеогенный поток атомов из живого в косное вещество биосферы и обратно; продукты жизнедеятельности живых организмов – осадочные породы органического происхождения), *биокосное вещество* (почвы, илы, поверхностные воды, сама биосфера, сложные косно–живые структуры, продукты распада и переработки горных и осадочных пород живыми организмами) и *косное вещество* (горные породы магматического, неорганического, происхождения, вода, а также переработанные и видоизмененные живыми организмами вещества космического происхождения, т. е. космическая пыль, метеориты...). Кроме того в состав биосферы входят радиоактивные вещества, образовавшиеся в результате распада радиоактивных элементов, и рассеянные атомы, не связанные химическими реакциями. Самая существенная особенность биосферы – биогеогенная миграция атомов химических элементов, вызванная энергией Солнца и выражающаяся в процессах обмена веществ, росте и развитии организмов.

4.1.3 В.И. Вернадский – основоположник учения о биосфере

Ж.Б. Ламарк (1802) в своей работе *«Гидрология»* впервые дал представление о биосфере и ее роли в истории нашей планеты. Не пользуясь еще этим термином, он писал, что «все вещества, находящиеся на поверхности земного шара и образующие его кору, сформировались благодаря деятельности живых организмов». Немецкий ученый–географ А. Гумбольдт (1826), развивая эти идеи, ввел понятие «жизненная среда», понимая под ней оболочку Земли, куда включал атмосферные, морские и континентальные процессы и весь органический мир. Немецкий естествоиспытатель Ф. Ратцель в 60-х гг. XIX в. назвал поверхность Земли «пространством жизни». Так постепенно формировалось понятие пространства, охватываемого жизнью и ею же создаваемого. Австрийский геолог Э. Зюсс (1875) назвал это пространство «биосферой». Именно с этого момента и входит в научный обиход этот термин. Э. Зюсс в своей книге *«Лик Земли»* (1909) описал биосферу как «совокупность организмов, охваченную в пространстве и во времени, и обитающую на поверхности Земли». Наиболее полно это понятие было разработано в трудах нашего соотечественника В.И. Вернадского [4]. В 1919 г. он впервые высказал идею «единого, целого, нераздельного» органического мира («живого вещества») и его геологических функций. «Под именем живого вещества, – писал В.И. Вернадский, – я буду подразумевать всю совокупность организмов, растительности и животных, в т. ч. и человека. С геохимической точки зрения, эта совокупность организмов имеет значение только той массой вещества, которая ее составляет, ее химическим составом и связанной с ней энергией...». В 1926 г. вышел его фундаментальный труд *«Биосфера»*, в котором ученый изложил в полном и законченном виде свое учение о «живом веществе». В основе учения В.И. Вернадского о биосфере лежат представления о планетарной геохимической роли живого вещества и об организованности биосферы, являющейся продуктом сложного превращения вещественных, энергетических и информационных потоков за время геологической истории Земли. В.И. Вернадский определил биосферу как особую форму организованности материи – биокосную систему, выделив следующие принципы ее формирования [4]:

1. Принцип целостности биосферы: все живое вещество – единое целое в механизме биосферы. «Можно говорить о всей жизни, о всем живом веществе как о едином целом в механизме биосферы»;

2. Принцип гармонии биосферы и ее организованности, т. к. в ней «все учитывается и все приспособляется с той же точностью, с той же механичностью и с тем же подчинением мере и гармонии, какую мы видим в стройных движениях небесных светил и начинаем видеть в системах атомов вещества и атомов энергии»;

3. Огромная роль в эволюции Земли отводится живому веществу. Лик Земли как небесного тела фактически сформирован жизнью, т. к. «на поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем организмы, взятые в целом»;

4. Космическая роль биосферы в трансформации энергии. В своем глобальном, космическом проявлении «сфера жизни» выступает как гигантский аккумулятор и уникальный трансформатор энергии Солнца. Благодаря биосфере – приемнику солнечного и космического излучений – на всей планете осуществляется активная связь Земли с космосом. Благодаря же геохимиче-

ской работе живого вещества, прежде всего растений, осуществляющих процесс фотосинтеза, меняется весь облик Земли. Преобразуя космическую (главным образом солнечную) энергию в свободную земную (химическую, механическую, тепловую, электрическую) живое вещество постоянно нарушает то относительное химическое спокойствие, которое присуще поверхности планеты самой по себе. Количество солнечной энергии, аккумулируемой живым веществом, колоссально: ежегодно в процессе фотосинтеза растения связывают $7,178 \cdot 10^{18}$ кДж энергии;

5. Растекание жизни есть проявление ее геохимической энергии. Живое вещество, подобно газу, растекается по земной поверхности в соответствии с правилом инерции. Мелкие организмы размножаются быстрее, чем крупные;

6. Принцип автотрофности. *Автотрофы* – организмы, самостоятельно синтезирующие органические вещества из неорганических соединений (углекислоты, воды, минеральных солей), за счет энергии солнечного света (фотосинтез) или химических превращений (хемосинтез). Поле существования автотрофных организмов определяется областью проникновения солнечных лучей;

7. Космическая энергия вызывает давление жизни, которое достигается размножением, уменьшающимся по мере увеличения количества организмов;

8. Формы нахождения химических элементов в биосфере: горные породы, минералы, рассеянные элементы и живое вещество. Закон бережливости в использовании живым веществом простых химических тел: раз вошедший в него элемент проходит длинный ряд состояний, и организм вводит в себя только необходимое количество элементов;

9. Жизнь целиком определяется областью устойчивости растительности. Пределы жизни определяются физико–химическими свойствами соединений, строящих организм, их неразрушимостью в определенных условиях среды;

10. Биосфера представляет один и тот же химический аппарат с древних геологических периодов. Жизнь оставалась в течение геологического времени постоянной, менялась только ее форма;

11. Всюдность жизни в биосфере: поле устойчивости жизни есть результат приспособленности в ходе времени;

12. Постоянство количества живого вещества в биосфере. Количество свободного кислорода в атмосфере того же порядка, что и масса живого вещества ($1,5 \cdot 10^{21}$ и 10^{20} – 10^{21} т), скорость передачи жизни не может перейти пределы, нарушающие свойства газов, идет борьба за необходимый газ;

13. Всякая система достигает устойчивого равновесия, когда ее свободная энергия равняется или приближается к нулю, т. е. когда вся возможная в условиях системы работа произведена.

С точки зрения иерархических уровней организации живой материи и системного подхода, *биосфера* – это совокупность всех экосистем (биогеоценозов), распространенных в пределах геосфер, с которыми взаимодействует живая оболочка Земли. Границы биосферы: в атмосфере до озонового слоя (25–35 км), в гидросфере – до максимальных глубин (≈ 11 км), в литосфере – до 8–10 м, реже – 3 км (нефтеносные слои воды).

Организмы связаны с окружающей средой биогенным током атомов: своим дыханием и размножением, именно миграция химических элементов с помощью живых организмов и создает необходимые для них условия существования. Тесное взаимодействие живых организмов с компонентами биосферы (ли-

тосфера, атмосфера, гидросфера, педосфера) в основном определяет динамику многих химических элементов в различных круговоротах. По В.И. Вернадскому вещество биосферы, как было указано, состоит из 7 разнородных частей:

- 1) живое вещество;
- 2) биогенное вещество;
- 3) косное вещество;
- 4) биокосное вещество;
- 5) радиоактивное вещество;
- 6) рассеянные атомы;
- 7) вещество космического происхождения.

«Биосфера Земли, – пишет В.А. Ковда [8], – является древней, крайне сложной общепланетарной, термодинамически открытой саморегулирующейся системой живого и неживого вещества, аккумулирующей и перераспределяющей огромные по мощности ресурсы энергии, включающей состав и динамику земной коры, атмосферы и гидросферы».

Основными факторами эволюции биосферы являются: *абиотические* (космические и геологические), *биотические* (изменчивость, т. е. мутации, наследственность, борьба за существование, естественный отбор), а также *антропогенные*, особенно в эпоху научно–технической революции, благодаря которым биосфера постепенно переходит в ноосферу, т. е. в новое эволюционное состояние биосферы, при котором разумная деятельность человека становится решающим фактором ее развития.

В.И. Вернадский [4] впервые выдвинул идею о том, что человеческий фактор в развитии биосферы становится главенствующим, что подтверждается возникновением глобальных экологических проблем современной цивилизации:

- 1) парниковый эффект;
- 2) кислотные дожди;
- 3) разрушение озонового слоя;
- 4) загрязнение среды антропогенными токсикантами.

4.1.4 Биосфера и техногенез

Одно из первых и всеми признаваемых условий счастья есть жизнь такая, при которой не нарушена связь человека с природой, то есть жизнь под открытым небом, при свете солнца, при свежем воздухе; общение с землей, растениями, животными.

Л.Н. Толстой

Состояние биосферы подвержено непрерывным изменениям. Ее естественные (природные) изменения, как правило, происходят около некоторого среднего, относительно постоянного уровня состояния, которое существенно изменяется лишь в течение длительных интервалов времени (измеряемых многими тысячами лет). Исключение составляют изменения, вызванные стихийными бедствиями катастрофического характера (извержение вулканов, землетрясения, ураганы), но они, как правило, носят относительно локальный характер. В отличие от них антропогенные изменения состояния природной среды, которые стали особенно значительными в последние десятилетия, приводят в отдельных случаях к резкому изменению ее среднего состояния в конкретном

регионе. Такие изменения могут быть подразделены на намеренные и ненамеренные. К намеренным – относятся существенные антропогенные изменения, направленные на удовлетворение потребностей человека, – использование земель сельскохозяйственного назначения, мелиорация, строительство промышленных и гражданских объектов. К ненамеренным – следует отнести обеднение крупных массивов земель, гибель или существенную трансформацию экосистем, загрязнение Мирового океана нефтепродуктами, наступление пустыни, существенное закисление поверхностных вод и почв. Наиболее серьезные проблемы негативных последствий антропогенных воздействий могут быть связаны с воздействиями, характеризующимися: 1) масштабностью проявления эффектов и признаков изменений, вплоть до глобального охвата, 2) значительной инерционностью последствий и 3) остротой негативных последствий. Конечно, разделение на такие категории условно, т. к. многие масштабные эффекты можно отнести к нескольким категориям сразу [6].

Познание законов развития биосферы приобретает особенно важное значение с развитием научно–технического прогресса. Комплексное развитие всех отраслей народного хозяйства должно сочетаться с удовлетворением потребностей человека, и с сохранением природной среды. Хозяйственная деятельность человека часто коренным образом меняет направленность природных биогеохимических циклов. Биосфера и ее компоненты получили новый фактор – современное общество с его интеллектуальностью и могущественной наукой, энергетическим, индустриальным, транспортным, агрономическим, гидротехническим потенциалами и противоречивым социальным аппаратом. Этот фактор стихийно вошел в биосферу и стал его органической частью, вызвал непредвиденные хаотические и часто отрицательные последствия в природных процессах. Проблема современности заключается в понимании этих явлений во всей совокупности, в познании механизма взаимодействия частей этой системы, в выборе оптимальных форм социального устройства самого общества и научно обоснованных приемов управления, а также совершенствования системы «биосфера – общество» [11].

До XVIII в. человек жил в мире, который с точки зрения количества энергии, приходящийся на душу населения, мало отличался от доисторических времен, иначе говоря, человек жил в полной гармонии с природой. Лишь в 1705 г. Т. Ньюкомен изобрел паровую водоподъемную машину. Дж. Уатт (1796) с помощью паровой машины преобразовал тепловую энергию в механическую.

XIX в. был веком великого оптимизма. Он дал человеку одно из величайших достижений фундаментальной науки – электромагнитную теорию – основу современной техники; он породил уверенность в том, что рационализм вместе с наукой и техникой принесут миру облегчение и покой.

Сделало шаг вперед и земледелие: расширился набор полевых культур совершенствуются орудия труда. Все большее количество сельских хозяйств переходит на более прогрессивную плодосменную систему земледелия. Начинает зарождаться агрономическая химия. Как самостоятельная наука, она сформировалась именно в первой половине XIX столетия. Точкой отсчета можно считать 1840 г., когда знаменитый немецкий химик Ю. Либих опубликовал свой фундаментальный труд *«Химия в приложении к земледелию и физиологии»*. Разработанная им теория минерального питания растений

способствовала широкому внедрению минеральных удобрений в сельском хозяйстве. Романы английского писателя Г. Дж. Уэллса «*Машина времени*» (1895), «*Человек невидимка*» (1897), «*Война миров*» (1898) отражали суть этого периода и веру в способности человека, опирающуюся на новейшие и естественнонаучные концепции. Так известный французский химик Марслен Бертю в 1894 г. писал: «В 2000 г. ...не будет ни сельского хозяйства, ни земледельцев. Проблема существования (человечества) посредством обработки почвы будет вытеснена и решена химией».

Первая четверть XX столетия была триумфом научного прогресса. Теория относительности связала воедино массу, время и энергию; квантовая механика дала возможность понять, что микромир подчиняется иным законам, чем макромир. Столь же поразительны были успехи квантовой механики, одного из основных разделов квантовой теории. Квантовая механика впервые позволила описать спектры атомов и понять их структуру, установить природу химической связи, объяснить периодическую систему элементов. В эти же годы произошли два важных события, имеющих отношение к энергетике. Сначала в 1939 г. О. Хан и Ф. Штрассман впервые зафиксировали процессы ядерного деления. Позже, в 1942 г. под руководством итальянского физика Э. Ферми был создан атомный реактор. Период 1945–1965 гг. характерен кульминацией оптимистических взглядов на науку и технику. Ученые вызвали глубокое уважение и считались глашатаями нового витка жизненного уровня. Многие всерьез были уверены, что в обозримом будущем физическому труду не будет места и наступит полностью автоматизированный рай.

Дж. Стент (1965) в своей книге «*Конец науки и золотой век*» предположил, что неограниченный источник энергии – атом даст людям могущество, которое ранее приписывали богам. Однако чудес в природе не бывает: за синтезом следует тезис, за тезисом – антитезис. Антитезисом явилась книга Л. Гофлера (1970) «*Крах будущего*». Вторая половина XX столетия не принесла человечеству воображаемого триумфа. Развитие цивилизации, достижения науки и техники наряду с грандиозными успехами обусловили одновременно возникновение и целого ряда серьезных экологических проблем [10]:

1. Аккумулируя энергию в виде органических соединений и рассеивая ее в виде тепла, природа создала эволюционно сложившийся тепловой баланс, который человек нарушает. Если автотрофные организмы, с которых начинается трансформация солнечной энергии в живое вещество, преобразуют ее из рассеянного состояния в концентрированное, синтезируя органическое вещество, в т. ч. и из запасников природы, то человек сжигает его, переводя энергию из концентрированного в рассеянное состояние. При добыче энергоресурсов человек разрушает почвы, гибнет или деградирует растительный покров, загрязняет водные объекты и атмосферу, формирует отвалы пород, что приводит, в частности, к подъему уровня грунтовых вод и появлению в окружающей местности контурного кольца из озер, болот.

2. Биогеохимические циклы биогенных элементов, участвующих в природных круговоротах, отработаны эволюционно и не приводят к накоплению отходов. Человек же использует вещество планеты крайне неэффективно; при этом образуется огромное количество отходов, многие из которых переводятся из пассивной формы, в которой они находились в природной среде, в активную, токсичную форму. В сферу хозяйственной деятельности вовлечены

практически все химические элементы, а также огромное количество синтезированных человеком соединений. В результате биосфера «обогащается» несвойственными ей соединениями, т. е. нарушается естественное соотношение химических элементов и веществ. Человек же «копирует» природные круговороты с точностью до наоборот. Лишь 1–2 % первичного сырья используется в круговоротах, а 98–99 % уходит в отходы.

3. При многообразии видов конкурентные и хищнические отношения между ними способствуют установлению биологического равновесия. Исчезновение любого из видов – это не только безвозвратная потеря природного генофонда, но и снижение устойчивости отдельных экосистем и биосферы в целом как огромной и сложной экосистемы. Путь человечества, к сожалению, отмечен гибелью многих представителей флоры и фауны. На Земле ежедневно исчезает один биологический вид.

4. Хозяйственная деятельность человека привела к нарушению популяционной стабильности. Растет численность крыс, тараканов и других сопутствующих человеку видов, а количество многих других популяций, напротив, сокращается, причем иногда в катастрофических размерах, что ставит те или иные виды под угрозу полного исчезновения.

5. Расширяя хозяйственную деятельность, люди в короткие сроки меняют параметры экологических факторов; многие виды не успевают приспособиться к таким быстрым изменениям. Хозяйственная деятельность человека приобретает такие масштабы, когда нарушаются все основные принципы естественного, в высшей степени рационального, устройства биосферы: энергетический баланс, сложившийся круговорот веществ, многообразие видов и биологических сообществ, популяционная стабильность и приспособленность живых организмов к среде обитания.

Биосфера является гигантской экологической системой земного шара. Сама же Земля – это дом человечества. Поэтому задача всех людей состоит в том, чтобы будущие поколения могли пользоваться всеми благами природы. Вот почему охрана биосферы как среды обитания всех живых существ приобрела сегодня международный, глобальный характер [11].

На биосферу оказывают большое влияние высокие темпы урбанизации, индустриализации, развитие транспорта, сжигание различных видов топлива в промышленности и быту, накопление большого количества коммунально-бытовых отходов, а также применение в сельском хозяйстве агрохимикатов.

Воздействие на биосферу, по мнению В.А. Черникова и его коллег [20], сводится к четырем главным формам изменений:

1) структуры земной поверхности (распашка степей, вырубка лесов, мелиорация, создание искусственных озер и морей, режима поверхностных вод);

2) состава биосферы, круговорота и баланса слагающих ее веществ (изъятие полезных ископаемых, образование отвалов, выброс поллютантов в атмосферу и в водные объекты, изменение влагооборота);

3) энергетического, в частности теплового, баланса отдельных районов земного шара, опасное для всей планеты;

4) биоты (совокупность живых организмов) в результате истребления некоторых видов, создания новых пород животных и сортов культурных растений, перемещения их на новые места обитания.

Высокая производительность современной цивилизации способствует эксплуатации природы повсюду: от полюса до тропиков, от горных вершин

до океанских глубин. Однако научно–технический прогресс нередко усложняет взаимоотношения человека с окружающей средой, вносит весьма существенные и непредвиденные коррективы в экологические системы, в регуляцию биосферы в целом. Нередко они связаны с загрязнением воздушного бассейна, морских акваторий и пресноводных водоемов, нарушением педосферы и ландшафтов, водных и лесных ресурсов, уменьшением численности видов животных и растений. Деграция природной среды достигла пределов. Одной из причин напряжения во взаимоотношениях человеческого общества и природы является укоренившееся в сознании людей потребительское отношение к природным ресурсам. Человек с момента появления на Земле непрерывно брал от природы – вырубал лес, использовал естественное плодородие почв, ловил рыбу и зверя, расходовал чистую воду. Восстанавливала нарушенное в экосистемах равновесие сама природа, и это создало у человечества представление о безграничности природных ресурсов.

Согласно приведенным В.А. Черниковым и его коллегами [20] данным, человек эксплуатирует более 55 % суши, использует около 13 % речных вод, среднегодовая скорость вырубка лесов достигает 18 млн. га. В результате горных и строительных работ, опустынивания и засоления ежегодно утрачивается до 70 тыс. км² земель. При строительстве и горных работах в год в среднем перемещается более 4 тыс. км³ породы. Из недр Земли ежегодно извлекают 100 млрд. т руды, сжигают 7 млрд. т условного топлива, выплавляют более 800 млн. т различных металлов, вносят свыше 500 млн. т минеральных удобрений и более 4 млн. т пестицидов, около трети которых уносится поверхностными стоками в водоемы или задерживается в атмосфере. Кроме того, в различных производственных и бытовых целях используется более 500 тыс. химических соединений, из которых около 40 тыс. обладают вредными для человека свойствами, а 12 тыс. токсичны. При таком возросшем влиянии общественного производства на окружающую среду необходимо усилить внимание к охране природы, экономному использованию ее богатств, защите механизма самосохранения, саморегулирования биосферы от отрицательных воздействий человеческой деятельности, сочетанию потребления и воспроизводства природных ресурсов в целях сохранения экологического равновесия.

В.А. Ковда [9] считает, что сокращение площади лесов, загрязнение вод Мирового океана, разрушение или ликвидация на больших пространствах почвенного покрова могут привести к ослаблению функционирования основного механизма системы: почва–растения и океан–растения. Последствия этого ощущаются еще в очень малой степени, но прогноз и рекомендации ясны: необходимо оберегать почвенный покров, закрыть его каждый квадратный сантиметр, дециметр и метр травянистой, кустарниковой и древесной растительностью. Соответствующий комплекс мер необходим и для сохранения фотосинтетической деятельности фитоценозов. Дальнейшее разрушение этого механизма локально и регионально усилит процессы нарушения биогеохимических циклов планеты, еще больше увеличит их незамкнутость и перегрузку, а также дальнейшее ослабление фотосинтетического звена.

Ф. Энгельс [24] отмечал, что «...на каждом шагу факты напоминают нам о том, что мы отнюдь не властвуем над природой так, как завоеватель властвует над чужим народом, не властвуем над ней так, как кто–либо находящийся вне природы,– что мы, наоборот, нашей плотью, кровью и мозгом

принадлежим ей и находимся внутри ее, что все наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от всех других существ, умеем познавать ее законы и правильно их применять».

По мнению В.Г. Минеева [11] прогресс человечества невозможен без разумного воздействия на природу, преобразования ее в интересах нынешнего и будущих поколений. Важно рационально использовать природные богатства на основе познания законов природы и их правильного научного применения.

Ю.А. Израэль в своем классическом труде «*Экология и контроль состояния природной среды*» [6] схематически проиллюстрировал причинно–следственные связи возможных последствий антропогенных воздействий на биосферу (табл. 44).

Таблица 44 – Влияние антропогенных факторов на биосферу, здоровье и благосостояние населения

| Антропогенные факторы | Биосфера | | | Человек | |
|--|--|--|--|--|---|
| | изменение свойств основных элементов биосферы | геофизические и геохимические последствия и эффекты | экологические и биологические последствия нарушения экосистем | влияние на здоровье и благосостояние людей | социальные последствия |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Выброс в биосферу химически и физически активных веществ | Изменение состава и свойств атмосферы | Крупномасштабные изменения циркуляции в атмосфере и океане | Изменение земных и водных экосистем, нарушение их устойчивости | Ухудшение работоспособности | Изменение производства продовольствия, недоедание, голод |
| Выброс в биосферу инертного материала | Изменение состава и свойств вод суши | Изменение погоды и климата | Изменение экосистем океана (структурные упрощения) | Эстетический ущерб, ухудшение настроения | Изменение структуры энергопотребления |
| Прямой нагрев биосферы | Изменение состава и свойств под Мирового океана | Перераспределение и изменение возобновляемых небиологических ресурсов | Генетические эффекты, перерождение | Болезни, возникновение стрессового состояния | Изменение экономики |
| Физическое воздействие, ведущее к изменению поверхности суши и растительного покрова | Изменение состояния биоты как биогеофизической среды | Нарушение озонового слоя, ионосферы (изменение прохождения ультрафиолетового излучения, радиоволн) | Исчезновение существующих видов, появление новых | Генетические эффекты | Ущерб благосостоянию, возможность нарушения развития общества |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|--|--|---|
| Биологическое воздействие (развитие агроценозов, интродукция биологических видов) | Изменение литосферы (механические нарушения, накопление отходов) | Изменение прозрачности атмосферы, прохождения солнечного излучения | Падение биопродуктивности и численности популяций, деградация лесов, опустынивание | Изменение продолжительности жизни | |
| Изъятие и уничтожение ресурсов | Изменение криосферы | Эрозия земной поверхности, изменение альбедо земной поверхности | Деградация почв, опустынивание | Уменьшение темпов роста населения | |
| Антропогенные упорядоченные потоки вещества (транспортные) | Изменение свойств поверхности суши и почвы. Изменение геофизических свойств крупных систем: климатической, биосферы в целом | Нарушение естественных геохимических циклов, кругооборота элементов | Истощение невозобновимых ресурсов. Изменение эволюции биосферы | Уменьшение численности населения в различных масштабах | |

Антропогенные воздействия на биосферу обуславливают изменения основных ее элементов. Действие каждого из факторов может стать причиной различных последствий. Некоторые из следствий сами могут вызывать дальнейшие последствия выступая, в свою очередь, в качестве антропогенных факторов воздействия такого рода влияния, разумеется, могут сопровождаться взаимно усиливающимися эффектами. Те или иные «события» в биосфере, вызванные антропогенными факторами, развиваются по принципу цепной реакции. Данное обстоятельство важно учитывать при решении задач, направленных на оптимизацию взаимодействия человека и окружающей среды, при выработке, принятии и осуществлении соответствующих управленческих функций. Например, значительное загрязнение природной среды происходит при производстве хлорида калия вследствие, прежде всего, накопления солевых отходов и глинистых шламов. Солевые отходы в количестве десятков миллионов тонн накапливаются в солеотвалах. Они состоят из хлоридов натрия (до 90 %), хлоридов калия (до 9 %), а также соединений кальция и магния. Глинистые шламы десятками тысяч кубометров в сутки транспортируются на шламонакопители. Они занимают сотни гектаров земельной площади. В зависимости от технологии переработки калийно-магниевых руд глинистые шламы содержат 11–19 % хлорида калия, 14–16 % хлорида натрия, 0,2–5,0 % хлорида магния, 3–4 % сульфата калия, 40–45 % воды и 13–30 %

нерастворимого остатка. С ливневыми и тальми водами происходит значительная миграция компонентов в солевых отходах и шламах в природные водные источники. Так, если выше по течению рек от мест расположения калийных предприятий количество рубидия составляет 0,002–0,05 мг/л, калия 1–3, натрия 2–14, магния 2–35 мг/л, кальция 7–80 мг/л, то ниже по течению концентрация рубидия достигает 0,5–1,5 мг/л, а калия, натрия, магния и кальция – сотен и тысяч миллиграммов на 1 л воды. Особенно большое количество щелочных элементов наблюдается в реках в непосредственной близости от солеотвалов и шламонакопителей. В воде малого водоема на расстоянии 100–300 м от солеотвала и шламонакопителя производства хлорида калия рубидия содержалось 10–30 мг/л, калия – 19 000–26 000, натрия – 22000–36000, магния 560–1250, кальция – 1540–2080 мг/л. Важным путем предотвращения загрязнения природной среды сточными водами и отходами производства хлорида калия является ликвидация солеотвалов и шламонакопителей и переработка отходов (поскольку они содержат ряд ценных химических веществ), а также полное исключение сброса в водоемы неочищенных стоков [23].

Значительное загрязнение окружающей среды происходит и при производстве фосфорных удобрений: в атмосферный воздух и сточные воды поступают фтор, сера, кремний, кальций, железо, оксиды азота, селена, мышьяка и т. д. При производстве 1 т удобрений в окружающую среду поступает 3–5 т твердых отходов, 20–25 кг токсичных веществ с отходящими газами, 25–60 м³ сточных вод различной степени загрязненности. Так, например, основными источниками вредных выбросов при производстве двойного суперфосфата являются реакторы разложения, барабаны грануляторы-сушилки, сушильные барабаны, холодильники готового продукта. Концентрация пыли в пылегазовых потоках этих аппаратов составляет 0,12–12,0 г/м³, а фтористых соединений 0,08–3,4 г/м³. При сушке суперфосфата в отходящих газах наряду с фтористыми соединениями содержатся оксиды фосфора.

Одним из видов многотоннажных отходов является фосфогипс – побочный продукт производства экстракционной фосфорной кислоты, получаемой при разложении фосфатного сырья или апатитового концентрата смесью серной и фосфорной кислот дигидратным способом. Химический состав фосфогипса определяется качеством используемого фосфатного сырья, а также способом извлечения фосфорной кислоты.

Фосфогипс, прежде всего, вследствие загрязненности фосфатными, фтористыми и другими соединениями, не находит непосредственной полной утилизации путем переработки в общественно необходимые продукты и накапливается в значительных количествах на специальных полигонах складирования. Большие объемы и высокая интенсивность накопления фосфогипса принимают масштабы, угрожающие экологической безопасности, устойчивому функционированию природной среды и являются реальной угрозой для здоровья населения. Отвалы фосфогипса размещаются на открытых площадках в непосредственной близости к предприятию, природным комплексам и даже поселениям и занимают обширные территории. Хотя имеющиеся сведения в большей части указывают на соблюдение экологических нормативов при формировании отвалов фосфогипса, следует иметь в виду, что их негативное воздействие на биогеосистему лишь отложено и со временем может привести к гидрогеологической и геохимической катастрофе.

Накопленные в отвалах предприятий страны запасы фосфогипса огромны и по оценкам экспертов составляют около 150 млн. т. с ежегодным увеличением на 15 млн. т. В 2013 г. в США (г. Майами) и в 2015 г. в Давосе (Швейцария) состоялись симпозиумы по проблемам фосфогипса, на которых было отмечено, что из ежегодно образуемого в мире объема фосфогипса 58 % складывается в шламонакопителях, 28 % сбрасывается в водоёмы и лишь 14 % утилизируется.

Современное развитие отношений человеческого сообщества с окружающей средой следует охарактеризовать как период необходимости перехода к очередной революции – устойчивому развитию цивилизации. Человечество вступило в эпоху необходимости принятия трудных решений – необходимо перейти к устойчивому развитию общества, что связано с определенными ограничениями и запрещениями. Так одним из необходимых условий увеличения количества и качества урожая является проведение эффективных мероприятий по борьбе с сорняками, болезнями и вредителями культурных растений. Вредители, болезни и сорная растительность наносит значительный ущерб производству сельскохозяйственной продукции. По официальным данным ФАО, потери урожая от болезней, вредителей растений ежегодно в мире составляют 75 млрд. долларов, или 34,9 % урожая, в т. ч. от вредителей 13,8 %, болезней – 11,6 %, сорняков – 9,5 %. Своевременное проведение защитных мероприятий позволяет в среднем сохранить с каждого гектара по 2–3 ц зерна, не менее 5 ц риса, не менее 15 ц картофеля, овощей, сахарной свеклы, подов и винограда.

В настоящее время в сельском хозяйстве в борьбе с болезнями и вредителями растений используется целый комплекс мероприятий: агротехнические приемы, создание устойчивых к вредителям и болезням сортов, использование биологических, химических и других методов, прямо или опосредованно влияющих на вредителей культурных растений. Однако наиболее эффективный в борьбе с болезнями и вредителями растений является химический метод. Открытие этого метода считается одним из важнейших достижений научно-технического прогресса.

Борьба с вредными насекомыми с помощью пестицидов (лат. *pestis* – зараза, *cecidii* – убивать) была начата конце XVII в., но в более широких масштабах стали проводиться эти мероприятия с XVIII в. Сперва использовались препараты растительного происхождения, затем пошли в ход синтетические. Сегодня в мире на 1 га наносится 500 г химических средств защиты растений, в т. ч. в Западной Европе и США – 2–3 кг, в странах Азии (за исключением Японии), Африки и латинской Америки – около 200 г. Производство химических средств защиты растений из года в год возрастает [13]. Резко увеличился ассортимент и общее их количество. В начале текущего столетия в мире насчитывалось около 1000 наименований пестицидов для борьбы с вредными насекомыми, болезнями и сорными растениями.

По данным Е.В. Агафонова и его учеников [1] учеными выделено более 70 тыс. химических соединений природного и синтетического происхождения, обладающих пестицидным эффектом. На территории Российской Федерации в настоящее время разрешено к применению более 1 тыс. пестицидов. История пестицидов, – пишут они, – насчитывает тысячелетия:

– еще за 1500 лет н.э. борьба с блохами в домах велась с помощью растений, т. е. природных пестицидов, содержащихся в них;

- известь и золу растений стали применять против насекомых примерно 3000 лет назад;
- ртуть и мышьяк вошли в практику 2000 лет назад;
- серу стали использовать 1400 лет назад;
- парижскую зелень (арсенит меди) впервые применили в 1867 г. против картофельного жука;
- вторая мировая война привела к использованию DDT и 2,4-D в качестве пестицидов.

Перечислим прямые положительные результаты применения пестицидов, которыми пользуется цивилизованный мир.

Во-первых, это избыточные источники пищи. «Органическое земледелие» играет малую роль в обеспечении населения продуктами питания, тем не менее, люди имеют право выбирать, что им есть, поскольку продукты питания имеются в изобилии.

Во-вторых, наилучшие сельскохозяйственные земли давно обрабатываются интенсивно, т. е. с помощью применения пестицидов, и это означает, что меньшему давлению подвергаются парки и места отдыха, а в глобальном масштабе – дождевые леса. Если снизить их применение это давление возрастет.

В-третьих, пестициды используют для контроля более 10000 видов насекомых-вредителей, 8000 грибов и более 2000 видов сорняков, которые создают угрозу нашим источникам питания.

Можем ли мы прожить без этих пестицидов? Весьма часто слышны высказывания, что наши деды прекрасно жили и без них. К сожалению, правда состоит в том, что жили они совсем не прекрасно. В «добрые старые времена» средняя продолжительность жизни еле достигала 50 лет, фрукты и овощи были доступны только в соответствующие сезоны и только если их возможно было сохранить от нашествия полчищ личинок, жуков, червей, кузнечиков, тлей, клопов и муравьев, которые населяли поля. Кроме того, то же количество земли, которое кормило 2,2 млрд. человек в 1900 г., в наши дни должно кормить 6,5 млрд. Современная наука создала некоторые потенциальные альтернативы «жестким» пестицидам, например, использование биологических методов контроля насекомых (в частности, методами генной инженерии или путем распространения полезных хищных насекомых) – это и есть так называемое органическое земледелие. Однако романтический идеал «органического земледелия», по крайней мере в масштабе достаточно большом, чтобы накормить все население, представляется совершенно нереальным. Органическое производство осуществляется только на малых фермах, которые могут выдерживать финансовые потери, поставляя продукты тому сегменту населения, который способен дорого платить за пищу, воспринимаемую этим населением как свободную от рисков, т. е. от загрязнений. Следует подчеркнуть – лишь воспринимаемую свободной от рисков.

Вещества, выделяемые грибами в отсутствие фунгицидов, могут оказаться намного более опасными, чем синтетические соединения. К примеру, соединение *patulin*, продукт жизнедеятельности грибов (их метаболит), обнаруживается в «органическом» яблочном соке, при этом является канцерогенным для животных. Кроме проблем обеспечения населения здоровой пищей и контроля комаров, мух и других распространителей болезней животных и человека, пестициды помогают и в других областях сельского хозяйства:

- 1) гербициды делают консервативную вспашку значительно более эффективной;
- 2) они же помогают контролировать эрозию почвы;
- 3) фунгициды снижают порчу готовых пищевых продуктов на всех стадиях от производства до потребления.

Сам по себе химический метод защиты растений при условии правильного его применения, может быть вполне экологически безопасным. Риски от остатков пестицидом малы. Однако неправильное применение их может иметь (и зачастую уже имеет) серьезные экологические последствия. Отсутствие качественной опрыскивающей и рассеивающей аппаратуры, рассчитанной на внесение расчетных доз пестицидов, не всегда дает возможности достичь безопасного для окружающей среды уровня их внесения. Материально-техническая база сельскохозяйственных предприятий с каждым годом все больше приходит в упадок: складские помещения ветшают, очистные сооружения на растворных узлах или не строятся вообще, или содержатся ненадлежащим образом, спецпаратура не обновляется и, следовательно, не отвечает современным требованиям. Одной из острейших проблем сельскохозяйственного производства остается бесконтрольное и безграмотное применение пестицидов в фермерских (крестьянских) хозяйствах. Обрабатываемые фермерами земельные участки зачастую находятся вблизи речных водоохранных зон, чем создается опасность загрязнения водных объектов пестицидами из-за бесконтрольного их приобретения и применения. Зачастую на сопряженных земельных участках разных фермеров обеззараживание полей ведется без учета ассортимента выращиваемой на них продукции и без учета характера взаимодействий применяемых рядом препаратов. В результате такого невежества на соседних участках ими используются взаимоисключающие пестициды, что закономерно приводит к потере урожая и угнетению биоты почв. Таким образом, основными причинами загрязнения окружающей среды пестицидами являются:

- 1) отсутствие совершенной техники для внесения расчетной экологически безопасной дозы;
- 2) бесхозяйственность и халатность при их хранении и использовании;
- 3) низкий уровень экологической культуры землепользователей;
- 4) отсутствие надлежащего ведомственного контроля купли-продажи и порядка применения пестицидов.

Отношение широких кругов общественности к окружающей среде впервые резко изменилось под влиянием впечатления, которое произвела книга Р. Карсон под характерным названием *«Безмолвная весна»*, опубликованная в 1960 г. в США и переизданная в ряде других стран. В ней было убедительно показано, какие неисчислимы бедствия приносят в живую природу пестициды.

В своей, весьма содержательной статье, академик С.С. Шварц [21] пишет: «Главная задача работ, имеющих отношение к проблеме экологии, заключается в том, чтобы продемонстрировать влияние урбанизации и индустриализации отдельных территорий и акваторий Земли на состояние природной среды. Большое значение подобных исследований очевидно: человек должен знать не только непосредственные, но и отдаленные, косвенные последствия своей деятельности. Однако большинство работ этого направления страдает одним общим недостатком: в них практически отсутствует конструктивная программа действий. То, что промышленность оказывает на со-

стояние природной среды серьезное влияние, несомненно. Несомненно и то, что любые меры предосторожности (совершенно необходимые) и любая степень совершенствования производства (замкнутые циклы и т. п.) лишь ослабят степень воздействия человека на природу, но не ликвидируют опасность ухудшения природной среды (хотя бы по одному тому, что самое культурное производство изымает из биологического круговорота громадные территории и акватории). Мне кажется, что это положение должно быть очевидным для любого человека, не склонного к самообольщению. Но из этого отнюдь не следует, что человечество должно идти по линии свертывания производства.

Тезис «назад к природе» всегда был, по существу, реакционен, а в настоящее время он и антинаучен. Борьба за прогрессирующее повышение уровня жизни людей требует неуклонного развития промышленности (и сопровождающей ее урбанизации). И дело здесь не только в том, что «индустриализация» (в широком смысле слова) повышает производительность труда и приводит к благоприятным социальным последствиям. Не менее важно, что при современной численности населения неиндустриальные методы производства оказывают на развитие природной среды не менее пагубные последствия, чем применение самых «грозных» (с точки зрения традиционного понимания охраны природы) индустриальных комплексов. Эта сторона дела совершенно обходится «алармистами» (от англ. *go alarm* – бить тревогу), что создает совершенно ложные (нередко опасные) представления о путях развития общества.

В качестве иллюстрации этой важной закономерности приведем наблюдения одного из крупнейших натуралистов – В. Ульриха. В своей книге *«Казуранга – животный рай на Брампутре»* он приводит данные, показывающие, к каким последствиям ведет примитивное хозяйство индийского крестьянства. Увеличение плотности населения привело к вытеснению лесов, к замене их степными и полевыми сообществами. В качестве топлива используется сухой помет коров (широко известные в Средней Азии «кизяки»). Ежегодно сжигается 300 млн. т «кизяков» (энергетический эквивалент 68 млн. т. дров или 35 млн. т угля). Естественный круговорот вещества в природе оказался нарушенным: травоядные животные потребляют растения, но почве не возвращаются изъятые из нее вещества, они сжигаются. В этих условиях превращение громадных территорий «рая» в пустыню – это лишь вопрос времени. «Чертов круг», по выражению В. Ульриха, замкнулся. Где же выход? Только в одном: в развитии промышленности, которая заменит «кизяки» углем и нефтью и даст минеральные удобрения, которые возвратят обедненной почве ее плодородие.

Проблемы «охраны среды» не столь просты, как это кажется «алармистам». Знаменитый препарат ДДТ (ныне запрещенный) вызвал гнев (гнев справедливый) со стороны всех людей, любящих природу, всех, кто понимает грозную опасность нарушения природного баланса. Но в той же Индии на хижинах крестьян в долине Брампутры белыми буквами указана дата последнего применения ДДТ: препарат спас миллионы людей от малярии. Проблема оказалась неизмеримо сложнее, чем казалось в начале века. Стало ясным, что эмоции не могут заменить знания, что нужна наука, которая позволила бы согласовать интересы развития современного общества и его индустриальной основы с поддержанием оптимальной природной среды».

Применение пестицидов, как было уже отмечено всегда связано с определенными экологическими рисками. Поэтому любой практической операции

в интегрированной защите растений должны предшествовать оценка численности вредных объектов и принятие решения о проведении или отмене защитных мер, которые должны проводиться по критерию экономического порога вредоносности. Основные критерии имеют выраженный зональный характер. Данные, полученные в одном регионе, неприемлемы в соседнем. Количественные зависимости являются основой для разработки моделей и основных критериев в защите растений. Прогностическая сила и значимость моделей зависят от достоверности эмпирической базы для их построения. Эмпирический и опытный материал должен охватывать все встречающиеся в практике значения плотностей вредных организмов: низкие, средние и очень высокие. Применение принципов защиты растений и последовательное принятие адекватных решений о проведении защитных мероприятий на основании зональных порогов вредоносности и снижение норм расхода при использовании эколого-адекватного метода позволяют уже в настоящее время многократно сократить объемы применения пестицидов и, соответственно, решать многие экономические и экологические задачи [3].

Решение проблемы «человек и природа» во всей ее сложности требует; расширения исследований во многих направлениях. Важнейшими из них академик С.С. Шварц [21] считает следующие:

1. Изучение экологии урбанизированных биогеоценозов. Исследование биогеоценозов, развивающихся под влиянием различных форм антропогенного воздействия на фоне различных физико-географических условий, позволит установить предельно допустимую норму антропогенного воздействия разного характера в пределах разных *биомов* (биом – вся совокупность животных и растений данного района).

2. Изучение обратного влияния изменения природной среды на человека и общество. Это приведет к составлению эколого-экономических характеристик крупных регионов Земли.

3. Конструирование идеальной схемы гармоничного развития биогеоценологического покрова единого экономико-географического района.

4. Конструирование идеальной схемы гармоничного развития природы и экономики единых географических систем.

5. Разработка генеральной схемы оптимального развития экономики региона, сопровождающегося оптимизацией биогеоценологического покрова.

Н.Ф. Реймерсом [16,17] предложена следующая систематизация экологических проблем, имеющих как локальный, так и всепланетарный, глобальный масштаб:

1) изменение климата Земли на основе усиления тепличного эффекта, выбросов метана и других низкоконцентрированных газов, изменение концентрации озона в тропосфере и стратосфере;

2) замусоривание и иное загрязнение ближайшего космического пространства;

3) общее ослабление озонового экрана Земли, образование большой «озоновой дыры» над Антарктидой, малых «дыр» над другими регионами планеты;

4) загрязнение атмосферы с образованием кислотных осадков (кислотные дожди), сильно ядовитых и пагубно действующих веществ в результате вторичных химических реакций, в т. ч. фотохимических (в этом одна из основных причин разрушения озонового слоя, на который воздействуют фреоны, водяные пары, вещества типа NO_x , малые газовые примеси);

5) загрязнение океана, захоронение в нем ядовитых и радиоактивных веществ, насыщение его вод углекислым газом из атмосферы, поступление в него нефтепродуктов, тяжелых элементов и сложноорганических соединений, что способствует разрыву нормальных экологических связей между океаном и водами суши;

6) истощение и загрязнение поверхностных вод суши, континентальных водоемов и водостоков, подземных вод;

7) радиоактивное загрязнение локальных участков и некоторых регионов Земли (текущая эксплуатация атомных устройств, чернобыльская авария, испытания атомного оружия);

8) возникновение вторичных химических реакций во всех средах биосферы с образованием токсических веществ;

9) нарушение глобального и регионального экологического равновесия, соотношения экологических компонентов, в т. ч. сдвиг экологического баланса между океаном, его прибрежными водами и впадающими в него реками;

10) опустынивание планеты в новых регионах, расширение существующих пустынь;

11) сокращение площади лесов, «легких» планеты, что ведет к дисбалансу кислорода и усилению процесса исчезновения видов животных и растений;

12) освобождение и образование экологических ниш и заполнение их нежелательными организмами: вредителями, паразитами, возбудителями новых заболеваний растений и животных, в т. ч. человека;

13) абсолютное перенаселение Земли и относительное демографическое переуплотнение в отдельных ее регионах;

14) истощение природных ресурсов планеты;

15) ухудшение среды жизни в городах и сельской местности, увеличение шумового воздействия, загрязнение воздуха, потеря социальных связей между людьми.

Ухудшение природной среды и нарушение экологического равновесия во все не неизбежное следствие развития цивилизации, – писал академик В.Г. Минеев [11], – они порождены ошибками в технической политике. Управление природой – это сложный комплекс разнообразной деятельности человеческого общества, направленной на достижение органической взаимосвязи между человеком и природой путем разумного регулирования взаимоотношений между ними. Поэтому научно–технический прогресс не только открывает новые пути удовлетворения человеческих потребностей, но и создает большие возможности для сохранения и восстановления природной среды и улучшения биосферы в целом.

Ведение сельского хозяйства с учетом охраны природной среды от загрязнения поллютантами требует решения целого ряда научных и практических задач [19]:

– установление ПДК поллютантов в почвах различных природно–климатических зон страны;

– систематический контроль за поступлением поллютантов в почву и содержанием их в сельскохозяйственной продукции;

– длительный прогноз изменения содержания и поведения поллютантов в почвах и экосистемах.

Для решения этой проблемы необходимо знать:

– изменение во времени содержания поллютантов в корнеобитаемом слое почвы и различные пути их поступления в агроценозы;

- распределение поллютантов в почве, особенно в пределах корнеоби-таемого слоя;
- состояние и формы присутствия поллютантов в почве, изменение со-отношения между формами во времени;
- поступление поллютантов в растения;
- масштабы, пути и формы переноса поллютантов из почвы и данной экосистемы в другие природные среды: в воды грунтового и поверхностного стоков, в донные отложения водоемов, в атмосферу.

В своей книге «*Пределы роста*» группа ученых Массачусетского техноло-гического института, описывая перспективы развития человеческой цивилизации, рекомендовали следующие шаги в направлении устойчивого развития общества:

- 1) более тщательно исследовать и контролировать уровень материаль-ного благосостояния человечества и состояние локальных и планетарных ис-точников и стоков;
- 2) активно искать сигналы, свидетельствующие о чрезмерной нагрузке на окружающую среду;
- 3) свести к минимуму использование невозобновимых природных ре-сурсов;
- 4) предотвращать разрушение возобновимых ресурсов;
- 5) все ресурсы использовать с максимальной эффективностью;
- 6) замедлять, и в конечном итоге прекращать экспоненциальный рост численности населения и физического капитала.

Готовность мирового сообщества к переходу устойчивого развития за счет вышеперечисленных ограничений весьма сомнительна. По всей вероятности, тех-нологической революции, способной осуществить рекомендации ученых, должна предшествовать революция в сознании людей о необходимости изменить отноше-ние к природе и начать ощущать себя – не царем природы, а ее частью.

4.2 Биосфера и экологические функции агрохимии

Агрохимия (агрономическая [земледельческая] химия) – наука о мине-ральном питании растений, химических и биохимических процессах в почве и растениях, применении удобрений и других агрохимических средств вос-производства и улучшения плодородия почв, повышения количества и каче-ства урожая. Термин «агрохимия» состоит из двух слов – греческого *agros* [поле] и средневекового латинского (*al*)*chimia* [наука о веществах, их составе, строении, свойствах и взаимных превращениях].

Название науки «агрономическая, или земледельческая химия» ввел в обиход шведский ученый, почетный академик Петербургской академии наук Юхан Готтшлак Валериус, защитивший в 1761 г. диссертацию на тему «*Agri-culturalae fundamenta chemical*» (*Основы земледельческой химии*).

Объекты агрохимии – растение, почва, удобрение и другие агрохими-ческие средства. К *агрохимическим средствам* относятся минеральные и ор-ганические удобрения, химические мелиоранты, цеолиты, бактериальные препараты, регуляторы роста растений, дефолианты, десиканты, сениканты, ингибиторы нитрификации и другие вещества, используемые для питания или целенаправленного регулирования обмена веществ у растений, а также воспроизводства плодородия почвы.

Содержание предмета агрономической химии Д.Н. Прянишников изобразил в концептуальной модели, представляющей собой равносторонний треугольник, по вершинам которого расположены основные объекты агрохимии: растение, почва, удобрение, которые соединены стрелками (рис. 16). Стрелки означают взаимодействие растения с почвой и удобрением; почвы – с растением и удобрением; удобрения – с почвой и растением. На этой схеме выражена диалектическая сущность процессов, изучаемых в агрохимии.

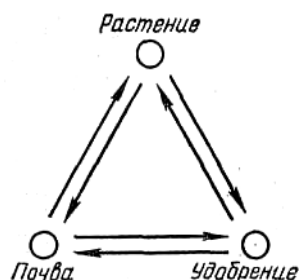


Рисунок 16 – Схема взаимодействия объектов агрохимии

Таким образом, эта наука исследует процессы взаимного влияния трех систем, результатом которых является урожай растений.

Классический треугольник Д.Н. Прянишникова в последующем З.И. Журбицкий (1965) предложил дополнить четвертым компонентом – климатом, или экологическими условиями, т. к. климатические факторы (свет, температура, продолжительность вегетационного периода) существенно корректируют нормы удобрений. Диалектическую взаимосвязь компонентов системы *климат–почва–удобрение–растение* академик В.Г. Минеев представил в виде треугольной пирамиды (рис. 17).

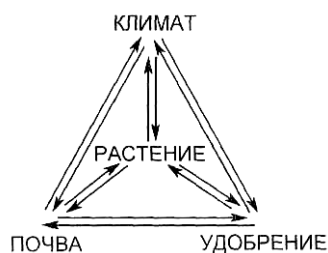


Рисунок 17 - Диалектическая взаимосвязь в системе *почва–климат–удобрение–растение*

Недооценка климатических особенностей конкретного сельскохозяйственного района может привести к серьезным погрешностям в определении значения минеральных удобрений в создании урожая и объективной оценке их эффективности. Это же относится к *закону сохранения массы*: общая масса веществ, вступающих в химическую реакцию, равна общей массе продуктов реакции. «В хозяйстве, как и в химии, – писал Д.И. Менделеев (1881), – не должно упускать из виду основного химического закона – *сохраняемости вещества*. Вещество только претерпевает различные физические и химические изменения, перемещает место и форму, но не творится и не пропадает.

При росте, например, растения оно не само из себя увеличивается в массе, оно растет только потому, что поглощает газы из воздуха, а своими корнями из земли всасывает воду вместе с веществами, в ней растворенными. Питательные вещества, доставляемые растению из воздуха, всегда одни и те же и никогда не могут иссякнуть. Совершенно иное с содержанием их в почве. Если ничего не делается для пополнения этих последних, то почва, лишаясь их с каждым урожаем, должна оскудеть».

Цель агрономической химии – создание наилучших условий питания растений с учетом знания свойств удобрений, особенностей их взаимодействия с почвой, установление наиболее эффективных форм, способов и сроков применения удобрений.

Удобрения – это источник биогенных элементов, т. е. пищи для растений, которые берут эти элементы или из почвы, если они находятся в доступном состоянии, или из вносимых удобрений. И те, и другие формы элементов питания растения в одинаковой степени используют для создания урожая. Наличие в почве доступных для растений форм элементов питания в оптимальном соотношении является одним из основных условий формирования высоких урожаев агроценозами.

Применение минеральных удобрений на научной основе – одно из важнейших направлений интенсивного развития земледелия. Их народнохозяйственное значение исключительно велико. Они являются материальной основой сохранения плодородия почв, богатства и могущества государств. Удобрение не просто обогащает почву тем или иным элементом питания. Цель удобрения более скромная – сократить разрыв между потребностью растения в дефицитных элементах питания и возможностями удовлетворения благодаря мобилизации из почвенных запасов. Удобрения призваны улучшать круговорот элементов питания в земледелии, что должно способствовать не только сохранению, но и улучшению окружающей среды. Все это несомненно положительно скажется на количестве и качестве получаемой продукции. Нарушение баланса элементов питания в земледелии ведет к ухудшению химического состава почвы, природных вод, а следовательно, и растений. Это, в свою очередь, отрицательно влияет на качество и питательную ценность сельскохозяйственной продукции и может привести к функциональным заболеваниям человека и животных. Известны, например, болезни, связанные с недостатком йода (эндемический зоб), фтора (кариес зубов), а также с избытком фтора (флюороз), стронция (уровская болезнь), молибдена (подагра) [14]. Атеросклерозу, как правило, сопутствует повышенное содержание в крови марганца и пониженное – никеля и меди; при ишемической болезни сердца находят пониженное содержание в крови цинка, в сыворотке крови при гипертоническом кризе – избыток меди и недостаток кобальта и цинка, сахарный диабет сопровождается падением концентрации в крови марганца [7].

Применение удобрений, по образному выражению Д.Н. Прянишникова, равнозначно открытию новых сельскохозяйственных континентов. Каждая их тонна при грамотном использовании, повышая урожайность сельскохозяйственных культур, дает прибавку продукции, позволяющую удовлетворять годовую потребность, например, в хлебе – 40 чел., молоке – 10, сахаре – 45, овощах – 70, растительном масле – 80 чел. Применение удобрений по правильной технологии позволило добиться важнейших результатов: остановлен процесс снижения пло-

дородия почвы, увеличен валовой сбор урожая сельскохозяйственных культур при одновременном уменьшении загрязнения озер и рек, снижена стоимость производства продуктов питания, большие площади земли можно отводить под другие угодья – дикую фауну и леса. Именно благодаря применению удобрений в сочетании с другими агротехническими мероприятиями стало возможным получение больших урожаев на меньшей площади. Минеральные удобрения есть, и будут оставаться в обозримом будущем одним из главных рычагов повышения продуктивности растениеводства и улучшения экологического состояния окружающей среды. В настоящее время нет разумной альтернативы их применению. Рациональное применение удобрений во всех почвенно-климатических зонах снижает опасность деградации почв, высоко окупается приростом урожая. Во всех странах мира с высокоразвитым сельским хозяйством не менее половины прироста растениеводческой продукции получают за счет внесения минеральных удобрений, 25 % за счет сортности семян и 25 % за счет технологии возделывания. Опыт хозяйств с высокой культурой земледелия, показывает, что каждый центнер минеральных удобрений при правильном применении обеспечивает прибавку до 3,5 ц зерна, 4 ц хлопка, 27 ц картофеля. Расчеты показывают, что 1 руб., затраченный на минеральные удобрения, обеспечивает получение продукции растениеводства в среднем на 2,2 руб. Отдача от удобрений зависит от естественного плодородия почвы. Так, в Нечерноземной зоне с высокой обеспеченностью влагой и низким естественным плодородием почвы за счет удобрений получают 70–80 % прироста урожая, а в сухой степи до 50 %. Получение максимального экономически выгодного урожая базируется на использовании высокопродуктивных сортов, обеспечении необходимых физических и химических свойств почв, комплексном применении регуляторов роста и средств химизации во время вегетации растений, а также своевременном и качественном выполнении всех агротехнических приемов. Д.И. Менделеев писал: «Я восстаю против тех, кто печатно и устно проповедует, что все дело в удобрениях, что, хорошо удабривая, можно и кое-как пахать».

Д.Н. Прянишников в системе *почва – растение* допускал дефицит по азоту и калию (соответственно 14 и 20–22 кг/га в среднем по стране). Он считал, что ассимиляция азота свободноживущими бактериями и поступление этого элемента в почву с атмосферными осадками перекрывают дефицит его, что позволяет поднять урожайность зерновых до сравнительно высокого уровня 20–25 ц/га. Дефицит же калия может безболезненно компенсироваться постоянной мобилизацией необменных форм этого элемента почвы и переходом их в доступное для растений состояние. Это положение было оправдано в условиях экстенсивного земледелия. Однако нужно помнить, что такой подход к балансу и круговороту элементов питания в земледелии Д.Н. Прянишников допускал, оперируя данными 20–30 гг. XX столетия, когда в европейских странах урожай зерновых в 20–25 ц/га считался достаточно высоким. Сейчас урожайность возросла по крайней мере в 3 раза. Интенсификация земледелия существенно изменила и характер баланса элементов питания. В большей части индустриально развитых стран он стал более активным по сравнению с балансом этих элементов в мире.

«*Задачей агрохимии*, – писал Д.Н. Прянишников, – является изучение круговорота веществ в земледелии и выявление тех мер воздействия на химические процессы, протекающие, в почве и растениях, которые могут повы-

шать урожай или изменять его состав. Главным способом вмешательства в этот круговорот является применение удобрений».

Задача современного агрохимика состоит в определении точных параметров круговорота всех необходимых и незаменимых элементов питания растений с учетом почвенно-климатических условий зон выращивания и биологических особенностей районированных сортов при заданных уровнях продуктивности и качества продукции. Круговорот биогенных элементов в земледелии должен осуществляться по возрастающей спирали, обеспечивать их положительный баланс, расширенное воспроизводство плодородия почвы, что является исходными условиями получения стабильно высокого урожая с определенным элементным составом. На практике это реализуется научно обоснованным применением агрохимических средств в системе удобрения культур севооборотов.

Внесение минеральных туков позволяет вводить в круговорот веществ в земледелии новые количества элементов питания растений, а применение органических удобрений – повторно использовать часть питательных веществ, входивших в состав предыдущих урожаев. Это дает возможность восполнять хозяйственный вынос элементов питания сельскохозяйственными культурами и их потери из почвы вследствие выщелачивания, улетучивания в атмосферу, ветровой и водной эрозии и таким образом не только поддерживать, но и повышать плодородие почвы, продуктивность агроценоза, одновременно исключая ухудшение экологической ситуации в агроэкосистемах [22].

Важным объектом исследований в агрохимии является обмен веществ в растениях в связи с их питанием, применением удобрений и продуктивностью. Вскрывая закономерности, лежащие в основе этих процессов, агрономическая химия намечает пути вмешательства в их течение с целью повышения урожая и улучшения его качества. Будучи прежде всего средством химического воздействия на почву, удобрения при правильном их применении повышают содержание в ней гумуса и подвижных форм соединений элементов питания, изменяют поглотительную способность и буферность почвы, улучшают ее физические и водно-физические свойства. При этом повышается активность биологических процессов в почве, вследствие чего существенно улучшаются условия питания растений, а следовательно, их рост и развитие. Задача агрохимии состоит в том, чтобы показать пути управления этими процессами и дать научно обоснованные рекомендации практике по созданию оптимальных условий питания культурных растений с учетом особенностей климата, свойств и плодородия почвы, биологических особенностей вида и сорта культуры, свойств удобрений их влияния на растение и почву, а также на окружающую среду. Знание закономерностей взаимодействия этих факторов позволит специалисту предвидеть их проявление в конкретных условиях применения удобрений [11].

«Земледелие, – писал К.А. Тимирязев, – стало тем, что оно есть, только благодаря агрохимии и физиологии растений». Развитие этих двух отраслей знания совершенно изменило характер земледелия, превратило его из бессвязного собирания рецептов и слепого подражания успешным примерам в более или менее сознательную разумную деятельность. Чем питается растение и как это узнать? Вот коренной вопрос, на котором зиждется рациональное земледелие.

В системе современного земледелия оптимизация минерального питания растений является краеугольным камнем, без нее невозможно решить

задачу обеспечения населения продуктами питания и гарантирования продовольственной безопасности страны.

На современном этапе развития агрохимии академик В.Г. Минеев считал важной задачей агрохимии изучение свойств и химического состава органических и минеральных удобрений и их влияния на:

- круговорот и баланс биогенных элементов в земледелии;
- агрохимические, физические и физико–химические свойства почв и воспроизводство их плодородия;
- минеральное питание и обмен веществ в процессе вегетации растений;
- биологическую активность почвы и ее биоразнообразие;
- формирование количества и качества продукции;
- агроэкологические функции агрохимии в системе почва–растение;
- экономико–энергетические показатели эффективности использования агрохимических средств.

Академик Б.А. Ягодин [25] к приоритетным направлениям исследований в области агрохимии относит:

- разработку теоретических основ минерального питания растений, изучение взаимодействия элементов питания при их поступлении в растения, дальнейшее углубленное изучение роли элементов питания в физиолого–биохимических процессах с целью установления оптимального сочетания тех или иных элементов при решении различных задач по получению урожая определенного качества;
- исследование механизма действия элементов питания при сбалансированном их применении на ход физиологических процессов и на устойчивость растений к неблагоприятным условиям окружающей среды;
- анализ экспериментальных данных для выработки принципов определения потребностей в удобрениях по почвенно–климатическим зонам геохимических провинций;
- оценку потенциальных возможностей культурных растений использовать для формирования урожая элементы питания из удобрений и почвы по зонам страны;
- изучение действия макро– и микроудобрений на урожай сельскохозяйственных культур и его качество в Географической сети полевых опытов, проводимых по единой методике и программе;
- исследование баланса макро– и микроэлементов в длительных полевых опытах в севооборотах;
- включение в исследования всех химических элементов, ранее не изучавшихся с агрономической точки зрения, а также определение возможного негативного их действия в связи с техногенным загрязнением и охраной окружающей среды;
- контроль за правильностью принимаемых агрохимических решений в конкретных почвенно–климатических условиях методами растительной и почвенной диагностики;
- усиление обеспечения агрохимическими средствами основных традиционных земледельческих районов страны, где без крупных капитальных вложений можно получить высокую отдачу от их применения;
- обработку посевного материала теми микроэлементами, потребность в которых установлена в результате предварительного анализа семян перед посевом;

– охрану окружающей среды в связи с применением удобрений на основе оптимизации питания растений и получения продукции высокого качества;

В связи с расширением экологических функций агрохимии на современном этапе развития агропромышленного комплекса считаем важными направлениями научно–исследовательской работы следующие:

– разработка экологически безопасных агрохимических способов сохранения и воспроизводства плодородия почв и совершенствование систем удобрения с целью реализации потенциальной продуктивности агроценоза;

– физиолого–экологическое обоснование комплексного использования минеральных удобрений и биостимуляторов при реализации потенциальной продуктивности растений;

– теоретическое обоснование и агроэкологическая оценка местных агроруд, цеолитов и других почвоулучшителей;

– изучение взаимодействия почвенно–агрохимических и агроэкологических факторов, определяющих эффективность длительного внесения минеральных удобрений в севообороте;

– разработка методологии экологических функций агрохимии в агроэкосистеме;

– изучение длительного применения минеральных удобрений на транслокацию тяжелых элементов в субъектах агроценоза;

– установление физиолого–агрохимических и экологических основ питания лекарственных растений, сельскохозяйственных и цветочных культур микроэлементами и разработка технологии применения микроудобрений;

– изучение эколого–агрохимических функций макро–, микро– и ультрамикроудобрений при их длительном применении в агроценозе.

Агрохимия – наука [22]:

1. *Фундаментальная* – рассматривает теорию питания растений, химический состав растений в связи с их питанием и применением удобрений; физико–химические и химические свойства почвы и ее биологическую активность с точки зрения питания растений и взаимодействия ее с удобрениями; учение о свойствах удобрений.

2. *Прикладная* – решает практические вопросы применения агрохимических средств. Это вопросы: о наиболее эффективных формах, дозах, сроках, способах внесения под культуры севооборота, о правильном сочетании систем удобрений, обработки почвы; химической мелиорации кислых и засоленных почв; диагностики питания растений и определения потребности в удобрениях; физиолого–экологических приемов оптимизации минерального питания растений.

3. *Экологическая* – обеспечивает оптимальный круговорот и баланс биогенных элементов в агроценозах, тем самым исключает ухудшение экологической ситуации в агроэкосистемах (уменьшается риск снижения почвенного плодородия за счет дегумификации, ухудшения структуры почв, нарушения функционирования микробоценоза, уменьшения содержания в почве доступных форм элементов питания для растений, и как следствие падение урожаев сельскохозяйственных культур).

4. *Экспериментальная* – основным средством познания взаимодействия растения с почвой и удобрением, почвы с растением и удобрением; удобрения – с почвой и растением является эксперимент (опыт).

Касаясь фундаментальных и прикладных положений агрохимии, академик В.Г. Минеев [2] писал: «Нет наук чисто фундаментальных и прикладных. Такое деление весьма условно. Крупные достижения в области фундаментальных отраслей знаний, в конечном счете, завершаются совершенствованием высоких наукоемких технологий и оказывают влияние на ускорение развития сопутствующих прикладных наук».

Агрохимия основывается на знаниях естественнонаучных дисциплин – ботаники, химии, физики, математики, экологии, и тесно связана с общепрофессиональными знаниями – физиологией и биохимией растений, почвоведением, геологией и геоморфологией, микробиологией, агрометеорологией и мелиорацией.

Изучение питания растений связывает агрохимию с физиологией и биохимией растений. Но задача агрохимии более широкая: не только исследование, но и регулирование, управление этим процессом в агроценозе для повышения количества и качества урожая сельскохозяйственных культур. Регулирование питания растений поддерживает единство организма и среды. Наиболее частым нарушением единства растения и среды бывает недостаток влаги и одного или нескольких элементов питания в почве в состоянии, доступном для корневой системы. В зависимости от степени дефицита этих факторов жизни возделываемые культуры либо бывают угнетены, либо вовсе погибают.

Изучая биологические, химические и физико-химические свойства почвы, агрохимия познает условия ее плодородия (формы и динамику соединений элементов питания в связи с их растворимостью и усвояемостью для растений, поглонительную способность почв и ее влияние на подвижность ионов, потребляемых культурами, кислотность почвы и ее буферность) и трансформацию внесенных удобрений. Этот раздел агрономической химии тесно связан с почвоведением.

Многие разделы агрохимии связаны с биологией почвы и с микробиологией: трансформация различных форм соединений элементов питания в почве; биологическая фиксация атмосферного азота, гумификация и минерализация гумуса; мобилизация и иммобилизация элементов питания в почве.

Возрастающие экологические негативные явления в агроэкосистемах связывают агрохимию с экологией. Поддержание биологического круговорота веществ, сохранение биоразнообразия и улучшение микробиоценоза почвы, иммобилизация токсических веществ, сохранение биологической активности почвы, активизация азотфиксирующей ее способности, предотвращение эвтрофирования природных вод являются экологическими функциями агрохимии и тесно связаны с соответствующими разделами экологии.

В агрохимии используются данные, накопленные такими науками как генетика и селекция сельскохозяйственных растений, земледелие и растениеводство, овощеводство, плодоводство, виноградарство, цветоводство, животноводство, экономика. Способы внесения удобрений и их эффективность тесно связаны с приемами обработки почвы и борьбы с сорной растительностью, севооборотами, научные основы которых изучаются в земледелии. Они связаны также с агротехнологиями и биологическими особенностями возделываемых сортов, что изучается в растениеводстве. Химизация земледелия включает наряду с применением минеральных удобрений использование пестицидов для защиты растений. Поэтому агрохимия связана с защитой растений, изучающей приемы борьбы с болезнями, вредителями и сорняками. Для

решения организационных вопросов по применению системы удобрения и оценки экономической их эффективности необходимы знания по экономике и организации сельскохозяйственных предприятий. Наконец, для правильного применения удобрений необходимы знания мелиорации и агрометеорологии.

Агрохимия занимает особое место в системе рационального природопользования. Систематическое применение агрохимических средств приводит к изменению химического состава почвы, растений, грунтовых вод, а следовательно, влияет на круговорот веществ в данном ландшафте. Вновь созданный аграрный тип ландшафта является качественно отличным от естественных ландшафтов. Зная оптимальные параметры химического состава звеньев агроландшафта, его можно существенно улучшить научно обоснованным применением агрохимических средств. При комплексном агрохимическом воздействии на звенья агроландшафта он приобретает агрохимическое содержание. В этих экологических функциях агрохимии отмечается тесная взаимосвязь с геохимией [2].

В связи с этим академик Б.А. Ягодин [25] предлагает выделить еще одно направление науки – «агрогеохимию», объясняя это необходимостью при разработке систем удобрений и оптимизации минерального питания растений учитывать элементный состав не только почв, но и подстилающих пород. Он считает необходимым проведение исследований по выявлению причинно-следственных взаимосвязей элементного состава культурных растений и окружающей среды в условиях различных биогеохимических провинций. На основании этого целью агрогеохимии является оптимизация круговорота всех биогенных элементов в системе «человек–окружающая среда» в различных биогеохимических провинциях и агроэкологических районах, которая достигается решением следующих задач:

- установление оптимумов элементного состава культурных растений;
- сопоставление ресурсов и территориального фактического размещения культурных растений с картой биогеохимического районирования;
- выявление искусственных потоков элементов за счет перемещения посевного материала и пищевых продуктов по территории страны, оценка их размеров и сопоставление с мощностью естественных биогеохимических миграций элементов;
- оценка вкладов промышленности и другой хозяйственной и бытовой деятельности человека в изменение элементного состава сельскохозяйственных объектов в регионах, субрегионах и провинциях;
- регулирование с использованием естественной экологической обстановки и целенаправленной корректировки путем применения удобрений элементного состава сельскохозяйственной продукции до оптимальных значений.

Как ни велико значение минеральных удобрений, местные удобрительные ресурсы никогда не потеряют своего значения. Дешевизна и повсеместное распространение этих удобрений делают их весьма рентабельными. Ни в одной стране, даже с высокоразвитой химической промышленностью и большим количеством применяемых минеральных удобрений, использование навоза не сократилось. Наоборот, интенсификация земледелия позволила увеличить выход навоза и повысить нормы его использования. Агрохимик должен знать основы животноводства, чтобы хорошо ориентироваться в свойствах и особенностях использования на удобрение отходов этой отрасли сельского хозяйства.

Агрохимия является химической и биологической наукой. Агрохимик, внося удобрения, осуществляет синтез всех воздействий, применяемых в

земледелии с целью получения максимального количества продукции. Однако при этом всегда следует учитывать последствия этих воздействий. Например, неправильное применение азотных удобрений может привести к загрязнению нитратами грунтовых вод. При избыточном содержании нитратов в питьевой воде и в таких растениях, как листовые овощи, картофель, где они легче всего накапливаются, может быть нанесен вред живому организму.

Д.Н. Прянишников на вопрос – кто такой агрохимик? – отвечал: «Агрохимик – это лучший агроном среди химиков и лучший химик среди агрономов». В.М. Ключковский подчеркивал, что для агрохимика необходим высокий уровень фундаментальных знаний в химии, физике и математике.

Истоки агрохимической науки уходят в глубокую древность и связаны с зарождением и постепенным развитием земледелия – одной из основных отраслей деятельности человека. О плодородии, как основном свойстве почвы давать урожай, знали уже первые земледельцы. Именно этим объясняется постоянное освоение новых земельных участков и размещение на них посевов, как только урожай на предыдущих начинал снижаться. Последующие тысячелетия развития человечества были периодом накопления разрозненных фактов, наблюдений, гипотез, передававшихся из поколения в поколение. Задолго до возникновения агрохимии как науки земледельцы не только имели довольно стройные, хотя и часто ошибочные, представления о питании растений и плодородии почвы, но и использовали различные приемы сохранения почвенного плодородия.

Период первичного накопления разрозненных фактов о плодородии почв и способах их удобрения связан с совершенствованием земледелия в глубине веков неолита и бронзы (11–10 тыс. лет до н. э.). В это время человек уже сопоставлял почвы по их плодородию, отличая песок от суглинка, болото от сухого места, а к почве относился как среде обитания растений.

Ф.Н. Кинг в книге «40 веков земледелия в Китае, Корее, Японии» упоминает, что в этих странах органические удобрения, в т. ч. экскременты людей и животных, применяли еще 3000 лет назад. В древнем Египте основным источником органических удобрений был Нил. Во время разливов его воды, затопляя поля, увлажняли почву и удобряли ее речным илом, о плодородии которого слагались легенды. Так же широко использовался речной и болотный ил для удобрения полей Двуречья. Земледельцы Хорезма, расположенного в дельте Амударьи, улучшали тяжелые малоплодородные почвы дельты пескованием и применяли для их удобрения различные отходы: наносы оросительных каналов, культурные наслоения древних городищ, городские отбросы. По существу, здесь с глубокой древности создавались искусственные почвы с относительно высоким плодородием.

Древнегреческий мыслитель *Аристотель* (384–322 гг. до н. э.) был первым, кто изложил наиболее значительные сведения об основах агрохимии. Он отмечал четыре ступени природы: неорганический мир, растение, животное, человек. Считал, что растениям нужны четыре стихии: вода, воздух, земля, огонь. Аристотель сформулировал *теорию питания растений готовой пищей*. Сравнивая жизнь растения и животных, он заметил, что последние выделяют экскременты, а первые – нет. Отсюда сделал вывод, что растения корнями всасывают из земли уже готовую пищу и поэтому в их организме не образуются экскременты.

Впервые об использовании органических удобрений упоминается в трудах *Феофраста* из Эреса (ок. 372 – ок. 287 гг. до н. э.), известного грече-

ского ботаника и эколога. Он указывал на необходимость удобрения почвы навозом при возделывании пшеницы и овощных культур. Сведения о видах органических удобрений, их особенностях и применении в земледелии содержатся в трудах *Катона Старшего* (234–149 гг. до н. э.), государственного деятеля, писателя и крупного землевладельца, работах ученого-энциклопедиста *Варрона* (116–27 гг. до н. э.), в известнейшем произведении великого римского поэта *Вергилия* (70–19 гг. до н. э.) поэме «*Георгики*», своеобразном литературном обобщении достижений агрономии античного Рима.

Первая в истории классификация удобрений принадлежит агроному, ученому и землевладельцу *Колумелле* (I в. н. э.), который в трактате «*О сельском хозяйстве*» обобщил многовековой земледельческий опыт различных по природным условиям провинций Римской империи. Он подразделял удобрения на пять основных категорий, к которым относил навоз, минеральное удобрение, зеленое удобрение, компосты и удобрение «землей». Лучшим и наиболее универсальным удобрением Колумелла считал навоз и уделял много внимания его разновидностям, нормам и способам внесения и воздействию на различные почвы и культуры. Ценным удобрением он считал люпин, срезанные кустики которого «имеют силу наилучшего навоза». При недостатке навоза великий агроном древности рекомендовал использовать компосты из смеси листьев, перегнойной земли, нечистот, золы, дворового мусора, предвосхищая на 2000 лет решение проблемы использования коммунальных отходов.

Голландский естествоиспытатель *Ян Баптист ван Гельмонт* (1579–1644) провел первый вегетационный эксперимент и на основе полученных результатов предложил *теорию водного питания растений*. Суть его эксперимента заключалась в следующем: желая установить, за счет чего создается вещество растения, он взял 200 фунтов высушенной в печи почвы, поместил ее в глиняный сосуд и посадил в него ветвь ивы, весившую 5 фунтов. Почву в сосуде поливали дождевой водой; через пять лет дерево ивы было выкопано, оно весило более 169 фунтов (листья не убирались осенью, они оставались в сосуде). По окончании опыта ван Гельмонт снова высушил почву, и «получил те же самые 200 фунтов, как и в начале опыта, за исключением примерно 2 унций». На этом основании ван Гельмонт сделал вывод, что 169 фунтов древесины, коры и корней, т. е. вся растительная масса была создана за счет воды, вносившейся в сосуд при поливе. Ошибка ученого заключалась в том, что он не учитывал усвоение растением углерода из углекислоты воздуха, о чем в то время еще ничего не было известно.

Шведский агрохимик *Юхан Готтишалк Валлериус* (1709–1785) в 1764 г. в Берлине на основе своей докторской диссертации издал первое научное руководство по агрономической химии: «*Химические основы земледелия*» (*Chemische Grundsätze des Feldbaues*). Работа Валлериуса была первой в истории науки попыткой решить проблему питания растений с помощью химического анализа, путем сопоставления химического состава почв и растений. Оценив вклад всех исследованных им веществ, ученый пришел к выводу, что основой питания растений служит почвенный перегной или гумус. Он же дал такое определение гумуса: «гумус есть земля ... рыхлая, окрашенная в большинстве случаев в черный цвет; по мере впитывания воды сильно разбухает (расширяется) и делается губкообразным, при высыхании становится пылеобразным ... имеет очень большое значение в жизни растений как средство, способствующее

щее поглощению и задержанию «гучности» в окружающей среде». Им также впервые высказана мысль о том, что чем выше в почве содержание гумуса, тем продуктивнее посевы. В своем руководстве он обобщил все имевшиеся к тому времени сведения по технологии применения местных удобрений. Ю.Г. Валле-риусом была сформирована теория гумусного питания растений, которая впоследствии получила поддержку со стороны Н.Т. Соссюра и А.Д. Тэера.

Определенный шаг вперед сделал *Рюккерт* автор трактата «*Начальные химические основы земледелия*» (1789). Он создал теорию истощения почвы растениями. Рюккерт считал, что каждое растение требует особого состава почвы, наиболее подходящего для его развития. Приведем отрывок из его работы о значимости почвы для питания растений: «Различные земли нужны для питания растений сами по себе. Каждое растение требует особого состава почвы, на которой оно удаётся всего лучше. Отсюда происходит, что некоторые растения при многолетней культуре без перерыва очень истощают поле и более на нем не родятся, тогда как другие, требующие меньше потребленной первыми составной части, все чаще удаются на том же поле. Т. к. абсолютное количество и отношение различных земель (здесь «земли» – это вещества, элементы в почве) и в урожае можно определить, то можно рассчитать, когда данное поле будет истощено. Однако можно устранить это истощение с помощью такого удобрения, которое содержит преимущественно недостающее вещество. Поэтому разные растения требуют разных удобрений».

Несомненный интерес из публикаций того периода представляют также «*Краткий учебник по земледельческой химии*», изданный в 1795 г. *Сигизмундом Фридрихом Гермштедтом*, и труд *Эйнгофа* «*Начертания химии для сельских хозяев*» (1808).

В 1813 г. знаменитый английский химик *Гамфри Дэви* издал свои «*Элементы сельскохозяйственной химии*» («*Elements at agricultural Chemistry*»), которые состоят из серий лекций об элементах, содержащихся в растениях. Главная ценность этих лекций заключается в том, что изложение известных в то время фактов дается в химических выражениях. Вот что он пишет о строении растений: «К наиболее существенным частям растений относятся очевидно водород, углерод и кислород в различных соотношениях, обычно без азота; лишь в немногочисленных случаях имеется налицо также азот. Кислоты, щелочи, земли, окиси и соляные соединения, хотя и необходимы для жизни растения, все же имеют менее важное значение, в особенности по отношению к сельскому хозяйству, нежели вышеназванные главные составные части. Вода и распадающиеся животные и растительные материалы, находящиеся в почве, являются истинным питанием растений. Частицы земли в почве полезны для удержания воды, чтобы таким образом снабжать ею в соответствующих пропорциях корни растений».

По определению Г. Дэви, агрохимия «имеет своим предметом изменения и превращения веществ, связанные с ростом и питанием растений» или «занимается исследованием всех перемен, которые происходят в веществах, необходимых для произрастаний, определяет различную степень их питательности, открывает составные части почвы и указывает способы к удобрению земель посредством унавожения, или к оплодотворению оных разными способами возделывания».

В России профессор Московского университета *Павлов Михаил Григорьевич* (1793–1840) впервые связал химию с агрономией. В 1825 г. он издал книгу под названием «*Земледельческая химия с предварительным изложением*».

ем к сей части, и ко всей науке сельского хозяйства – приготовительных сведений из известных наук с показанием разных способов землеудобрения и с начертанием правил пахания». Это, по сути, было первое научное руководство по агрохимии, изданное в нашей стране. На три четверти книга была посвящена «приготовительным сведениям из физики, химии, фитологии, зоологии», и только на четверть – размышлениям о почве и трансформации вещества в ней. Автор подробно останавливается на «землеудобрении и землепашестве», на способах «поправления» почвы песком и известью и «утучнения» ее солеными листьями, тростником, тиной. Почвы М.Г. Павлов определяет как «рыхлый слой земной поверхности, служащий растениям местом укоренения», и, подобно Тэеру, придает исключительное значение гумусу, но считает ошибочным бытовавшее до сих пор мнение, что растение усваивает гумус как таковой. «Чернозем, – писал он, – не поглощается корнем в настоящем своем виде, но в измененном, а именно в виде слизи, растворенной водою». В соответствии с воззрениями М.В. Ломоносова, ученый понимал под черноземом «оземленелый остаток согнивших растений и животных». Вся тайна, по М.Г. Павлову, заключается в правильном «управлении соками»: те части растения, которые в результате и представляют интерес для земледельца, должны получать наибольшее количество соков. Он также обосновал пользу навоза и извести в земледелии.

Коренной поворот во взглядах на питание растений произошел лишь в 1840 г., когда знаменитый немецкий ученый–агрохимик *Юстус фон Либих* (1803–1873) выступил с сообщением перед Британской ассоциацией для развития науки по вопросу о питании растений. Его лекции позже были изданы в форме книги под заглавием: «*Химия в приложении к земледелию и физиологии*». Основные положения этих лекций содержатся в следующих тезисах, приведенных в его книге: «Рациональная система земледелия не может быть создана без применения научных принципов, ибо такая система должна быть основана на точном знании средств питания растений, влияния почвы и действия удобрений. Это знание мы должны черпать из химии, которая учит способам исследования состава и изучения свойств различных веществ, от которых растения получают свое питание. Первоначальным источником, из которого человек и животные черпают средства для своего развития и существования, является растительное царство. С другой стороны, растения находят себе новый материал для питания исключительно в неорганических веществах». ...Основным принципом земледелия является то положение, что почва должна получать обратно полностью все то, что у нее берется и что не обеспечено пополнением из естественных источников...

Никакое питательное вещество не действует отдельно само по себе: все питательные вещества должны находится в нужных количествах и в нужное время... Интенсивная культура требует интенсивного удобрения; с введением последнего должна повыситься производительность наших полей, должен увеличиваться вывоз зерна и скота; распространение такой интенсивной культуры тормозится недостатком удобрений. Поэтому все стремления сельского хозяина должны быть направлены к тому, чтобы удовлетворить, по возможности, всякую потерю удобрений».

Ю. Либих в популярной форме изложил причины истощения почвы и доказал необходимость внесения минеральных удобрений для воспроизводства

их плодородия. «Придет время, – писал он, – когда каждое поле сообразно с растением, какое на нем имеют в виду разводить, будет удобряться свойственным удобрением, приготовленным на химических заводах; тогда удобрение будет состоять только из тех веществ, которые нужны для питания растений, так точно, как теперь вылечивают лихорадку несколькими гранами хинина, тогда как прежде больного заставляли глотать хинную корку унциями.

Практический человек не понял научных выводов и счел нужным защищать свои, основанные на предании, воззрения. В сущности он вел спор не против научных истин, которых совершенно не понимал, а против ложных, им самим созданных понятий о них... Пока сельские хозяева не сделаются сами компетентными в деле судьями, до тех пор едва ли можно ожидать от науки действительной помощи... Я возлагаю свои надежды на молодое поколение, вступающее в практику с совершенно иною подготовкою, нежели отцы...

Я убедился в необходимости разрушить храмы лжи (т. е. консерватизм и столь обычное рутинерство ученых и непонимание новшеств практиками), чтобы расчистить для утверждения истины твердое место».

Труд Юстуса Либиха был высоко оценен основоположником экономического закона развития общества К. Марксом: «Новая агрономическая химия в Германии, особенно Ю. Либих, важнее, чем все экономисты вместе взятые».

После выхода в свет книги Ю. Либиха агрохимия переживает бурный период, понадобившийся для экспериментального доказательства правильности теории минерального питания растений. К.А. Тимирязев назвал этот период «героическим». Ю. Либиха называли «ферментом в науке». Основные его заслуги: он создал *теорию минерального питания растений*; положил начало применению минеральных удобрений и, как следствие, – появлению туковой промышленности; пробудил интерес к исследовательской работе, благодаря чему были созданы специальные агрохимические станции, где широко изучались вопросы минерального питания растений. Появились новые руководства по агрономической химии.

Выпускник Харьковского университета (1836) и Гогенгеймского высшего земледельческого института (1845) профессор *Калиновский Яков Николаевич* (1814–1903) в 1863 г. организовал в Московском университете первую в России кафедру агрономической химии. Он был страстным пропагандистом агрохимических знаний, неоднократно выступал на страницах журнала «Вестник естественных наук» со статьями о необходимости учреждения в России высших сельскохозяйственных институтов.

В 1866 г. в Праге вышла книга *Роберта Гофмана «Земледельческая химия»*. Спустя два года, она была издана в России. В предисловии книги автор написал: «Земледельческая химия возникла из естественного соединения нескольких отдельных наук: химии, физиологии, минералогии, геологии, ботаники и метеорологии. Как скоро эти науки достигли известной степени развития, и в особенности, как скоро влияние естественноисторических положений на сельскохозяйственное производство стало выражаться все сильнее и сильнее, – земледельческая химия стала вместе с тем развиваться, как самостоятельная наука, и легла в основание теории земледелия.

Эта эпоха, – продолжает ученый, – совпадает с концом прошлого и началом нынешнего столетия, ибо в это время появились первые самостоятельные сочинения о земледельческой химии Валлериуса, Рюккерта, Гермбштедта,

Эйнгофа и Дэви. Начало, хотя бы и скромное, было сделано. Но новая наука начала быстро совершенствоваться, благодаря многим превосходным работам, сделанным в области тех естественных наук, которые легли в основание ее, — преимущественно в области физиологии и химии растений.

Круг людей, внимание которых косвенно или непосредственно, устремлялось на земледельческую химию, становился все шире и шире. Мы находим уже в числе их (1840) таких людей, как Буссенго и Либих, которые посвятили свою полезную деятельность быстро развивающейся земледельческой химии; вместе с тем ярко выступило вперед осознание, что земледельческая химия не только носит в себе жизненные задатки, но и способна к такому развитию, о котором едва смели мечтать, и всего более может оказать благотворное влияние на сельское хозяйство... Земледельческая химия настоящего времени преследует практическое направление, не теряя при этом из вида науку; она с должным вниманием старается приблизиться к сельскохозяйственному опыту, примирить практику с теорией, и сделать полезными для сельского хозяина уроки земледельческой химии...

Сочинение это предназначено для практиков и должно, минуя гипотезы, теоретические выводы и спорные вопросы дать в сжатой форме объяснение того, что мы действительно знаем в области земледельческой химии, и кроме того, открыто и без фраз сознаться в том, что еще требует исследования. Оно должно служить пособием для сельского хозяина, советчиком, у которого он может найти объяснение, как применять на практике то, что наука предлагает ему за верное в настоящее время».

В 1870 г. в Гейдельберге Адольф Майер издал «Учебник земледельческой химии в сорока лекциях», а в 1871 г. книга была переведена на русский язык и опубликована в Санкт–Петербурге издательством «Общественная польза». Касаясь предназначения своего труда, Адольф Майер писал: «Несмотря на большое число обширных, отчасти весьма почтенных, и только в новейшее время составленных учебников земледельческой химии, между них нет такого, который бы одновременно отличался и несколько более строгим научным характером и соответствовал бы новейшим завоеваниям в области естественных наук, и в котором бы нашли место верный тон и методический способ изложения, без чего сочинение никогда не может быть учебником».

Характеризуя положение земледельческой науки в ряду других, Адольф Майер особо отмечает: «Земледельческую химию нужно рассматривать как прикладную физическую науку; по природе своей она наука теоретическая, но область исследований ее определяется преимущественно практической целью, которую она преследует, вследствие чего распространяется на всевозможные специальные естественные науки, смотря по обширности технических операций в сельскохозяйственной практике».

Нельзя не отметить появление ряда основополагающих руководств по агрохимии и в России: П.А. Ильенкова, А.Н. Энгельгардта, Г.Г. Густавсона, П.А. Костычева, Д.Н. Прянишникова.

Ильенков Павел Антонович (1821–1877) первый заведующий (1865) кафедрой органической и агрономической химии в Петровской земледельческой и лесной академии в обширном труде «Лекции по агрономической химии» (1872) изложил основы этой науки. П.А. Ильенков был своеобразным «локомотивом» агрохимии в России. Он перевел с немецкого знаменитую книгу своего учителя

Юстуса Либиха *«Химия в приложении к земледелию и физиологии»*, устроил агрохимическую лабораторию при возглавляемой им кафедре, разработал способ получения фосфорного удобрения переработкой костей щелочами.

Энгельгардт Александр Николаевич (1832–1893) был первым ученым в России, доказавшем возможность применения фосфатов в качестве непосредственного удобрения без предварительной химической обработки, а только подвергая их размолу до состояния тонкой муки. В Петербургском земледельческом институте он читал курс по органической и агрономической химии. В 1878 г. эти лекции были изданы отдельной книгой под названием *«Химические основы земледелия»*. А.Н. Энгельгардт придавал большое значение химии и физиологии растений как наукам, которые должны указать практические пути для повышения производительности почвы. В своем труде он обращается к рассмотрению вопроса о том, из каких элементов состоит растение, в виде каких соединений могут эти элементы усваиваться растениями, что происходит с растениями, когда они поедаются, сгорают или гнивают, различным образом перерабатываются в технике, и куда деваются элементы, из которых состоит растение.

Путеводной звездой агрохимических знаний была книга заведующего кафедрой органической и агрономической химии Петровской земледельческой и лесной академии *Густавсона Гавриила Гавриловича* (1842–1908) *«Двадцать лекций по агрономической химии»* (1889). «Основной целью курса агрохимии, – писал он, – является рассмотреть взаимосвязь процессов и дать научное обоснование тем явлениям, происходящими в природе, с которыми часто приходится иметь дело сельскому хозяину». Агрономическая химия обязана Г.Г. Густавсону усовершенствованием методов исследования, в частности, определения углерода в почвах.

Костычев Павел Андреевич (1845–1895) – один из основоположников научного почвоведения. Имея в виду, что предметом почвоведения является изучение свойств почвы по отношению их к жизни растений, П.А. Костычев высказывает следующую мысль: «...необходимо научное исследование русских почв, но не иначе, как сельскохозяйственно–научное, ввиду той цели, для достижения которой вообще производят почвенные исследования». В своих многочисленных публикациях он указывал на необходимость изучения почв при различном их состоянии, т. к. только в этом случае можно получить более точные сведения для земледелия. Этот важнейший вопрос, показывающий огромное значение почвоведения для производства, глубоко освещен в следующих высказываниях Павла Андреевича: «... изучение свойств различных почв при различном состоянии их дает нам в высшей степени драгоценные указания, которыми необходимо пользоваться при обработке и удобрении почв, – одним словом, при всяком хозяйственном пользовании почвами». Значительное внимание П.А. Костычев уделял теории и практике применения удобрений на полях. Эти вопросы нашли отражение в его руководстве *«Учение об удобрении почв»* (1893).

Развитие научных основ агрономической химии в нашей стране во многом связано с именем академика *Прянишникова Дмитрия Николаевича* (1865–1948). Им в 1900 г. впервые был опубликован фундаментальный учебник *«Учение об удобрении»*, который в 1922 г. вышел 5–м изданием. По сути, этот труд охватывал полный курс прикладной агрохимии, т. е. содержание учебника соответствовало требованиям, предъявляемым сельскохозяйственным производством к данной дисциплине, как прикладной науке.

В начале 30–х гг. XX столетия в связи с коллективизацией сельского хозяйства страны, предусматривавшей широкое применение удобрений, важнейшей задачей агрономической науки становится изучение теоретических основ химизации земледелия. Центром агрохимических исследований стали работы по изучению:

- закономерностей минерального питания растений в связи с применением удобрений;
- роли биогенных элементов в жизнедеятельности растений в связи с оптимизацией их минерального питания, которые определяют не только величину, но и качество урожая;
- возможности устранения разрыва между необходимым количеством того или иного потребного растением элемента питания и тем, которое может предоставить почва для реализации генетического потенциала;
- направленного воздействия человека на воспроизводство плодородия почвы и круговорот биогенных элементов в агроэкосистемах;
- потребления растениями элементов питания из почвы, отчуждения их с урожаями и возвращения в почву с удобрениями;
- диалектической взаимосвязи в системе *почва–удобрение–урожай*;
- трансформации удобрений в почве.

Полученные по этим направлениям результаты стали знаковыми для агрономической химии в решении прикладных задач и постулирования фундаментальных ее положений. Прогресс в данной области знаний позволил Д.Н. Прянишникову в 1934 г. написать учебник «Агрохимия», в котором, наряду с вопросами прикладного характера, были впервые изложены теоретические основы предмета.

Решение вопросов высокоэффективного применения удобрений в агроэкосистемах все в большей степени выходит за рамки сугубо почвенно–агрохимической проблемы, приобретает экологический смысл. Непременным условием современных агротехнологий становится строгое соблюдение требований охраны окружающей среды от загрязнения агрохимикатами, что предполагает необходимость разработок экологически безопасных приемов применения удобрений.

Основоположник экологической агрохимии академик В.Г. Минеев писал: «Важнейшей экологической функцией почвы в трофической цепи обеспечения жизни на земле является ее плодородие – основа богатства любого государства. С появлением и развитием земледелия на планете люди относились к земле с особым уважением, называя ее «Земля-кормилица», «Родная земля», «Земля-матушка». Более 90 % продуктов питания население планеты получает именно за счет плодородия почвы, черпая ежегодно этот дар природы, обеспечивая свое существование на планете. Но плодородие почвы не неисчерпаемо, земля–кормилица также нуждается в восстановлении ее плодородия, израсходованного на нужды человека. Великий русский ученый почвовед В.В. Докучаев, подчеркивая это положение, образно писал: «Нельзя же вечно брать из кармана и никогда ничего не возвращать в него! Нельзя же, в самом деле, думать, что наши черноземы обладают неисчислимыми запасами питательных сил». По существу, это в доступной для понимания форме высказана необходимость регулирования биологического круговорота веществ в агроэкосистемах, как важнейшей экологической функции агрохимии. Д.Н. Прянишников писал, что главной задачей агрохимии является регулирование круговорота

веществ в земледелии путем оптимизации применения агрохимических средств. Это хорошо понимают ученые агрохимики, почвоведы и агроэкологи. «Отчуждение с урожаем значительной или большей доли биомассы, а также возделывание растений на почве, где они изначально не произрастали, ведет к тому, что пахотные земли при отсутствии специальных агротехнических приемов не могут справиться со снабжением посевов необходимыми элементами» [5]. Следовательно, только высокоплодородные почвы с достаточным содержанием усвояемых для растений элементов питания потенциально способны обеспечить нормальные условия для жизни человека на земле.

Высокоплодородные почвы оказывают положительное действие и на другие экологические биосферные функции на литосферу, гидросферу и атмосферу. Поэтому, применяя удобрения в земледелии, человек не только обеспечивает себя высококачественными продуктами питания, но и улучшает экологическую ситуацию.

С нарастанием глобального и локального загрязнения биосферы, в т. ч. и агроэкосистем в нашей стране совершенно необоснованно некомпетентными лицами подвергается сомнению целесообразность увеличения темпов производства и применения минеральных удобрений. Такое суждение высказывается иногда и ответственными лицами без учета состояния и развития современного земледелия, особенно в высокоразвитых странах. Между тем опыт мирового земледелия показывает, что высокая его продуктивность основана на интенсивном применении агрохимических средств, которые не только повышают продуктивность сельскохозяйственных культур, но и выполняют экологические функции в агроэкосистемах. Анализ позитивного и негативного действия агрохимических средств в агроэкосистеме, взаимовлияния и взаимодействия факторов в агроэкосистеме, и прежде всего почвы, климата, удобрения и растения, позволяют сформулировать основные экологические функции агрохимии. Они формировались в течение длительного исторического развития мирового и отечественного земледелия [12].

С учетом современного состояния окружающей среды, академиком В.Г. Минеевым [2] были установлены, конкретизированы и сформулированы экологические функции агрохимии:

1. *Обеспечение оптимального круговорота биогенных элементов в агроценозе с активным их балансом.* Поддерживать активный баланс элементов питания в агроценозе как критерий оценки состояния круговорота веществ в земледелии можно только при научно обоснованном применении удобрений.

Регулируя биологический круговорот веществ, создавая их активный баланс и содержание в почвах и растениях, агрохимия выполняет важную экологическую функцию, т. к. нарушение баланса биогенных элементов в системе *почва–растение* ведет к ухудшению химического состава почв, природных вод и растений, что в свою очередь отрицательно сказывается на питательной ценности продукции и может привести к различным функциональным заболеваниям человека и животных. Поддержание положительного баланса и активного биологического круговорота элементов питания в земледелии – основа высокой продуктивности агроэкосистем. Нарушение баланса биогенных элементов в системе *почва–растение* ведет к ухудшению химического состава почв, природных вод и растений, а это отрицательно влияет на питательную ценность продукции и может привести к различным функциональным заболеваниям че-

ловека и животных. В.В. Ковальский [7] ввел понятие «пороговые концентрации элементов в среде», выше и ниже которых наблюдается определенная биологическая реакция. Поэтому, регулируя биологический круговорот веществ, создавая их оптимальный баланс и содержание в почвах и растениях, агрохимия выполняет важную экологическую функцию.

2. *Воспроизводство плодородия, улучшение свойств и гумусного состояния почв.* Эти задачи успешно решаются при ведении высокой культуры земледелия, предусматривающей комплексное использование агрохимических средств – органических и минеральных удобрений, химической мелиорации почв. Именно научно обоснованная система использования агрохимических средств позволяет избежать снижения биологической активности и ухудшения физико-химических и химических свойств почв, а также предотвратить ее дегумификацию. Хорошо известна роль гумуса в решении различных аспектов почвенной экологии практически во всех земледельческих районах. А между тем уровень этого важного показателя плодородия почв систематически снижается во всех почвенно-климатических зонах. По данным Почвенного института им. В.В. Докучаева, потери гумуса на черноземах за 100 лет составили около 25–30 % его запасов. В среднем с 1 га пашни ежегодно теряется около 400–600 кг гумуса, а там где сильно развиты процессы эрозии, потери гумуса достигают 1 т/га. Предотвратить эти негативные экологические процессы в агроценозе можно при комплексном использовании агрохимических средств. Без удобрений нельзя добиться расширенного воспроизводства плодородия почвы – необходимого условия для обеспечения роста урожая. С реализацией потенциальной продуктивности районированных сортов сельскохозяйственных культур создаются более благоприятные условия для сохранения окружающей среды.

3. *Оптимизация питания растений биогенными макро- и микроэлементами.* Оптимизация питания растений благоприятствует осуществлению ими своих экологических функций: усиливает рост, развитие и обмен веществ, повышает количество и качество урожая. Улучшение условий воздушного и минерального питания растений усиливает деятельность физиологических барьеров, ограничивающих поступление не востребованных для биосинтеза химических элементов и токсических веществ в растения. Установлен характер распределения тяжелых элементов в биомассе растений: корни > надземная часть > зерно. Это свидетельствует о наличии, по крайней мере, трех защитных механизмов (барьеров): на границе почва–корень, корень–стебель, стебель–зерно. Зная механизм поступления биогенных и токсических элементов в корни, транслокацию их в надземную часть, в т. ч. и в генеративные органы, возможно существенно снизить накопление токсиантов в растениях. Это в свою очередь позволяет получить экологически безопасную продукцию для питания человека и животных. Сбалансированное обеспечение растений элементами питания повышает устойчивость растительного организма к неблагоприятным факторам окружающей среды, усиливает стойкость к болезням и вредителям.

4. *Снижение негативных последствий от глобального и локального техногенного загрязнения агроэкосистем тяжелыми элементами.* Тяжелые элементы – 1) химические элементы с плотностью ≥ 5 г/см³; 2) химические элементы с массой > 40 атомных единиц. Встречаемое в технической литера-

туре собирательное название «тяжелые металлы» неприемлемо в агрохимии. Существуют необходимые и токсичные для организма тяжелые элементы. По степени опасности для организма их подразделяют на три класса:

I класс – бериллий (Be), кадмий (Cd), мышьяк (As), ртуть (Hg), свинец (Pb), селен (Se), цинк (Zn);

II класс – кобальт (Co), медь (Cu), молибден (Mo), никель (Ni), сурьма (Sb);

III класс – барий (Ba), ванадий (V), вольфрам (W), марганец (Mn), стронций (Sr).

Тяжелые элементы опасны для окружающей среды тем, что они обладают способностью накапливаться в живых организмах, увеличивая свои концентрации по трофическим цепям. Это все, в конечном счете, представляет опасность для здоровья человека, особенно при попадании в его организм высокотоксичных элементов, вызывающих экологические заболевания: «Минамата», «Итай-Итай»...

В городском воздухе содержание тяжелых элементов значительно больше, чем в воздухе сельских районов. Например, по данным немецких ученых, средняя концентрация тяжелых элементов в воздухе городов многократно превышает их концентрацию в горных районах страны, в т. ч.: бериллия – 12-кратное, кадмия – 10-кратное, хрома – 48-кратное, кобальта – 46-кратное, меди – 12,7-кратное, никеля – 25-кратное, ртути – 5-кратное. Значительная часть тяжелых элементов накапливается в почвах крупных городов и пригородов. Поэтому качество производимой на этих территориях сельскохозяйственной продукции должно быть под постоянным контролем, т. к. именно здесь начинает формироваться поток избыточного количества тяжелых элементов в пищевых цепях.

Снижение негативных последствий от загрязнения агроэкосистем тяжелыми элементами важнейшая экологическая функция агрохимии достигается инактивацией их подвижных форм в корнеобитаемом слое почвы путем снижения кислотности, применением органических удобрений, внесением оптимальных для роста и развития норм и соотношений макро- и микроэлементов. Выполнение этой экологической функции агрохимии позволяет получить экологически безопасную продукцию питания. Для получения продукции растениеводства, отвечающей гигиеническим требованиям к качеству и безопасности продовольственного сырья, пищевых продуктов и кормов по содержанию тяжелых элементов, необходимо на сельскохозяйственных землях, загрязненных ими, осуществлять комплекс мероприятий организационного и технологического характера, основными из которых являются: подбор культур, менее всего накапливающих тяжелых элементов. Замена культур, аккумулирующих значительное количество тяжелых элементов на культуры с меньшей интенсивностью поглощения этих элементов, способствует снижению накопления их в растениеводческой продукции в 2–3 раза. Почвы с высоким содержанием тяжелых элементов рекомендуется отводить под посевы рапса на семена, озимую рожь, пшеницу, из многолетних трав – ежу сборную, тимофеевку луговую. На загрязненных тяжелыми элементами почвах не рекомендуется возделывать листовые овощи и корнеплоды, поглощающие их больше по сравнению с другими культурами. На таких почвах лучше выращивать рапс на семена, лен, сахарную свеклу, а также картофель [2].

Известкование способствует снижению накопления тяжелых элементов в 1,4–2,1 раза. Для проведения этого агроприема целесообразно использовать как традиционные мелиоранты (доломитовую муку), так и кальцийсодержащие от-

ходы (дефекат сахарных заводов), карбонатный сапропель... Увеличение гумусированности почв путем применения органических удобрений позволяет снизить поступление в растениеводческую продукцию цинка и меди в 1,7 и 1,4 раза соответственно. В качестве органических удобрений можно использовать навоз, компосты на его основе, измельченную солому. Максимальный результат дает внесение в производственную почву навоза или компостов на его основе.

5. Улучшение радиэкологической ситуации в агроэкосистеме. *Радионуклиды* (радиоактивные элементы) – изотопы химических элементов, обладающие радиоактивностью (испускающие радиоактивное излучение). *Радиоактивность* – способность атомных ядер некоторых химических элементов и их изотопов самопроизвольно распадаться (претерпевать радиоактивный распад) с испусканием характерного излучения (альфа-, бета-, гамма-излучение, рентгеновское, нейтронное). Радиоактивность бывает: *естественная*, обусловленная присутствием в горных породах радиоактивных элементов (калий–40, уран–235, уран–238, торий–232); и *искусственная*, связанная с антропогенной деятельностью человека (рис. 18).

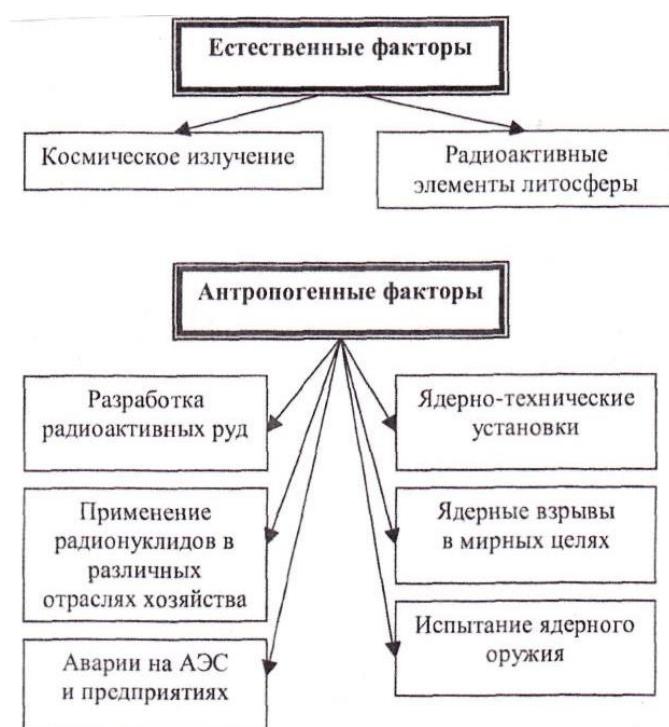


Рисунок 18 – Факторы радиоактивного загрязнения природной среды

Преобладающая часть радиоактивности приходится на радионуклиды искусственного происхождения: стронций–90, йод–131, криптон–85, цезий–137, плутоний–239, цезий–134... Они обуславливают радиоактивное загрязнение окружающей природной среды. *Радиоактивное загрязнение* – форма загрязнения физического, связанного с превышением естественного уровня содержания радиоактивных веществ в окружающей природной среде. Как правило, естественная радиоактивность не вызывает явных отрицательных явлений, т. к. к ней живые организмы адаптировались. Искусственная радиоактивность,

наоборот, играет существенную негативную роль, вызывая деградацию природных экосистем и представляя значительную опасность для живых организмов и человека. Для количественного описания *радиоактивности* и *ионизирующего излучения* используется целый ряд понятий: термином *активность* описывают радиоактивный распад атомных ядер; понятия «*ионная доза*», «*поглощенная доза*» и «*эквивалентная доза*» характеризуют разные стороны действия ионизирующего излучения, распространяющегося в материи.

Для оценки радиоактивности и ионизирующего излучения используются старые внесистемные единицы: *рентген*, *рад* и *бэр*, пока все еще широко распространенные. В настоящее время введены новые единицы: килон/килограмм (кл/кг), грэй (Гр), зиверт (Зв).

Старая единица – бэр (англ. rem – radiation equivalent man).

1 бэр = 1 рад x оценочный коэффициент. Новая единица – Зиверт (Зв).

1 Зв = 1 Гр x оценочный коэффициент.

1 Зв = 1000 бэр.

1 бэр = 0,01 Зв.

В Российской Федерации принята шкала степени облучения человека, вызывающего тяжелые последствия (табл. 45).

Таблица 45 – Шкала степени облучения человека

| Вид облучения (влияние) | Бэр |
|---|----------|
| Тяжелая степень лучевой болезни (погибают 50 % людей) | 450 |
| Нижний уровень развития легкой степени лучевой болезни | 75–100 |
| Кратковременное незначительное изменение состава крови | 30–75 |
| Облучение при рентгеноскопии желудка (местное) | 25–30 |
| Допустимое аварийное облучение персонала (разовое) | 10–25 |
| Допустимое аварийное облучение населения (разовое) | 5–10 |
| Допустимое облучение персонала в нормальных условиях за год | 3–5 |
| Облучение при рентгенографии зубов | 2–3 |
| Допустимое облучение населения в нормальных условиях (год) | 500 мбэр |
| Фоновое облучение за год | 100 мбэр |

Активность радиоактивного вещества – это количество атомных ядер, распадающихся за одну секунду, или число актов распада в секунду. Единица активности – *беккерель* (Бк). Данное количество радиоактивных атомов имеет активность 1 Бк, если в секунду распадается одно ядро. Каждый акт распада связан с эмиссией *ионизирующего излучения*. Старая единица – *кюри* (ки) 1 ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк; 1 Бк = $2,7 \cdot 10^{-11}$ ки.

Под *массовой удельной активностью* понимается число актов распада в секунду, отнесенное к единице массы (1 кг) радиоактивного вещества. Единица измерения – 1 Бк/кг. *Объемная удельная активность* – это отношение числа актов распада в секунду к единице объема радиоактивного вещества. Единица измерения – 1 Бк/л или 1 Бк/м³. Удельная активность природного *урана* составляет $2,5 \cdot 10^7$ Бк/кг. На атомной электростанции суммарная активность всех продуктов деления равняется примерно $3,7 \cdot 10^{20}$ Бк. Степень опасности радиоактивного вещества, помимо его активности, определяется видом испускаемого излучения и *периодом* его *полураспада*. Для количественной характеристики воздействия ионизирующего излучения привлекаются такие понятия,

как *ионная доза* (число ионных пар, образующихся под влиянием излучения) или *поглощенная доза* (т. е. поглощенная энергия излучения), в каждом случае отнесенная к массе облучаемого материала. Биологической активностью обладает лишь та часть излучения, проникшего в организм, которая вступает с ним во взаимодействие с образованием ионных пар или отдачей энергии. Ионная доза может быть непосредственно измерена с помощью *счетчика Гейгера*. Поглощенная доза характеризует поглощенное облученным телом количество энергии ионизирующего излучения, отнесенное к массе тела.

Поглощенная доза = поглощенная энергия излучения/масса.

Старая единица – *рад* (от англ. radiation). Новая единица – *грэй*, один Гр – 100 рад, 1 рад = 0,01 Гр. Поглощенная доза в 1 рад соответствует повышению температуры человеческого тела меньше, чем на 0,00001°C. Уже весьма малая доза энергии может вызывать у живых существ *значительные радиационные поражения*, т.к. отдача энергии излучения протекает в чрезвычайно узких зонах; вследствие этого могут быть повреждены жизненно важные молекулы. Таких единиц, как рентген и рад, оказалось недостаточно для характеристики биологических поражений, вызванных излучением. Радиационные поражения зависят от многочисленных факторов, например, от вида ионизирующего излучения. Так, 1 рад *альфа-излучения* в 10–20 раз опаснее для организма, чем 1 рад *гамма-излучения*.

Эквивалентная доза – понятие, посредством которого делается попытка учесть неодинаковую биологическую активность различных видов излучения с помощью безразмерных оценочных коэффициентов, характеризующих радиационную биологическую активность, – коэффициентов качества излучения. Эквивалентная доза равна произведению поглощенной дозы на оценочный коэффициент. Оценочные коэффициенты представляют собой числовые величины, с помощью которых пытаются на практике описать неодинаковую опасность различных видов ионизирующего излучения для организма человека. Оценочные коэффициенты в практике радиационной защиты сопоставимы с коэффициентами качества излучения в экспериментальной радиационной биологии.

| Излучение | Коэффициент качества излучения |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Рентгеновское и гамма-излучение | 1 |
| Бета-излучение | 1 |
| Тепловые (медленные) нейтроны | 2 |
| Быстрые нейтроны | 10 |
| Альфа-излучение | 10–20 |

Оперируя понятиями *эквивалентная доза* и оценочные коэффициенты, следует иметь в виду, что в обоих этих случаях речь идет не о единицах измерения физических величин, а лишь о чисто оценочных критериях. В соответствии с теорией *радиационная нагрузка* (загрязнение) в 1 бэр гамма-, рентгеновского, бета-, нейтронного или альфа-излучения приводит к одинаковым по тяжести радиационным поражениям. Поэтому эквивалентная доза представляет собой самую важную единицу измерения *радиационных поражений*.

Радионуклиды, попадая в трофические цепи, оказывают негативное воздействие на биосферу, и в частности на организм человека. В почве радионуклиды подвергаются различным процессам: аккумуляции, мобилизации и иммобилизации, миграции по профилю почвы, антагонизму и синергизму с биогенными элементами при транслокации в растения. Природная радиоак-

тивность почв определяется, прежде всего содержанием радиоактивных изотопов в материнской породе. Наиболее радиоактивны почвы, сформированные на кислых магматических породах, а максимальные концентрации естественных радионуклидов соответствуют мелкодисперсной фракции почв.

Некоторые виды *минеральных удобрений* могут содержать природные радиоактивные изотопы. Азотные удобрения производят преимущественно из азота воздуха, и они практически не содержат естественные радионуклиды; калийные, безусловно, обогащены ^{40}K , фосфорные – в разных количествах содержат уран, торий и дочерние продукты их распада. Эти радионуклиды попадают в удобрения из сырья. В подавляющем числе случаев гораздо меньше тяжелыми радиоактивными элементами загрязнены удобрения, выработанные из апатита – 0,1–3,7 мг/кг ^{238}U и 8–32 мг/кг ^{232}Th по сравнению с удобрениями, сырьем для которых является фосфорит – 4–35 и 10–25 мг/кг, соответственно. В настоящее время содержание природных радиоактивных изотопов в минеральных удобрениях и сырье для их производства регламентируется нормами радиационной безопасности (НРБ–99/2009). Для этого разработан специальный показатель – эффективная удельная активность ($A_{\text{эфф}}$), определяемый как:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra(U)}} + 1,5 A_{\text{Th}},$$

где $A_{\text{Ra(U)}}$ и A_{Th} – удельные активности ^{226}Ra (или ^{238}U) и ^{232}Th , находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, соответственно. Этот показатель для минеральных удобрений и других агрохимических средств не должен превышать 1000 Бк/кг.

Согласно зональному делению (Рекомендации..., 1991) земли считаются загрязненными при содержании ^{90}Sr более 5,6 кБк/м² (0,15 Ки/км²), а ^{137}Cs – более 37 кБк/м² (1 Ки/км²) (табл. 46; [2]).

Таблица 46 – Зональное деление земель по уровню загрязнения радионуклидами

| Плотность загрязнения, кБк/м ² (Ки/км ²) | | Уровень загрязнения | Зона проживания |
|---|----------------------|---------------------|--|
| ^{137}Cs | ^{90}Sr | | |
| 37–185 (1–5) | 5,6 – 37 (0,15–1) | Низкий | Проживание с льготным социально-экономическим статусом |
| 185–555 (5–15) | 37–111 (1–3) | Средний | Проживание с правом отселения |
| 555 – 1480 (15–40) | 111 – 185 (3–5) | Высокий | Отселение с правом получения компенсации и льгот |
| >40 (> 1480) | > 185 (>5) | Очень высокий | Зона отчуждения |

Ниже этих величин допускается ведение сельскохозяйственного производства без каких-либо ограничений. Таким образом, ниже будут рассмотрены вопросы, связанные с особенностями ведения сельскохозяйственного производства на территориях с уровнями загрязнения по $^{90}\text{Sr} \geq 5,6$ и $^{137}\text{Cs} \geq 37$ кБк/м².

Поступление радионуклидов-поллютантов из почвы в растения описывается либо коэффициентами накопления – отношением удельных актив-

ностей радионуклида в растении и в почве, либо коэффициентами перехода – отношением удельной активности радионуклида в растении к плотности загрязнения (Бк/кг/Ки/км², или Бк/кг/кБк/м²). Эти показатели зависят от типа и свойств почв, от вида, сорта и части урожая сельскохозяйственных культур.

Важным фактором, определяющим интенсивность поступления радионуклидов в продукцию растениеводства, является плодородие почв. Высокая сорбционная способность плодородных почв и прочное удерживание радионуклидов–поллютантов препятствует корневому поглощению Cs и Sr.

При увеличении урожая сельскохозяйственных культур происходит и биологическое разбавление загрязнителей – на единицу массы приходится меньшее их количество. В связи с этим любые агроприемы, направленные на повышение почвенного плодородия и повышение урожая сельскохозяйственных культур, способствуют снижению содержания радионуклидов в продукции растениеводства.

Гранулометрический состав почвы, как правило, положительно коррелирует с ее плодородием. Почвы с тяжелым гранулометрическим составом обычно характеризуются более высоким плодородием по сравнению с легкими песчаными и супесчаными. Установлено значительное снижение размеров поступления ¹³⁷Cs в растения при переходе от почв с низким плодородием к почвам с высоким.

Среди мероприятий по снижению поступления радиоактивных поллютантов в растения и по трофическим цепям – в продукцию животноводства, агрохимические методы заслуживают особого внимания, т. к. применение органических и минеральных удобрений и химических мелиорантов обеспечивает не только повышение урожайности сельскохозяйственных культур, но и является действенным средством получения незагрязненной ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr продукции растениеводства.

Факторами иммобилизации радиоактивных элементов в почве и снижения их поступления в растения являются известкование кислых почв, внесение органических удобрений, применение рациональных норм фосфорных и калийных удобрений.

Эффективность удобрения и известкования радиоактивно загрязненных почв для получения экологически безопасной продукции обусловлена рядом причин: 1) улучшение условий питания, что приводит к увеличению биомассы растений и происходит «разбавление» радионуклидов, т. е. уменьшение их содержания на единицу массы; 2) конкуренция ионов K⁺ и Ca²⁺, вносимых с известковыми материалами и удобрениями, с ионами ¹³⁷Cs⁺ и ⁹⁰Sr²⁺ при корневом питании растений; 3) снижение подвижности катионов в почве при сдвиге pH в щелочную сторону.

Известкование кислых почв является одним из наиболее эффективных способов снижения поступления ¹³⁷Cs и особенно ⁹⁰Sr в растения. Внесением известковых материалов достигается снижение концентрации ионов водорода в почвенном растворе с одновременным повышением содержания подвижного Ca, который подавляет корневое поступление ⁹⁰Sr. Этот вид химической мелиорации снижает поступление ⁹⁰Sr в растения в 3–7, а в отдельных случаях – до 20 раз. Эффективность известкования для снижения коэффициентов накопления ¹³⁷Cs ниже, чем для ⁹⁰Sr, что связано с конкуренцией ⁹⁰Sr и Ca при их усвоении растениями. Последствие известкования на переход ⁹⁰Sr в растения продолжается в течение 5–7 лет, тогда как на поступление ¹³⁷Cs – только 1–2 года.

Азотные удобрения обычно приводят к усиленному развитию биомассы растений и, как следствие, к увеличению потребности их в других элементах питания, что также стимулирует корневое поглощение ^{137}Cs и ^{90}Sr . Особенно ярко это проявляется при использовании физиологически кислых форм азотных удобрений. В связи с этим внесение азотных удобрений инициирует два разнонаправленных процесса – биологическое разбавление содержания радионуклидов за счет прироста биомассы и усиление их поглощения. Поэтому эффективность азотных удобрений на загрязненных землях, как правило, ниже по сравнению с фосфорными и калийными.

Внесение *фосфорных удобрений* также является важным фактором снижения размеров поглощения растений ^{137}Cs и ^{90}Sr . В этом случае основное влияние фосфорные туки оказывают на уменьшение массопереноса радиостронция. Повышая концентрации растворимых фосфатов в почвенном растворе, фосфорные удобрения инициируют сосаждение микроколичеств ^{90}Sr с фосфатами, при этом прочность фиксации радионуклида в почве в течение времени увеличивается (процесс «старения»).

Применение *калийных удобрений* на разных типах почв приводит к снижению поступления ^{137}Cs в культурные растения в несколько раз. Это связано как с антагонизмом калия и цезия при почвенном поглощении радионуклида из почвенного раствора, так и с «эффектом разбавления» его надземной биомассой растения. Наибольшая эффективность калийных удобрений достигается на легких, мало буферных и малообеспеченных калием почвах. Улучшение калийного питания растений приводит также и к существенному снижению загрязнения растений радиостронцием, особенно на почвах с низкой концентрацией обменного калия. Однако в этом случае ^{90}Sr поступает в растения в больших количествах по сравнению с ^{137}Cs .

Применение *органических удобрений* способствует закреплению радионуклидов в почве и уменьшает накопление радионуклидов растениями, в частности ^{137}Cs – в 2–3, а ^{90}Sr – в 2–8 раз. Наибольший эффект в снижении поступления радионуклидов под воздействием органических удобрений наблюдается на малоплодородных и легких почвах. На кислых почвах наилучшие результаты достигаются при совместном внесении в почву органических удобрений совместно с известью: на дерново–подзолистых почвах это приводит к снижению коэффициентов накопления радионуклидов приблизительно в 2–3 раза и более.

Следует отметить, что при использовании органических удобрений в хозяйствах, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения, сами эти местные удобрения могут содержать значительные количества ^{137}Cs и ^{90}Sr , и применение их может привести к вторичному загрязнению сельскохозяйственных земель.

Следует отметить, что правильное соотношение питательных элементов в удобрениях, применяемых на радиоактивно загрязненных территориях, имеет большое значение. Обычно дозы удобрений рассчитывают таким образом, чтобы получить максимальный урожай, т. е. соотношение элементов питания должно отвечать физиологическим потребностям растений. На почвах, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr , минеральные удобрения следует применять в другом соотношении, а именно – со значительным преобладанием калия и фосфора над азотом. Для эффективного снижения поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в рас-

тения фосфорные и калийные удобрения необходимо вносить в нормах, превышающих количества, рассчитанные по системе применения удобрений, а значит и физиологические потребности растений в этих элементах. Только в этом случае минеральные удобрения будут надежным фактором, снижающим уровень загрязнения продукции растениеводства радионуклидами.

На основе экспериментальных данных научно обоснована система агромероприятий, реализация которых существенно снижает поступления радионуклидов (стронция, цезия и др.) в продукцию растениеводства. Эти мероприятия включают [2]:

1) разбавление поступающих в почву радионуклидов в виде практически невесомых примесей их химическими аналогами (кальцием, калием и др.);

2) уменьшение степени доступности радионуклидов в почве путем зне-снения веществ, переводящих их в менее доступные формы (органическое вещество, фосфаты, карбонаты и др.);

3) заделку загрязненного слоя почвы в подпахотный горизонт за пределы зоны распространения корневых систем (на глубину 50–70 см);

4) подбор культур и сортов, накапливающих минимальное количество радионуклидов;

5) размещение на загрязненных почвах технических культур, использование этих почв под семенные участки.

Аналогичные системы мероприятий могут быть использованы и для снижения загрязнения сельскохозяйственной продукции другими токсическими веществами нерадиоактивной природы. Все это свидетельствует о важной функциональной роли агрохимии в решении проблем радиоэкологии.

б. *Создание агроландшафтов с оптимальными параметрами для различных природных регионов в соответствии с их специализацией.* Путем целенаправленного изменения химического состава почвы, растений и грунтовых вод создают культурный ландшафт, качественно отличающийся от естественного. Зная оптимальные параметры химического состава звеньев агроландшафта, можно научно обоснованным применением агрохимических средств существенно его улучшить. Такой ландшафт является наилучшим в гигиеническом отношении и отвечает оптимальным условиям жизни человечества. *Геохимический ландшафт* по Б.Б. Польнову – это взаимосвязь химического состава отдельных звеньев ландшафта: почвы, растительности, поверхностных и грунтовых вод и т.д. их миграционной способности, а также факторов, оказывающих существенное влияние на миграцию химических элементов. В.И. Вернадский считал, что источником подвижности химических элементов в биосфере являются живое вещество и природные воды, т. е. синтез и минерализация органических соединений – процессы, составляющие круговорот химических, особенно биогенных элементов в системе *почва–растение*. Вновь созданный аграрный тип ландшафта является качественно отличным от естественных природных комплексов. Систематическое применение агрохимических средств, по существу, изменяет химический состав почвы, растений, грунтовых вод, а, следовательно, и круговорот веществ в данном ландшафте. Это влияние может быть позитивным и негативным. Зная оптимальные параметры химического состава звеньев агроландшафта, научно обоснованным применением агрохимических средств можно существенно его улучшить. Если в развитие понятия о ландшафте Б.Б. Польнова учиты-

вать это комплексное агрохимическое воздействие на звенья агроландшафта, то оно, по существу, приобретает новое агрогеохимическое содержание. В этом суть одной из важных экологических функций агрохимии.

7. *Удобрения и химические мелиоранты – важное звено в системе противоэрозионных мероприятий. Большой ущерб в условиях интенсивного земледелия наносит эрозия почв.* Только овраги в нашей стране ежедневно «съедают» 100–200 га земли, а площадь, выводимая из сельскохозяйственного использования, в 3–4 раза превышает площадь оврага. В результате эрозии почвы теряется 20 % продукции растениеводства. Степень развития эрозии почвы и размер ущерба от нее зависят от многих факторов: рельефа местности, вида культуры, гранулометрического состава почвы, интенсивности орошения или выпадающих атмосферных осадков, уровня удобренности полей, системы обработки почвы и др. Потери массы почвы и органического вещества за счет водной эрозии в зависимости от степени эродированности почв могут достигать больших величин (табл. 47; [2]).

Таблица 47 – Среднегодовые потери почвенной массы и органического вещества в результате развития водной эрозии

| Степень эродированности почв | Потери почвенной массы, т/га | Потери гумуса, т/га | |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------|
| | | дерново–подзолистые почвы | черноземы |
| Слабая | <6 | <0,1 | <0,6 |
| Средняя | 6–12 | 0,1–0,2 | 0,6–1,2 |
| Сильная | >12 | >0,2 | >1,2 |

За счет водной эрозии пахотных почв потери органического вещества могут значительно превышать то количество, которое минерализуется при распашке и которое не может быть восстановлено запашкой растительных остатков и органических удобрений. Потери отдельных питательных элементов от эрозии почвы бывают разными в зависимости от характера использования сельскохозяйственных угодий, крутизны склона, интенсивности орошения и т.д. По обобщенным данным научных учреждений, недобор урожая на слабосмытых почвах составляет 10–12 %, на среднесмытых – 30–50, а на сильносмытых – 60–80 %. Анализ причин появления эрозии почвы показывает, что это не неизбежное явление, а вызывается оно в значительной мере нарушением научных принципов и законов земледелия, научно обоснованного комплекса приемов агрономической технологии. На эрозионно–опасном почвенном покрове применение удобрений существенно снижает негативные последствия от водной эрозии. Это подтверждают исследования, выполненные в различных почвенно–климатических условиях. Так, на типичном черноземе Центрально–Черноземной зоны на фоне систематического внесения удобрений размеры смыва веществ сокращались на 14–15 %, что связано с большим накоплением биомассы на удобренных посевах и лучшим закреплением почвы корневой системой растений.

Научно обоснованная система применения удобрений, создавая оптимальные условия для роста и развития корневой системы растений, улучшает физические свойства почвы, что в совокупности способствует лучшей защите ее от эрозии и снижает потери элементов питания.

Анализ отечественных и зарубежных исследований и практической деятельности передовых хозяйств позволяет рекомендовать следующий комплекс основных агрономических мероприятий по предотвращению эрозии почвы и потерь питательных веществ [2].

1. Разработка и освоение научно обоснованных специализированных с учетом степени эрозионной опасности почвозащитных севооборотов.

2. Система противозрозионной обработки почвы: безотвальная, плоскорезная, минимальная, полосная, контурная, гребнистая, ячеистая, чизелевание, щелевание почвы и т.д.

3. Внедрение контурного, террасного, полосного земледелия и комплекса противозрозионных мелиоративных мероприятий.

4. Использование пожнивных посевов, а также уплотненный посев почвозащитной культуры в междурядье основной (пропашной). Этот прием особенно эффективен на легких почвах.

5. Залужение посевами многолетних трав участков, сильно подверженных эрозии.

6. Правильный выбор форм, доз, сроков и способов внесения минеральных и органических удобрений – важное средство предотвращения потерь питательных веществ при смыве и выщелачивании почвы.

7. Применение полимеров–структурообразователей.

8. *Повышение биологической активности почвы и улучшение структуры ее микробоценоза.* Удобрения оказывают существенное положительное влияние на биологическую активность и структуру микробоценоза почвы, причем их воздействие может быть прямым и опосредованным, через изменение условий жизни растений и почвенной биоты. Непосредственно удобрения оказывают влияние на процессы ассоциативной и симбиотической азотфиксации, регулирование фосфорного питания растений за счет использования везикулярно–арбускулярной микоризы грибов, а также общей биологической и ферментативной активности почвы. Хорошо известно положительное действие фосфорно–калийных и микроудобрений на симбиотическую азотфиксацию. Если многоплановое воздействие ВАМ–грибов на выращиваемые сельскохозяйственные культуры пока еще изучено недостаточно, то симбиотическая азотфиксация – дар природы, который до сих пор в практике нашего земледелия полностью недооценивается. Невелик удельный вес, который бобовые культуры занимают в полевых и кормовых севооборотах, незначительны и площади пашни, занятой бобовыми, высеваемыми в качестве зеленого удобрения (сидератов). Еще Д.Н. Прянишников, хорошо представляя масштабы отечественного земледелия, обращал внимание на решение проблемы азота путем оптимального сочетания технической, органической и биологической его форм.

9. *Повышение устойчивости растений к болезням и вредителям.* Агрохимические средства оказывают существенное влияние на устойчивость растений к болезням и вредителям. Оно возможно в результате прямого или косвенного воздействия на культурное растение или патоген, стимулируя или ингибируя его развитие. Часто голодание растения от недостатка того или иного питательного элемента одновременно вызывает развитие патогена. Фитозащитный эффект зависит от видов и форм удобрений. Избыточное одностороннее внесение азота или в составе с другими удобрениями часто увеличивает развитие многих грибных болезней. Оптимизация же доз азота с учетом вида, сорта и возраста расте-

ния, гидротермических условий, уровня содержания азота в почве, форм азотного удобрения, уровня окультуренности и других условий может существенно снизить или вовсе предотвратить ход патологического процесса.

Фосфор в одностороннем порядке или в сочетании с азотом и калием в большинстве случаев снижает вредоносность заболевания. Это объясняется тем, что фосфор способствует усиленному развитию корневой системы, что повышает устойчивость растений к неблагоприятным условиям внешней среды. Кроме этого оптимальное фосфорное питание усиливает синтез органических соединений в растениях, в т. ч. и склеренхимных тканей, что повышает сопротивляемость растений к внедрению паразита.

Калийные удобрения существенно сдерживают развитие грибных болезней на растениях, т. к. калий утолщает клеточные стенки, повышает прочность механических тканей, увеличивает рост и дифференциацию клеток камбия у высших растений. Все эти процессы способствуют повышению физиологической устойчивости растений против инфекционного поражения. Поэтому систему удобрения в севообороте необходимо строить и с учетом оптимального калийного питания растений.

Оптимизация минерального питания растений сказывается на их повреждаемости вредителями. Установлена определенная связь между азотным удобрением и повреждением растений хлебным пилильщиком, вредной черепашкой, трипсом и другими вредителями. На фосфорно-калийном фоне повреждение растений вредителями бывает в меньшей степени. Повышение плодородия почвы и улучшение условий питания растений оказывает существенное влияние на повышение устойчивости растений к грибным патогенам, изменение инфекционного потенциала почвы. Кроме того, существуют культуры с активным ингибирующим воздействием корневых экссудатов на репродуктивную способность фитопатогенов. Отмечена положительная роль минеральных удобрений в снижении развития фитопатогенов, в частности сапротрофных грибов в плодосмене. Таким образом, и в биологическом аспекте четко проявляется экологическая функция агрохимии.

10. *Улучшение химического состава и питательной ценности растениеводческой продукции.* Удобрения способствуют не только реализации генотипа конкретной культуры по продуктивности, но и улучшению качества получаемой продукции. Например, оптимизация азотного питания озимой пшеницы позволяет практически во всех земледельческих зонах получать высокобелковое зерно, отвечающее требованиям по питательности и хлебопекарным свойствам. Правильное соотношение между макро- и микроэлементами в удобрениях, вносимых под сахарную свеклу, – реальный и эффективный путь увеличения сбора сахара за счет повышения сахаристости корнеплодов. То же можно сказать и о качестве клубней картофеля, повышении содержания жиров в семенах масличных культур, сахаров и витаминов в плодах и овощах.

Основными причинами отрицательного влияния удобрений на качество урожая являются нарушение оптимальных доз, соотношения питательных элементов в удобрениях без учета их содержания в почве, форм и сроков их внесения, что отрицательно влияет на метаболизм органических соединений, особенно на синтез аминокислот и белков в растениях. Одновременно в растениях накапливаются в избыточном количестве нитраты, нитриты, которые в кислой среде реагируют с вторичными аминами, образуя нитрозоамины, обладающие

канцерогенными и мутагенными свойствами. В здоровых растениях при нормальном азотном питании нитраты и нитриты в свободном состоянии не накапливаются. Поступив в растения, они подвергаются процессам восстановления под действием нитратредуктазы и нитритредуктазы. Полученное промежуточное соединение – гидроксиламин или аммиак – связывается с органическими кислотами, которые превращаются в аминокислоты. Следовательно, нитраты могут накапливаться в продукции при избыточном их количестве в почве и при нарушенных биологических процессах в растении. Удобрение навозом или компостами как медленнодействующей формой азота приводит к меньшему содержанию нитратов в овощах по сравнению с эквивалентным количеством азота, внесенного с минеральными удобрениями.

Оптимизация азотного питания растений предусматривает и сроки внесения азотных удобрений в соответствии с биологическими требованиями растений. Это особенно важно учитывать при удобрении овощных культур и тех растений, у которых на питание используются вегетативные части. В процессе вегетации содержание нитратов в растениях снижается, поэтому убирать культуры, особенно овощные, необходимо в оптимальные сроки, а подкармливать азотом за 1,5–2 месяца до уборки урожая.

Успешное использование растениями всех питательных элементов, поступивших через корневую систему, в т. ч. и утилизация нитратов, возможно при высокой фотосинтетической деятельности растений. Интенсивность света обуславливает активность фермента нитратредуктазы, обеспечивающего восстановление в растениях нитратов до аммония. При низкой освещенности процессы восстановления нитратов и образования аминокислот затормаживаются. Этим можно объяснить значительно большее содержание нитратов в овощах, выращенных в теплицах в зимнее время, чем в растениях открытого грунта.

Нарушение научно обоснованной технологии использования в земледелии различных видов органических удобрений также снижает качество продукции. Среднегодовая доза ежегодно вносимого навоза (без опасения ухудшения качества урожая и поедаемости корма) рекомендуется эквивалентной не более 200 кг азота на 1 га, а наиболее эффективный срок внесения навоза – осень, под зяблевую вспашку. Однако на качество растениеводческой продукции могут оказывать существенное влияние техногенное загрязнение природной среды токсическими веществами. Проявление токсического влияния тяжелых элементов на растение возможно разными путями. Это их денатурирующее действие на метаболически важные белки. Так как каталитическая и регуляторная роль белков для метаболической системы организмов является всеобъемлющей, нарушения могут захватывать самые различные звенья обмена. Возможен перевод фосфора в недоступную для метаболизма форму труднорастворимых фосфатов тяжелых элементов, а также конкуренция тяжелых элементов с необходимым элементом минерального питания, замена на специфических переносчиках и передатчиках этого элемента в метаболической цепи, что может привести к его дефициту. На почвах, загрязненных тяжелыми элементами, наблюдалось снижение урожайности зерновых культур на 20–30 %, сахарной свеклы – на 35, бобовых – на 40, картофеля – на 47 %.

Внесение агрохимических средств может вызвать в почве мобилизацию или иммобилизацию биогенных и токсических элементов и изменение качества урожая. В этом случае большая роль отводится гумусу почвы, который

связывает тяжелые элементы в комплексные соединения хелатного типа, т. е. малодоступные для растений формы, снижая их токсичность.

Оптимизация свойств почвы и минерального питания растений способствует снижению уровня содержания тяжелых элементов в культурах.

Комплексная реализация вышеперечисленных экологических функций агрохимии – задача рациональной системы удобрения культур в севообороте и химической мелиорации почв. В связи с этим агрохимию следует рассматривать не только как приоритетную прикладную, но и как важнейшую фундаментальную эколого–биологическую науку. И в этом, подчеркивает В.Г. Минеев [2], трудно переоценить фундаментальное и прикладное значение агрохимии как науки, занимающей активные позиции в обеспечении постоянно растущего населения планеты высококачественными продуктами питания.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятия биосфера.
2. Где проходят нижняя и верхняя границы биосферы?
3. Какие компоненты биосферы выделил В.И. Вернадский?
4. Сколько видов животных и растений существует на Земле?
5. Как сказывается развитие цивилизации, достижения науки и техники на состоянии биосферы?
6. Дайте определение агрохимии, как науки. Что она изучает?
7. Какие объекты изучает агрохимия?
8. Сформулируйте основные задачи агрохимии.
9. Какова роль агрохимии в экологизации земледелия?
10. Перечислите экологические функции агрохимии.

Литература

1. Агафонов Е.В. Экологические основы агрохимии / Е.В. Агафонов, К.И. Пимонов, А.А. Громаков, В.В. Турчин. – Персиановский: ДонГА, 2015. – 196 с.
2. Агрохимия / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Агрохимэкокодружество, 2017. – 854 с.
3. Артюхин К.С. Совкообразные – вредители сельскохозяйственных культур и лесных насаждений / К.С. Артюхин, А.Н. Полтавский, А.Ю. Матов, В.И. Щуров. – Ростов–на–Дону: Изд–во «Foundation», 2017. – 376 с.
4. Вернадский В.И. Избранные сочинения / В.И. Вернадский. – М.: Изд–во АН СССР. Т.1, 1954. – 696 с., Т.2, 1955. – 615 с., Т.3, 1959 – 508 с., Т.4 (книга 1), 1959. – 624 с., Т.4 (книга 2), 1960. – 651 с., Т.5, 1960. – 422 с.
5. Добровольский Г.В. Экология почв / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: МГУ; Наука, 2006. – 364 с.
6. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю.А. Израэль. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 375 с.
7. Ковальский В.В. Геохимическая среда и жизнь / В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1982. – 78 с.
8. Ковда В.А. Биосфера и человечество / В.А. Ковда // Биосфера и ее ресурсы. – М.: Наука, 1971. С. 7–52.
9. Ковда В.А. Биогеохимические циклы в природе и их нарушение человеком / В.А. Ковда // Биогеохимические циклы в биосфере. – М.: Наука, 1976. С. 19–85.
10. Лапин В.Л. Основы экологических знаний инженера / В.Л. Лапин, А.Г. Мартинсен, В.М. Попов. – М.: Экология, 1996. – 171 с.
11. Минеев В.Г. Агрохимия и биосфера / В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1984. – 245 с.
12. Никитин Д.П. Окружающая среда и человек / Д.П. Никитин, Ю.В. Новиков. – М.: Высшая школа, 1980. – 424 с.

13. Новиков Г.А. Основы общей экологии и охраны природы / Г.А. Новиков. – Л.: Изд-во Ленинг. ун-та, 1979. – 352 с.
14. Перельман А.И. Геохимия ландшафтов / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1975. – 342 с.
15. Перельман А.И. Биокосные системы Земли / А.И. Перельман. – М.: Наука, 1977. – 160 с.
16. Реймерс Н.Ф. Охрана природы и окружающая человека среда / Н.Ф. Реймерс. – М.: Просвещение, 1992. – 317 с.
17. Реймерс Н.Ф. Экология (Теории, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н.Ф. Реймерс. – М.: Россия молодая, 1994. – 367 с.
18. Тюрюканов А.Н. Биосфера и человечество / А.Н. Тюрюканов. – М.: Знание, 1973. – 64 с.
19. Фокин А.Д. Почва, биосфера и жизнь на Земле / А.Д. Фокин. – М.: Наука, 1986. – 176 с.
20. Черников В.А. Агроэкология / В.А Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев и др. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
21. Шварц С.С. Экология человека: новые подходы к проблеме «человек и природа» / С.С. Шварц / Будущее науки. – М.: Знание, 1976. С. 158–177.
22. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 1. История и методология агрохимии / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – 1279 с.
23. Шипилов А.А. Гигиеническая оценка производства хлорида калия, как источника загрязнения водоемов / А.А. Шипилов // Гигиена и санитария. 1980. №12. С. 63–64.
24. Энгельс Ф. Диалектика природы / Ф. Энгельс. – М.: Политиздат, 1982. – 359 с.
25. Ягодин Б.А. Агрохимия / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. – М.: Колос, 2002. – 584 с.

5. БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ АГРОБИОХИМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ

5.1 Агробиохимическая классификация химических элементов

Классификация (лат.: classis – разряд, класс и facio – делаю, раскладываю) – система соподчиненных понятий (классов объектов) какой-либо области знания или деятельности человека, часто представляемая в виде различных по форме схем (таблиц) и используемая как средство для установления связей между этими понятиями или классами объектов, а также для точной ориентировки в многообразии понятий или соответствующих объектов.

Б.В. Якушкин

Элементный состав современных организмов складывался под воздействием двух процессов. С одной стороны, это эволюция состава гидро- и литосферы, характеризующаяся постоянным сдвигом соотношения химических элементов из-за выщелачивания и вулканической деятельности. С другой стороны, – это генетически контролируемое «необходимое» для организма их соотношение на том или ином этапе развития.

Необходимость специальной классификации химических элементов в растительном мире обусловлена, прежде всего, тем, что на рост и развитие растений они влияют не только непосредственно при попадании в организм, но и косвенно, через воздействие на микрофлору и питательный режим почвы. Как известно, растения способны поглощать из окружающей среды практически все элементы периодической системы Д.И. Менделеева. Между тем, для нормального прохождения жизненного цикла им необходимо лишь 17 из них: С, Н, О, N, P, K, Si, S, Ca, Mg, Fe, Mn, B, Co, Zn, Cu, Mo. Среди этих элементов только 14 являются собственно минеральными, а С, Н и О поступают в растения преимущественно в виде CO_2 , O_2 и H_2O . Помимо перечисленных 17-ти элементов, отдельные культуры положительно отзываются на внесение Al, Na, Cl, F, V, I, Br, Cr, Li, Se. Все элементы, входящие в группу «необходимых», физиологически равноценны, а их функции в растениях строго специфичны. Недостаток любого из них приводит к глубокому нарушению обмена веществ и физиолого-биохимических процессов у растений, ослаблению их роста и развития, снижению количества и качества продукции. При остром дефиците элементов этой группы у растений появляются характерные признаки голодания. Между тем, количественные потребности растения в том или ином элементе резко различаются [1,4].

Необходимо отметить, что термин «необходимый элемент питания» условен, по мнению А.П. Виноградова [2], все химические элементы, так или иначе, участвуют в метаболизме у растений. Отсутствие сведений о физиологическом значении химического элемента указывает лишь на трудности их получения.

Для систематизации сведений о содержании и физиологической роли химических элементов в растениях нами впервые в 2003 г. была предложена агробиохимическая классификация [3,5]. Основной принцип данной классификации – разделение химических элементов на группы, в зависимости от биологической роли и содержания их в растениях (табл. 48).

Таблица 48 – Агробиохимическая классификация химических элементов

| Группа | Элемент |
|--|---|
| 1. Макроэлементы: органогенные | H O C N |
| зольные | P K Si |
| 2. Мезоэлементы | S Ca Mg Fe Na Al Cl |
| 3. Микроэлементы | B Mn Co Cu Mo Zn |
| 4. Ультрамикроэлементы: эссенциальные | V I Se Br Li F Cr |
| неэссенциальные | Ba Be Bi W Gd Ga Hf Ge Ho Dy Eu Au In Ir Yb Y Cd La Lu As Nd Ni Nb Sn Os Pd Pt Pr Ra Re Rh Hg Rb Ru Sm Pb Ag Sc Sr Sb Tl Ta Te Tb Ti Th Tm U Cs Ce Zr Er |
| 5. Инертные элементы | He Ne Ar Kr Xe Rn |
| 6. Техногенные элементы | Ac Am At Bh Bk Cb Cf Cm Db Ds Es Fm Fr Hs Lr Md Mt No Np Pa Pm Po Pu Rf Rg Sg Tc Th |

Первую группу агробиохимической классификации составляют *макроэлементы*, содержание которых в растениях превышает 0,1 % сухой массы. К ним относятся H, O, C, N, P, K, Si.

Вторую группу – *мезоэлементы*, содержание которых в сухой массе растений находится в диапазоне 0,01–0,1 %. В эту группу входят S, Ca, Mg, Fe, Na, Al, Cl.

В третью группу включены *микроэлементы*, содержащиеся в сухой массе растений в количестве от 0,0001 до 0,01 %. Это B, Mn, Co, Cu, Mo, Zn.

Четвертая группа представлена *ультрамикроэлементами*. Содержание этих элементов в сухой массе растений не превышает 0,0001 %. Это самая большая по численности группа элементов. Сюда входят V, I, Se, Ba, Be, Br, Bi, W, Gd, Ga, Hf, Ge, Ho, Dy, Eu, Au, In, Ir, Yb, Y, Cd, La, Li, Lu, As, Nd, Ni, Nb, Sn, Os, Pd, Pt, Pr, Ra, Re, Rh, Hg, Rb, Ru, Sm, Pb, Ag, Sc, Sr, Sb, Tl, Ta, Te, Tb, Ti, Th, Tm, U, F, Cr, Cs, Ce, Zr, Er.

Группу ультрамикроэлементов подразделили на две подгруппы: 1. *Эссенциальные*, т. е. жизненно необходимые и 2. *Неэссенциальные* – те, которые могут стимулировать рост и развитие растений, но в полной мере не соответствуют требованиям, предъявляемым необходимым и не заменимым элементам питания.

Пятая группа – *инертные элементы*, т. е. химические элементы, образующие главную подгруппу 8-й группы периодической системы Д.И. Менделеева. Возможность их поступления в растения доказана, однако, функции этих элементов не выявлены.

Шестая группа – *техногенные элементы* (элементы, не обнаруженные в земной коре; их поступление в растение связано с техногенезом).

Агробиохимическая классификация химических элементов, на наш взгляд, в наибольшей степени отвечает потребностям агрохимиков и физиологов растений.

В условиях оптимизации минерального питания растений будет возрастать значимость не только макроудобрений, но и удобрений, содержащих мезо-, микро-, и ультрамикроэлементы. Однако использование ультрамикроэлементов в растениеводстве на сегодняшний день останется проблематичным, т. к. интервал их эффективных концентраций очень узок и легко можно перейти границу положительного действия. Это также справедливо в какой-то степени и для микроэлементов, относящихся к группе тяжелых элементов. К тому же избыточное накопление микро- и ультрамикроэлементов в растениях снижает продуктивность агрофитоценоза, а также представляет определенную опасность для здоровья человека и животных.

Изложение материала в данной книге находится в соответствии с предлагаемой нами агробиохимической классификацией химических элементов.

5.2 Биогенные элементы

Между живой и неживой природой существует материальная общность: химическая основа живых существ сформирована элементами, которые присутствуют в окружающей среде.

Б.А. Ягодин, 2002

5.2.1 Органогенные макроэлементы

Углерод. Среди биогенных элементов углерод занимает уникальное положение; жизнь на нашей планете имеет углеродную основу. Так было и в далеком прошлом: горючие ископаемые – газ, нефть, сланцы, торф – это углеродистые вещества. Особенно богат этим элементом каменный уголь. Углерод может принимать степени окисления от +4 (CO₂) до –4 (CH₄), причем в составе одной и той же молекулы могут находиться атомы углерода с разными степенями окисления. Это определяет существование большого количества органических соединений и богатство превращений. В отличие от других химических элементов, атомы углерода могут соединяться одинарными, двойными и тройными связями как между собой, так и с атомами многих других элементов, формируя при этом углеродные цепи практически любой длины. Эти цепи способны ветвиться, а также замыкаться в кольца различного строения и размера. На углеродном «скелете» могут прочно «крепиться» самые разнообразные функциональные группировки, создавая поистине неисчерпаемое богатство органических соединений.

Углерод является универсальным компонентом всех без исключения живых организмов. На долю этого элемента приходится 45 % массы растения. Он входит в состав: углеводов, выполняющих роль молекулярного «топлива» клетки; белков, играющих роль «молекулярных машин», которые осуществляют самые разнообразные функции живой клетки, начиная с фотосинтеза и кончая переносом веществ через мембраны; нуклеиновых кислот, которые программируют работу всей клетки и, в первую очередь, работу механизмов сборки белков; липидов, образующих мембраны клетки.

При дыхании растений, как и других живых организмов, в результате биологического окисления углеводов, липидов, белков выделяется CO₂:



Этот процесс служит основным источником энергии для организмов, а также механизмом, благодаря которому углерод из «царства» органических соединений переходит в «царство» минеральных. Причем, выделение диоксида углерода может происходить не только в присутствии кислорода при дыхании, но и в анаэробных условиях – в процессе брожения. Растворяясь в воде, диоксид углерода образует угольную кислоту, которая диссоциирует с образованием карбонат-иона CO_3^{2-} и гидрокарбонат-иона HCO_3^- . В совокупности эти ионы образуют гидрокарбонатную буферную систему организма. Анион HCO_3^- , кроме того, играет исключительно важную роль в корневом питании растений. Поглощая из почвы элементы минерального питания, растение совершает своеобразный обмен с почвенным поглощающим комплексом: отдает HCO_3^- , а забирает анионы других биогенных элементов.

Автотрофные организмы в процессе эволюции «научились» усваивать предельно окисленное соединение углерода – CO_2 , восстанавливая его до полисахаридов, например, до глюкозы $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ или более простого соединения – метана CH_4 . Углерод, поглощенный растениями в форме CO_2 , является основным субстратом фотосинтеза. Растения способны воспринимать углекислоту как через корни, так и через листья. Как показали исследования, 75–80 % диоксида углерода растения ассимилируют из воздуха через листья и только 20–25 % поглощают корнями из почвы в форме аниона HCO_3^- . Следовательно, преобладающим компонентом в углеродном питании растений является углекислота. Ее содержание в обычном воздухе не превышает 0,03 %. Вместе с тем оптимальная концентрация CO_2 для большинства культурных растений составляет 0,3–0,6 %, т. е. многократно превышает его концентрацию в атмосфере.

Посевы зерновых культур связывают около 15 кг $\text{CO}_2/\text{га}\cdot\text{ч}$. Чем выше формирующийся урожай сельскохозяйственных культур, тем больше требуется диоксида углерода. На удобренных органическими удобрениями полях при интенсивном связывании CO_2 часто наблюдается дефицит углерода в нижнем ярусе растений. Внесение органических удобрений резко увеличивает концентрацию диоксида углерода в почвенном и надпочвенном воздухе. Минеральные удобрения в зависимости от содержания гумуса и других органических веществ в почве увеличивают продуцирование CO_2 на 20–120 %. В защищенном грунте для обеспечения растений углеродом применяют воздушную подкормку CO_2 . Припочвенный слой воздуха может также обогащаться диоксидом углерода за счет извести при известковании кислых почв, при внесении мочевины и удобрений, содержащих карбонаты.

Кислород входит в состав всех без исключения важнейших макромолекул клетки: углеводов, белков, липидов, нуклеиновых и аденозинфосфорных кислот. Однако роль кислорода не ограничивается лишь тем, что он входит в состав почти всех органических и неорганических соединений растительного организма. На его долю приходится 42 % сухого вещества растений. Такие фундаментальные процессы, как фотосинтез и дыхание, совершаются с вовлечением в биологический обмен и круговорот веществ на Земле не связанного, а свободного кислорода.

Кислород отличается высокой реакционной способностью и легко вступает в соединения с различными элементами. В результате биологического окисления углеводов, жиров и белков кислородом растения получают необходимую для жизнедеятельности энергию.

В растения кислород поступает при дыхании преимущественно в молекулярной форме, в составе воды и диоксида углерода. У водных растений кислород поступает в ткани путем диффузии из окружающей их воды. У наземных – газообмен с атмосферой происходит также за счет диффузии. *Диффузия* – физический процесс, при котором молекулы перемещаются из области высокой концентрации данного вещества в область низкой его концентрации до тех пор, пока их распределение не станет равномерным. Высшие растения все без исключения являются аэробными организмами, т. е. они нуждаются в непрерывном снабжении кислородом извне. Если концентрация кислорода в тканях данного организма ниже, чем в окружающей среде, то кислород диффундирует в ткани. Поскольку растения постоянно расходуют кислород в процессе дыхательного газообмена, то его содержание в организме остается на низком уровне, что и обуславливает его непрерывную диффузию в ткани. В целом растения малочувствительны к понижению парциального давления кислорода, и при этом их дыхание заметно не замедляется. Однако при недостатке кислорода поглощение элементов питания корнями растений ослабевает быстрее, чем дыхание. Питание растений аммонийным азотом усиливает в них восстановительные процессы, содействует накоплению более восстановленных продуктов. Нитратная (окисленная) форма азота, усиливая окислительные процессы, действует в обратном направлении. Интенсивностью дыхания определяются процессы цикла взаимосвязанного превращения азотистых веществ, углеводов и органических кислот в растениях. С участием кислорода происходит минерализация органических веществ, которая завершает биологический круговорот элементов питания, переводя их в доступное для растений состояние.

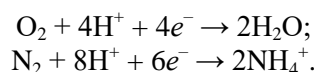
По устойчивости к анаэробным условиям среды все растения делятся на три группы: 1) истинно устойчивые; 2) кажущиеся устойчивыми и 3) неустойчивые. К *первой группе* относятся растения, устойчивые к аноксии (отсутствие кислорода в отдельных органах, тканях и в организме в целом), поскольку их резистентность проявляется в условиях полного исключения атмосферного кислорода из среды обитания и реализуется на молекулярном уровне. Ко *второй группе* относятся растения, клетки и ткани которых не обладают молекулярными механизмами адаптации к аноксии, довольно чувствительные к отсутствию молекулярного кислорода в среде обитания. В анаэробной среде они избегают анаэробноза благодаря транспорту кислорода из аэрируемых надземных органов. Наконец, к *третьей группе* относятся мезофиты, у которых признаки истинной или кажущейся устойчивости либо не выражены, либо выражены слабо.

Несмотря на то, что кислород является одним из продуктов процесса фотосинтеза, в условиях полного анаэробноза процесс фотосинтеза останавливается. Это связано с торможением процесса дыхания и накоплением продуктов неполного окисления, в частности органических кислот. Необходимо отметить также, что процесс фотосинтеза тормозится и при возрастании концентрации кислорода в атмосфере до 25 %. Данное явление получило название «эффект Варбурга». Тормозящее влияние высоких концентраций кислорода на фотосинтез проявляется особенно резко при повышенной интенсивности света. Происходящее в растительных клетках индуцированное светом поглощение кислорода и выделение диоксида углерода с использованием в качестве субстрата промежуточных продуктов цикла Кальвина называется *фотодыханием*. Выделение диоксида углерода при фотодыхании может до-

стигать 50 % от всего CO₂, усвоенного в процессе фотосинтеза. Фотодыхание представляет как бы короткозамкнутую цепь фотосинтеза, в которой образовавшаяся «восстановительная сила» используется не на восстановление диоксида углерода до углеводов, а для восстановления молекулярного кислорода, и не сопровождается окислительным фосфорилированием аденозиндифосфорной кислоты. Одна из концепций значения фотодыхания предполагает его защитную роль. Сброс избыточной энергии позволяет предотвратить деструкцию фотосистем, избежать прекращения фотохимических процессов при высокой освещенности и недостатке диоксида углерода. Фотодыхание обеспечивает сбалансированность световой и темновой фаз фотосинтеза, их зависимость от потребности в продуктах фотосинтеза.

Водород является органомным элементом, на долю которого приходится 6,5 % сухой массы растения. В растениях водород присутствует обычно либо в виде катиона (H⁺), либо в форме соединений с биогенными элементами (C, O, N, S). В последнем случае степень полярности связи «элемент–водород» обуславливает важнейшие свойства таких соединений; например, неполярная связь C–H сообщает гидрофобный, т. е. «водоотталкивающий» характер тем участкам молекул, в которых они находятся. Широко представлены в биомолекулах и полярные связи O–H, N–H, S–H, причем величина положительного заряда на атоме водорода придает спиртовой группе, аминогруппе или сульфгидрильной группе различную кислотность. Водород наряду с кислородом принимает активное участие в сопряженных биологических процессах гидролиза и синтеза, окисления и восстановления. Он входит в состав углеводов, липидов, нуклеиновых кислот, белков и других азотистых соединений. Наконец, водород составляет часть воды, которая является одним из важнейших соединений, обладающих уникальными физико-химическими свойствами и биологическими функциями. Содержание его в углеводах, жирах и белках составляет соответственно 6,48; 12,13 и 7,00 %; вода содержит 11,11 % связанного водорода. Из 1000 г воды, поглощенной растениями, приблизительно 990 г испаряется, а 10 г задерживается в растении. Из них химически связывается около 1–2 г, а 8–9 г закрепляется осмотическим и коллоидно-химическим путями.

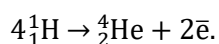
К числу важнейших биоорганических соединений относятся фосфорная кислота в составе ДНК, РНК и АТФ, молочная, аскорбиновая, никотиновая, лимонная и многие другие кислоты; их физиологическая активность определяется концентрацией протонов [H⁺]. Именно концентрация ионов водорода непосредственно влияет на прохождение в биологических средах окислительно-восстановительных реакций. К их числу относятся важные превращения, как, например, восстановление кислорода в процессе биологического окисления (дыхания) или ассимиляции молекулярного азота азотфиксирующими бактериями:



Катионам водорода свойственна высокая каталитическая активность. Катализ ионами водорода (кислотный катализ) важен, например, при гидролитическом распаде белков, липидов и углеводов. Говоря о роли водорода, нельзя не упомянуть и о значении водородных связей, образующихся в белках. Все

макромолекулы белков и нуклеиновых кислот, а также клеточные мембраны могут сохранять свою структуру и функциональную активность только при наличии водородных связей с водным матриксом. Нельзя не отметить и тот факт, что конечные продукты дыхания – ионы H^+ и HCO_3^- – являются обменным фондом, непрерывно образующимся в организме, на которые и обмениваются в эквивалентных количествах анионы и катионы почвенного раствора. Ионы водорода по своей подвижности значительно превосходят ионы других элементов. С этим связано активное участие водорода в обмене веществ в клетках, в процессе поступления анионов и катионов различных солей из питательной среды в растения. Растения воспринимают водород преимущественно в составе воды, катиона аммония и аниона фосфорной кислоты. Однако основным источником этого элемента для растений является вода. Подавляющая масса воды поступает в растения через корни, т. е. из почвы.

В заключение уместно вспомнить, что для всех живущих на Земле организмов источником существования служит энергия солнца. Не будем при этом забывать, что первооснова этой энергии – термоядерная реакция, протекающая с участием протонов водорода, который в виде плазмы составляет около половины массы Солнца:



Азот. Роль азота в жизни растений и в природе чрезвычайно велика. По биофильности (кларк концентрации элемента в живом веществе) этот элемент (160) занимает второе место после углерода (7800). Несмотря на то, что содержание азота в недрах Земли весьма не велико и составляет всего лишь 0,04 % от массы земной коры, в почвах наблюдается значительная концентрация этого элемента – в среднем 0,1 %. В живом веществе содержание азота по отношению к почве резко увеличивается. В среднем его содержится 1–3 % от массы сухого вещества растений. Азот составляет основную массу атмосферы – 78 %, т. е. над каждым метром поверхности Земли находится около 8 т азота, а общее количество этого элемента, находящегося над земной поверхностью, равно $4 \cdot 10^{15}$ т. История азота атмосферы тесно связана с растениями, животными и почвой. Этот элемент входит в состав любой аминокислоты и, следовательно, в состав всех без исключения белков, являющихся важнейшей частью протоплазмы и компонентом любой мембраны – универсальной структурной единицы клетки. Белки находятся также в межфибриллярных полостях клеточных стенок. Азот служит строительным материалом органелл клетки. Он входит в состав нуклеиновых кислот, являющихся носителями наследственных свойств растительного организма. Азот – обязательный компонент хлорофилла, без которого немислим процесс фотосинтеза. Этот элемент положительно влияет на размеры и ультраструктуру хлоропластов, увеличивая количество гран (основные элементы внутренней структуры хлоропласта; представляют собой локальные, упорядоченно сгруппированные пачки тилакоидов – замкнутые уплощенные мембранные структуры хлоропластов); повышает содержание белков – переносчиков электронтранспортной цепи фотосинтеза, увеличивает интенсивность фотосинтеза и коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации. Азот – составная часть ростовых веществ, алкалоидов и витаминов; участвует в образовании путресцина, спермидина, спермина, кадаверина и других полиами-

нов, которые влияют на структуру хроматина нуклеиновых кислот и рибосом, а также регулируют процессы деления клеток и обладают протекторными (защитными) свойствами. Наконец, этот элемент входит в состав ферментов – биологических катализаторов, под влиянием которых происходят все без исключения физиолого-биохимические процессы в растительном организме.

Азот поступает в растения в виде ионов аммония, нитрата и нитрита. Но в естественных условиях последний редко бывает источником питания, поскольку его содержание в почве незначительное. Аммоний поступает в растения в форме катиона по механизму унипорта или электрогенного антипорта при участии сопутствующего аниона. Поглощение нитрата корнями растений обусловлено соотношением скоростей одновременно протекающих притока и оттока аниона NO_3^- . Система поглощения нитрата вполне автономна и прямо не связана с его восстановлением. В последнее время в связи с развитием хемиосмотических и котранспортных концепций большое признание получила гипотеза обменного $\text{NO}_3^-/\text{OH}^-$ – антипорта. В ее пользу свидетельствует факт быстрого подщелачивания среды при поглощении нитрата корнями, а также прямое сопряжение процесса редукции нитрата в растении с образованием гидроксильных ионов ($\text{NO}_3^- + 6\text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{OH}^-$) и появление OH^- –градиента на плазмалемме. Кроме перечисленных минеральных форм азота растения способны усваивать аминокислоты, амиды, полипептиды и другие водорастворимые азотсодержащие органические соединения. Использовать в качестве источника питания свободный азот высшие растения непосредственно не способны, поскольку они не в состоянии преодолеть силы сцепления атомов в его молекуле.

Эффективность использования растениями различных форм азота зависит от температуры и реакции среды. В слабокислой среде, при $\text{pH}=5$, лучше поглощаются нитрат-анионы. Наоборот, в нейтральной среде, при $\text{pH}=7$, преимущество имеют катионы аммония. Если в почвенном растворе присутствуют оба иона, при низких положительных температурах порядка $+10^\circ\text{C}$ NH_4^+ поглощается сильнее, чем NO_3^- ; наибольшей величины поступление NH_4^+ достигает при температуре 25°C . Поглощение растениями NO_3^- также усиливается с увеличением температуры, опережает поглощение NH_4^+ при 23°C и продолжает нарастать, достигая максимума при 35°C .

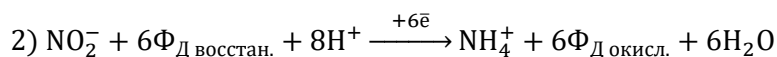
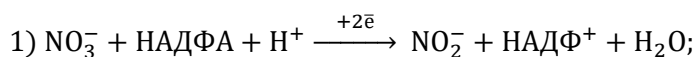
Из всех поступивших из почвы в растения соединений азота только аммоний метаболизируется непосредственно в корнях, превращаясь в азот аминокислот и амидов. Образование аминокислот путем присоединения аммиака к кетокислотам с участием соответствующих ферментов называется *прямым аминированием*. Азот в аминокислотах содержится в виде аминогруппы NH_2 . С участием соответствующих ферментов аланин, аспарагиновая и глутаминовая аминокислоты могут передавать свои аминогруппы другим кетокислотам, в результате чего возникают новые аминокислоты. В этом случае идет *реакция переаминирования*, т. е. такой процесс, когда осуществляется перенос аминогруппы аминокислоты на кетокислоту и в результате образуются новые аминокислоты. Переаминирование особенно важно для синтеза белков, а также для процесса дезаминирования аминокислот, когда идет образование кетокислот и аммиака. Полученные при этом кетокислоты преимущественно служат для образования углеводов и липидов. Аммиак же идет на образование аминокислот в результате прямого аминирования кетокислот,

которые получают из углеводов. Реакция переноса аминогруппы осуществляется с участием фермента аминотрансферазы.

Аммиак в свободном виде содержится в тканях растений в незначительных количествах. Накопление его, особенно при недостатке кетокислот – щавелевоуксусной, кетоглутаровой или фумаровой, являющихся продуктом неполного окисления углеводов, может привести к аммиачному отравлению растений. Однако растения способны связывать избыток свободного аммиака. Значительная часть его вступает во взаимодействие с ранее синтезированными аспарагиновой и глутаминовой аминокислотами с образованием соответствующих амидов – аспарагина и глутамина. Процесс образования амидов позволяет растениям избежать аммиачного отравления, создать резерв аммиака, который может быть использован ими в дальнейшем по мере необходимости. Кроме того, амиды играют важную роль в синтезе белков. Более простым способом связывания аммиака является образование аммонийных солей органических кислот. У растений с кислым клеточным соком (щавель, осоки, хвощи, бегония) содержание аммонийного азота в десятки раз превосходит количество амидного азота. Аммиак в растениях обезвреживается и при образовании мочевины. Исходным продуктом для синтеза мочевины служит аминокислота орнитин, которая, присоединяя аммиак и углекислоту, превращается в цитруллин. Последний, в свою очередь, присоединяет еще одну молекулу аммиака и образует аргинин. Аргинин под действием фермента аргиназы с участием воды расщепляется на орнитин и мочевину. Мочевина не токсична для растений, и после расщепления ферментом уреазой служит источником азота для синтетических процессов. Предотвращение нарушения обмена веществ, сохранение минерального азота для дальнейшего использования в процессах ассимиляции возможно и путем непосредственного окисления избыточного количества аммония в растениях до нитратов.

Нитратный азот может накапливаться в растениях в значительных количествах, не причиняя им вреда. Поступившие в растения ионы NO_3^- запасаются либо в вакуолях, либо в цитоплазме. Вакуолярный фонд, составляющий большую часть нитратов в клетке, является запасным компартментом и медленно взаимодействует с цитоплазматическим активным фондом. Это связано с тем, что нитратредуктаза, определяющая восстановление нитратов, находится в клетке вне вакуоли.

Азот входит в состав органических соединений исключительно в восстановленной форме. Поэтому включение нитратов в обмен веществ начинается с их восстановления, которое может происходить как в корнях, так и в листьях. Относительная доля участия этих органов в редукции нитратов является видовым признаком. Превращение нитрата в аммиак осуществляется в две стадии: первая из которых катализируется нитратредуктазой, а вторая – нитритредуктазой:



Фермент нитратредуктаза локализован в цитозоле клеток корня и листа, где и протекает процесс восстановления нитратов до нитритов. Нитритредуктаза локализована в хлоропластах листьев или пропластидах корней. Донором электронов в листьях служит восстановленный ферредоксин ($\text{Ф}_{\text{Д}}$),

который образуется при функционировании на свету фотосистемы I (ФС I). В корнях NO_2^- восстанавливается в пропластидах с использованием НАДФН, образующегося в пентозофосфатном цикле дыхания.

Использование различных источников восстановителя приводит к существенной разнице в энергозатратах на превращение NO_3^- в NH_4^+ в корнях и надземных органах растений. Если привести затраты к одному эквиваленту, то в листьях на восстановление 14 г азота нитрата расходуется 15 г глюкозы, а в корнях 60 г, т. е. в 4 раза больше. Такое преимущество перед корнями в энергетических расходах листья имеют лишь на свету.

Нитриты, образующиеся на первом этапе редукции нитратов, быстро усваиваются растительными клетками и не накапливаются, что связано с их высокой токсичностью и более высокой (в 5–20 раз) активностью нитритредуктазы по сравнению с нитратредуктазой. Поэтому в процессе восстановления нитратов до аммиака лимитирующей стадией является процесс редукции нитрата до нитрита.

Аммиак, поступивший в растение извне, образовавшийся при восстановлении нитратов или в процессе фиксации молекулярного азота, далее усваивается растениями в результате восстановительного аминирования кетокислот, поставляемых дыханием. Первичная ассимиляция аммиака происходит с участием таких ферментов, как глутаматдегидрогеназа, аспартатдегидрогеназа, глутаминсинтетаза, аланиндегидрогеназа, глициндегидрогеназа и карбомилфосфатсинтетаза. Включившись в аминокислоты и амиды, азот далее может переходить в другие углеродсодержащие вещества. Наиболее активно участвуют в метаболизации аммиака глутаминовая и аспарагиновая кислоты, их амиды, а также карбомилфосфат. Эти соединения образуют пул (англ. *pool* буквально общий котел) азотсодержащих веществ, из которых этот элемент может расходоваться на нужды растительного организма.

Азот для растений является лимитирующим элементом. В метаболизме он постоянно обновляется в составе конституционных и запасных веществ. Потребность в этом элементе растения испытывают с момента прорастания семян, образования корешка и ростка. Азот регулирует толщину клеточных стенок, продолжительность фаз клеточного деления и характер их дифференциации, а также жизненно важные физиолого-биохимические процессы. В онтогенезе растительного организма содержание азота в вегетативной массе увеличивается до фазы цветения, а затем уменьшается за счет оттока в формирующиеся генеративные органы. Максимальное количество азота содержится в товарной части урожая, несколько меньше его в листьях, а минимум – в стеблях.

При недостатке азота тормозится рост, ослабляется образование боковых побегов и кущение у злаков, уменьшается площадь листьев, интенсивность наступления фаз развития увеличивается, растения «торопятся» зацвести и дать урожай в ущерб количеству и качеству. Все это приводит к сокращению периода вегетативного роста, снижению фотосинтетического потенциала растения и чистой продуктивности фотосинтеза. Одновременно при этом уменьшается масса корней, но соотношение корней и надземной части при этом может несколько возрасти. Одно из ранних проявлений азотного дефицита – бледно-зеленая окраска листьев нижнего яруса, вызванная ослаблением синтеза пигмента хлорофилла. В молодых листьях такие симптомы появляются позже, поскольку азот может поступать из более старых листьев. Пожелтение нижних листьев указывает на то, что происходит реутилизация

(вторичное использование растениями элемента минерального питания, т. е. содержащие недостающий элемент вещества в старых листьях разрушаются, образующиеся продукты транспортируются в меристемы и там используются при образовании новых органов) данного элемента.

При недостатке азота накапливаются углеводы, которые не могут быть использованы для синтеза аминокислот и других азотных соединений. В этом случае углеводы используются для синтеза антоцианов, поэтому листья краснеют. Длительное азотное голодание растений ведет к разрушению хлорофилла и серьезному нарушению энергетического обмена растительного организма. Растения слабее используют световую энергию, раньше наступает световое насыщение, а компенсационная точка достигается при более высокой интенсивности света. Интенсивность дыхания несколько возрастает, но уменьшаются сопряженность окисления с фосфорилированием и выработка аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Кроме того, при азотном голодании растений энергетические затраты на поддержание структуры протоплазмы значительно возрастают. У растений, испытывающих дефицит азота, увеличивается интенсивность транспирации, т. к. в клетках уменьшается количество связывающих воду белков. В результате в клетках возрастает относительное количество воды, что и вызывает усиление транспирации. Свободные аминокислоты, входящие в состав клеточного сока, влияют на его осмотический потенциал, а значит и на поступление воды в клетку. Следовательно, обеспеченность растений азотом влияет на оводненность тканей. Все это приводит к снижению продуктивности.

Избыточное количество азота в почве также приводит к отрицательным последствиям, в частности, к израстанию вегетативной массы, увеличению продолжительности вегетационного периода, снижению устойчивости растений к болезням и вредителям. Все это приводит к снижению урожая и ухудшению его качества.

5.2.2 Зольные макроэлементы

Фосфор так же, как и азот, относится к наиболее дефицитным элементам. Его биофильность (0,75) приближается к биофильности серы (1,00). Несмотря на малое содержание в земной коре и в почве, его роль на Земле чрезвычайно велика. Без фосфора нет жизни. Фосфор входит в состав известной агрохимической триады – «азот, фосфор, калий». Содержание этого элемента в растениях колеблется в пределах 0,2–1,3 % от массы сухого вещества.

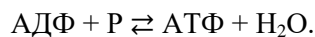
Фосфор поглощается корнями в виде окисленных соединений, главным образом остатка ортофосфорной кислоты – H_2PO_4^- и HPO_4^{2-} . Ион PO_4^{3-} не имеет практического значения в питании растений, т.к. при величине рН, при которой развивается корневая система, его почти нет в почвенном растворе. В связи с этим источником фосфорного питания растений могут быть соли как ортофосфорной, так и пиррофосфорной кислоты. Среди солей ортофосфорной кислоты на первом месте стоят кальций-фосфаты, затем калий-фосфаты и магний-фосфаты. Для риса и других растений, принадлежащих к группе гигрофитов, наиболее существенным источником фосфорного питания служат железофосфаты. Кроме того, растения могут использовать и органические фосфаты – сахарофосфаты, фитин. Но доступность растениям этих соединений невелика и зависит от скорости их гидролиза в почве до поступления в растение. Послед-

няя в значительной степени зависит от интенсивности выделения корнями растений фермента фосфатазы, осуществляющего непосредственное отщепление фосфорной кислоты от органических соединений.

Находящиеся в почвенном растворе фосфат-ионы благодаря диффузии и обменной адсорбции попадают в свободное пространство корня и проникают через клеточные стенки до плазмалеммы. Близ плазмалеммы они соединяются со специфичными для них носителями и проникают через мембрану в цитоплазму. Радиальное передвижение фосфат-иона в зоне поглощения корня до ксилемы происходит по симпласту, причем его концентрация в клетках корня в десятки-сотни раз превышает концентрацию в почвенном растворе. Транспорт по ксилеме осуществляется в основном или полностью в форме неорганического фосфата; в том же виде он достигает листьев и зон роста. Фосфор легко перераспределяется между органами; из клеток листьев он поступает в ситовидные трубки и по флоэме транспортируется в другие части растения, особенно в конусы нарастания и в развивающиеся плоды. При всех превращениях в растительном организме фосфор сохраняет степень окисленности. Собственно фосфорный обмен сводится лишь к присоединению или переносу остатка фосфорной кислоты, т. е. к *фосфорилированию* (присоединение остатка фосфорной кислоты к какому-либо органическому соединению с образованием эфирной связи) или *трансфосфорилированию* (процесс, при котором остаток фосфорной кислоты, включенный в состав одного органического вещества, переносится на другое органическое вещество).

В растениях фосфор находится в органических и минеральных соединениях. Небольшое количество этого элемента присутствует в клеточном соке в ионной форме. Минеральные соединения фосфора в основном представлены солями калия, кальция и магния. Они являются запасными фосфорсодержащими веществами и используются по мере надобности растительному организму на построение органических соединений. К важнейшим фосфорорганическим соединениям в растениях относятся нуклеиновые кислоты, нуклеотиды, сахарофосфаты, фосфатиды, фосфопротеиды, фосфолипиды и фитин.

Роль фосфора в метаболизме растений разнообразна и чрезвычайно велика. Нуклеопротеиды участвуют в построении клеточных ядер. Фосфатиды контролируют проникновение и обмен веществ в клетках. Аденозинтрифосфорная кислота принимает участие в переносе, накоплении и трансформации химической энергии, необходимой для метаболических превращений. АТФ состоит из пуринового основания аденина, углевода рибозы и трех «остатков» фосфорной кислоты. В энергетическом обмене постоянно происходят превращения АДФ в АТФ и обратно по схеме:



Присоединяя фосфат и превращаясь в АТФ, аденозиндифосфорная кислота обогащается энергией. Переход АТФ в АДФ, наоборот, сопровождается выделением запасенной энергии. В разнообразных реакциях передачи энергии важная роль принадлежит и другой группе фосфорсодержащих соединений – ацилфосфатам. К ним относятся ацетилфосфат и 1,3-дифосфоглицериновая кислота. Из ацетилфосфата в растении синтезируется АТФ, а 1,3-дифосфоглицериновая кислота может передавать свою богатую энергией фосфатную группу АДФ, переводя последнюю в АТФ. Биологическая роль нуклеи-

новых кислот состоит в хранении, реализации и передаче генетической информации. Входя в состав витаминов, гормонов и коферментов (НАД, НАДФ, ФАД, КоА), фосфорные соединения выступают в качестве регулятора интенсивности биохимических процессов в растениях. Фосфорсодержащие коферменты принимают участие в различных метаболических реакциях. Никотинамидадениндинуклеотидфосфат (НАДФ), входя в состав различных дегидрогеназ, активирует водород (электрон) дыхательного субстрата и передает его акцептору. Передачу электронов по цепи в процессе окисления дыхательного субстрата осуществляют ферменты флавопротеиновой природы. Их коферментами являются флавиннуклеотиды (ФАД), содержащие фосфатную группу. Далеко не полный ряд перечисленных процессов, в которых задействован фосфор, свидетельствует о его исключительной роли в обмене веществ растения.

Большая часть фосфора находится в репродуктивных органах и молодых интенсивно растущих частях растений. Фосфор ускоряет формирование корневой системы растений, она сильнее ветвится и глубже проникает в почву. Основное количество фосфора растения потребляют в начальные фазы роста и развития, создавая его определенные запасы. В дальнейшем он легко реутилизируется. Хорошая обеспеченность растений фосфором способствует более экономному расходованию ими воды и повышению засухоустойчивости. Фосфор, улучшая углеводный обмен, способствует увеличению содержания сахаров в узлах кущения злаков и тканях многолетних трав, в результате чего повышается их морозоустойчивость. Этот элемент также повышает устойчивость растений к болезням и вредителям. Оптимальное питание растений фосфором стимулирует процессы оплодотворения цветков, образования завязей и созревания плодов, а также ускоряет развитие растений, повышает урожай и его качество. Однако избыток этого элемента приводит к чрезмерно быстрому развитию растений и раннему созреванию плодов, в результате чего их урожай снижается.

При недостатке фосфора задерживается рост надземных органов и формирование плодов, т. к. нарушаются дыхание и фотосинтез, образуются более мелкие листья, молодые листья становятся сине-зелеными, а старые начинают желтеть от краев к центру, появляются небольшие некротические пятна. Постепенно листья засыхают. Как и при недостатке азота, корни сначала растут в длину быстрее, потом их рост замедляется, и они буреют. Из-за торможения гликолиза и цикла Кребса в клетках корней образуется меньше аденозинтрифосфорной кислоты и кетокислот, являющихся акцепторами аммиака, поэтому уменьшается поглощение растениями азота. В результате снижается синтез аминокислот и белков, что вызывает торможение роста. Уменьшение количества кетокислот тормозит и темновое поглощение диоксида углерода корнями, т. к. кетокислоты являются его акцепторами. Недостаток фосфора снижает интенсивность фотосинтеза сильнее, чем недостаток других элементов минерального питания. При недостатке фосфора наблюдается аномальный круговорот сахаров в растении: возникающие в процессе фотосинтеза углеводы сначала транспортируются в корень, а потом возвращаются обратно в лист, т. к. без фосфора в корнях не происходит гликолиз. Фосфорная недостаточность у растений особенно остро проявляется при холодной дождливой погоде.

Калий является столь же незаменимым элементом в жизни растений, как азот и фосфор, причем из всех катионов калий необходим растениям в наибольшем количестве. Содержание этого элемента в растениях колеблется

в пределах 0,5–3,5 % сухой массы. Калий поглощается корнями в форме катиона K^+ и остается в растении как свободный заряженный ион, образуя лишь слабые связи с протоплазмой. Примерно 79 % этого элемента в виде ионов находится в клеточном соке, 20 % – в цитоплазме и лишь 1 % – в необменно-поглощенном состоянии коллоидами клетки. В тканях растений образуется особый класс циклических пептидов – дипсипептиды, которые способствуют проницаемости клеточных мембран для калия. С дипсипептидом калий может комплексоваться, легко преодолевать мембранный барьер и поступать в клетку против градиента концентрации. Этим объясняется превышение содержания калия в растениях над его количеством в почвенном растворе.

А.И. Перельман (1972), используя показатели биофильности – отношение среднего содержания элемента в живом веществе к среднему содержанию его в литосфере, объединил все химические элементы в так называемый ряд биофильности: N – 106; S – 1; B – 0,83; P – 0,75; Ca – 0,17; K – 0,12; Mo – 0,09; Mg – 0,02; Co – 0,01; Zn – 0,006; Cu – 0,004; Fe – 0,002. Согласно предложенной им классификации, первые места в этом ряду, как биофильные занимают азот, сера, бор, фосфор и кальций. Калий наряду с такими элементами, как молибден, магний, кобальт, цинк, медь и железо, относится к группе среднего и интенсивного биологического накопления. По мнению В.Б.Ильина (1982), суждение о биофильности химических элементов более верно при сопоставлении их концентраций в растительной ткани. В этом случае последовательное, в порядке убывания, расположение концентраций образует следующий ряд биофильности элементов: калий – азот – кальций – магний – фосфор.

Источником калия для растений являются, прежде всего, водорастворимые и обменно-поглощенные формы элемента. В растительных клетках калий высокоподвижен и легко реутилизируется. В растениях этот элемент в основном сосредоточен в молодых растущих тканях, характеризующихся высоким уровнем обмена веществ: меристемах, камбии, молодых листьях, побегах, почках. Передвижению калия из старых листьев в молодые способствует натрий, который может замещать его в тканях растений, завершивших свой рост.

Калиевые насосы – главный механизм устьичных движений. Устьица открывается и закрывается при изменении тургора, вызванного интенсивным транспортом ионов калия между замыкающими клетками устьиц и примыкающими к ним клетками эпидермиса. Когда устьица открыты, замыкающие клетки содержат больше ионов калия.

Величины корневого давления и осмотического потенциала ксилемного сока зависят от концентрации ионов калия. Следовательно, для поступления воды растению нужно поглотить значительное количество калия.

Калий играет в клетке регуляторную роль, изменяя конформацию белковых молекул в мембране и белков-ферментов. Он служит основным противоионом для нейтрализации отрицательных зарядов неорганических и органических анионов. Именно присутствие калия в значительной степени определяет коллоидно-химические свойства цитоплазмы, что существенно влияет на все физиолого-биохимические процессы, происходящие в клетке. Он способствует поддержанию состояния гидратации коллоидов цитоплазмы, регулируя ее водоудерживающую способность. Калий стимулирует процесс фотосинтеза, усиливая отток углеводов из мест их образования к местам отложения и превращения моносахаров в ди- и полисахариды. Не входя непосредственно в состав

ферментов, этот элемент активирует их работу. Калий необходим для включения фосфора в органические соединения, реакций переноса фосфорных групп, синтеза белков и полисахаридов. Он участвует в синтезе рибофлавина, стимулирует ряд ферментов цикла Кребса. Многие ферменты, участвующие в синтезе белка, также требуют его присутствия. Калий способствует лучшему использованию железа при синтезе хлорофилла, снижает транспирацию, тем самым поддерживая тургорное состояние клеток. Он влияет на образование клеточных оболочек, в результате чего повышается прочность стеблей и их устойчивость к полеганию. При достаточном обеспечении калием у растений повышается устойчивость к болезням и вредителям. Этот элемент является стабилизатором урожая. В тех регионах, где метеорологические условия подвержены значительным изменениям по годам, обильное удобрение калием способствует меньшей зависимости урожая от погоды.

Критический период в потребности калия приходится на ранние стадии роста и развития растений. Наибольшее же его количество поглощается в период интенсивного нарастания вегетативной массы. Калий присутствует в почве в больших количествах, однако, получение высоких урожаев невозможно без дополнительного внесения калийных удобрений.

При недостатке калия резко снижается содержание макроэргических соединений, подавляется синтез сахарозы и ее транспорт по флоэме, замедляется синтез белка. Последнее приводит к торможению роста побегов и к накоплению аммиачного азота в листьях, что может быть причиной аммиачного отравления. При дефиците калия снижается функционирование камбия, нарушаются процессы деления и растяжения клеток, а также развития сосудистых тканей и уменьшается толщина клеточных оболочек у эпидермиса. Недостаток калия снижает интенсивность фотосинтеза из-за уменьшения скорости оттока ассимилятов из листьев. При исключении калия из питательной смеси в хлоропластах не образуются тилакоиды, приостанавливается рост растений, и они погибают. При значительном недостатке калия листья желтеют с краев. В дальнейшем их края и верхушки приобретают бурю окраску, иногда с красными «ржавыми» пятнами, а затем происходит отмирание и разрушение этих участков. Листья при этом выглядят как бы обожженными (краевой ожог листа).

Избыток калия в почве препятствует поглощению растениями ионов кальция и магния.

Кремний необходим для роста и развития растений. Среднее содержание его в растениях составляет 0,5 % и изменяется в диапазоне от 0,2 до 20 % сухой массы. Растения поглощают этот элемент в виде иона силиката и в форме монокремниевой кислоты. Поступивший в растения кремний в форме монокремниевой кислоты аккумулируется и полимеризуется либо в эпидермальных тканях, образуя двойной кутикулярный слой, либо трансформируется в различные виды фитолитов. Кремний используется растениями для построения клеточных стенок, формирования прочных тканей и скелета. Особенно много его в клеточных стенках. Поглощение кремния растениями селективно и не зависит от транспирационного тока, но связано с аэробным дыханием и процессами гликолиза в корнях. В растениях этот элемент присутствует в трех формах: ионной, коллоидной, труднорастворимой. При этом на долю труднорастворимого кремния приходится 90 % от общего его количества в растении. Содержание ионного кремния в зависимости от культуры колеблется от 0,5 до 8 %. Колло-

идная кремниевая кислота в растении может составлять до 2 % массы сухого вещества. У ряда растений этот элемент находится в виде биогенного опала.

Кремнию принадлежит важная роль в обмене веществ. Наряду с фосфором он является основой биосинтеза макроэргических соединений. Кремний входит в состав макроэргических силикатофосфатов, что обуславливает большую эффективность биоэнергетики кремнефильных растений. Этот элемент может входить в состав нуклеотидов и тем самым образовывать в скелете нуклеиновых кислот сахаросиликатные участки, придавая им повышенную прочность. В растениях функционирует специфический фермент силикатаза, осуществляющий включение неорганического кремния в органические соединения. Кремний влияет на активность нитратредуктазы, пероксидазы, инвертазы и фосфатазы.

Оптимизация кремниевого питания растений приводит к увеличению массы корней, их объема, общей адсорбирующей и активно поглощающей поверхности. Кремний стимулирует дыхание корней, в результате чего создаются благоприятные условия для поглощения растениями элементов минерального питания из почвы. Под его воздействием у растений увеличивается количество вторичных корешков, что создает благоприятные условия для поглощения воды и элементов минерального питания. Кремний является одним из основных компонентов коронарных клеток корневого чехлика. Он способствует реализации функций корневого чехлика: а) предохранение растущей зоны, в первую очередь апикальной меристемы, от повреждения при соприкосновении с почвой; б) облегчение продвижения кончика корня в почве; в) восприятие геотропического стимула, обеспечивающее правильную ориентацию корней в пространстве.

Хорошая обеспеченность растений кремнием приводит к увеличению площади листьев и создает благоприятные условия для биосинтеза необходимого количества фотосинтетических пигментов. У таких растений эффективнее работают светособирающие комплексы, расположенные в тилакоидах хлоропластов, что приводит к усилению интенсивности фотосинтеза. Кремний влияет на механическую прочность тканей, что препятствует полеганию растений и способствует выпрямлению листьев. Вследствие этого растения и отдельные листья не затеняют друг друга, снижается их конкуренция за свет и возрастает продуктивность фотосинтеза. Таким образом, существует связь между обеспеченностью растений кремнием и его фотосинтетической деятельностью.

Кремний повышает устойчивость растений к полеганию и засолению, частично нейтрализует токсическое действие тяжелых элементов, повышает доступность фосфатов почвы и удобрений. Под воздействием этого элемента повышается стойкость растений к болезням и повреждению насекомыми. Кремний, локализуясь под кутикулой в виде тонкого слоя кремний-целлюлозной мембраны, предохраняет растение от излишнего испарения, тем самым снижает интенсивность транспирации. Кроме того, усвоение кремния сопряжено с поглощением натрия и калия. Поэтому в условиях почвенного засоления растения способны накапливать повышенные количества кремния, что, в свою очередь, увеличивает устойчивость их к засолению.

Недостаток кремния задерживает рост растений и повышает их восприимчивость к болезням и вредителям. Исключение его из питательной среды в период репродуктивной стадии развития вызывает уменьшение урожая и ухудшение качества продукции. При отсутствии в питательной среде кремния нарушается ультраструктура и функции клеточных органелл, что приводит к гибели растения.

5.2.3 Мезоэлементы

Сера. Содержание серы в растениях составляет 0,005–1 % сухой массы. В растения она поступает через корни в форме иона SO_4^{2-} , а также поглощается листьями из атмосферы в виде SO_2 . Трансмембранный перенос сульфата осуществляется в котранспорте с ионом H^+ или в обмен на ионы HCO_3^- . Источником серы для питания растений являются сульфаты кальция, магния, калия, а на солонцах и сульфаты натрия. В растениях этот элемент содержится в окисленной и восстановленной формах. Содержание и соотношение этих форм в растениях зависят как от активности процессов редукции и ассимиляции сульфата, так и от концентрации SO_4^{2-} в питательной среде. Окисленная форма серы – исходный продукт для синтеза белков. Она же является и конечным продуктом при их распаде. В молодых активно растущих органах растений, где преобладают синтетические процессы, сера находится преимущественно в восстановленной форме – в составе сульфгидрильных групп и дисульфидных связей. По мере завершения онтогенеза растений, когда начинают преобладать процессы гидролиза над синтезом, в них возрастает количество окисленных соединений серы.

Сера является составной частью трех важнейших аминокислот – цистина, цистеина и метионина, которые могут находиться в растениях как в свободном виде, так и в составе белков. Протеин хлоропластов и цитоплазмы богат серой, что определяет ее непосредственное участие в фотосинтезе. Входя в состав биотина, тиамина, коэнзима А, глутатиона и других коферментов, сера принимает участие в аэробной фазе дыхания и синтезе жиров. Серосодержащая пара цистин-цистеин, а также присутствующий в любой клетке олигопептид-глутатион, имеющий группу SH , участвуют в окислительно-восстановительных процессах, происходящих в растительном организме. Коферменты НАД, НАДФ, ФАД, присоединяясь через сульфгидрильную группу к белкам, выполняющим роль ферментов, участвуют в процессах, связанных с отщеплением и передачей ионов водорода. Через тиофильную связь ($\text{C}\sim\text{S}\text{--}\text{C}$) в коферменте тиаминпирофосфате сера усиливает процесс дыхания. Входя в состав ферредоксинов, этот элемент контролирует обмен негеминового железа. Наконец, сера в виде аниона SO_4^{2-} участвует в общих процессах ионного равновесия в клетках растений. Эти редокс-системы могут связывать или освобождать атомы водорода в зависимости от преобладающих условий в клетке.

Недостаточное снабжение растений серой тормозит синтез серосодержащих аминокислот и белков, снижает фотосинтез и подавляет рост растений, особенно надземных органов. При серном голодании у растений нарушается формирование хлоропластов и возможен их распад. Внешнее проявление серного голодания напоминает недостаток азота: листья растений становятся светло-зелеными, а позднее желтыми, частично с красным оттенком. Однако, если недостаток азота сначала проявляется на старых листьях, то признаки серного голодания – на молодых; стебли становятся тонкими, одревесневшими, жесткими и хрупкими. Это показывает, что отток серы из более старых листьев не может компенсировать недостаточное снабжение ею растений через корни. Поскольку сера входит в состав витамина **В₁** (тиамина), сильно влияющего на рост корней, то при ее недостатке быстро снижается интенсивность роста корней.

Кальций. Содержание кальция в растениях составляет 0,05–0,5 % в расчете на сухую массу. В растениях этот элемент находится как в свободном, так и в адсорбированном состоянии в виде различных солей, которые сосредотачивают-

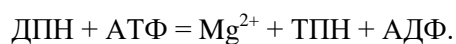
ся в вакуолях или в клеточных стенках в форме фосфатов кальция, карбонатов и особенно оксалата кальция. Источником для питания растений служат карбонаты, сульфаты, хлориды, нитраты и другие неорганические соли кальция, а также гумат кальция. Поступает он в растение в форме катиона Ca^{2+} с транспирационным потоком. Этот элемент необходим растению уже в фазе прорастания семян. Роль кальция в развитии растения многосторонняя. Он входит в состав ядра, митохондрий, рибосом, пластид, цитоплазмы, клеточной стенки и других органоидов и включений клетки и необходим для поддержания их структуры. Кальций входит в состав клеточных мембран, соединяя отрицательно заряженные «головки» фосфо- и гликолипидных молекул с отрицательно заряженными радикалами белковых глобул. Так, кальций стабилизирует структуру мембран, поэтому его присутствие необходимо для их нормального функционирования. При выращивании растений в среде с недостатком кальция увеличивается проницаемость мембран, и они перестают быть барьером, препятствующим свободной диффузии ионов. Кальций является также составной частью пектиновых веществ, соединяющих стенки клеток друг с другом, без него не образуется плазмалемма. Кальций усиливает обмен веществ, играет важную роль в фотосинтезе и передвижении углеводов, в процессах усвоения азота растениями, ускоряет распад запасных белков семени при прорастании. Он регулирует кислотно-щелочное равновесие в клетке, изменяет коллоидное состояние цитоплазмы, увеличивая вязкость и снижая оводненность.

Кальций принимает участие в поддержании структуры хромосом, являясь связующим звеном между ДНК и белком. Будучи вторичным мессенджером, кальций участвует в передаче сигнала, полученного клеткой, к геному. В результате активируются многие ферменты – дегидрогеназы, амилазы, фосфатазы, киназы, липазы. Его действие основано на участии в образовании четвертичной структуры белка, создании мостиков в фермент-субстратных комплексах, влиянии на состояние аллостерических центров. Регулирующее влияние кальция на обмен веществ зависит также от его взаимодействия с кальциевым внутриклеточным рецептором – белком кальмодулином. Комплекс кальций-кальмодулин активирует протеинкиназы, транспортную Са-АТФ-азу, АТФ-азу актомиозина, фосфодиэстеразу и другие ферментные системы клетки. С участием кальцийсодержащего фермента – кальмодулина регулируется концентрация внутриклеточного кальция. Кроме того, комплекс Са-кальмодулин контролирует сборку микротрубочек ахроматинового веретена, образование цитоскелета клетки и формирование клеточной стенки. Влиянием ионов кальция на сборку-разборку элементов цитоскелета объясняется его необходимостью для нормального течения митоза. Кальций участвует в слиянии везикул аппарата Гольджи при формировании фрагмопласта (характерная фигура [структур] в экваториальной плоскости делящейся клетки, образуемая остатками соединительных тканей митотического веретена между двумя ядрами в телофазе митоза. Кальций является основой формирования клеточной стенки между дочерними клетками) и новой клеточной стенки. За кальцием признают функцию обезвреживания в растениях щавелевой кислоты. Велика роль этого элемента как антагониста других катионов. Задерживая избыточное поступление в клетку одних элементов, он в то же время стимулирует поглощение других.

Кальцию принадлежит важная роль в восстановлении и поддержании уравновешенности почвенного раствора, чем обеспечивается нормальное по-

ступление элементов минерального питания в корневую систему. При недостатке кальция, в первую очередь, страдают молодые меристематические ткани и корневая система растения. У делящихся клеток не образуются новые клеточные стенки и в результате возникают многоядерные клетки. Недостаток кальция приводит к набуханию пектиновых веществ, что вызывает ослизнение клеточных стенок и разрушение клеток. В результате корни, листья и отдельные участки стебля загнивают и отмирают. У растений, испытывающих кальциевое голодание, снижается устойчивость к неблагоприятным условиям внешней среды. Недостаток этого элемента при возделывании сельскохозяйственных культур чаще может наблюдаться на солонцеватых почвах и почвах легкого гранулометрического состава.

Магний. Общее содержание магния в растениях в расчете на сухую массу составляет 0,05–0,5 %. Содержится он в клетке в виде свободных или адсорбированных ионов, а также в хелатной форме. Всего в прочносвязанном состоянии может находиться до 50 % элемента. Роль магния в питании растений определяется, в первую очередь, его присутствием в составе молекулы хлорофилла в количестве около 3 % от массы. Магний находится также в составе основного фосфорсодержащего запасного органического соединения – фитина, обнаружен в пектиновых веществах. Немного магния содержится в клеточном соке. Он является структурообразователем, входя в состав оргanelл клеток и клеточных стенок. Магний поддерживает структуру мембран, соединяя, как и ионы кальция, отрицательно заряженные белковые молекулы с «головками» мембранных липидов. Этот элемент выполняет важную функциональную роль в составе большого числа ферментов. Магний активирует рибулезодифосфат карбоксилазу, фосфокиназу, АТФ-азу, енолазу, ферменты цикла Кребса, пентозофосфатного пути, спиртового и молочного брожения и целый ряд других ферментативных систем. Он также активирует ДНК- и РНК-полимеразы и процессы транспорта электронов при фосфорилировании. Как основной атом молекулы хлорофилла, магний играет решающую роль в фотосинтезе и не может быть заменен никаким другим элементом. Он необходим для синтеза каротиноидов и протопорфирина IX – непосредственного предшественника хлорофилла. Этот элемент принимает участие в реакции фотохимического разложения воды при фотосинтезе с выделением кислорода и переводом водорода к акцептору – трифосфопиридиннуклеотиду (ТПН), который образуется при участии аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Магний катализирует образование АТФ, способствуя сохранению энергии, и активизирует киназу дифосфопиридиннуклеотида (ДПН), участвуя, таким образом, в образовании акцептора водорода:



Помимо всего этого, магний регулирует перенос поглощенной энергии между фотосистемами I и II. Этот элемент участвует в создании необходимого ионного равновесия в цитоплазме, обеспечивающего функционирование коллоидов клетки. Магний – необходимый элемент в процессах трансформации фосфорных соединений, тесно связанных с дыханием и энергетическими преобразованиями. Он поддерживает структуру рибосом, связывая РНК и белок. Большая и малая субъединицы рибосом ассоциируются вместе лишь в присутствии магния, поэтому синтез белка не идет при недостатке магния, а

тем более в его отсутствие. Без магния не могут образовываться и функционировать митохондрии. При его недостатке накапливаются моносахариды, тормозится превращение их в полисахариды, слабо функционирует аппарат синтеза белка, рибосомы диссоциируют на субъединицы, нарушается процесс формирования пластид. При недостатке магния увеличивается активность пероксидазы, усиливаются процессы окисления в растениях, а содержание аскорбиновой кислоты и инвертного сахара снижаются.

Магниевое голодание приводит к изменению окраски листьев: она становится более светлой, даже желтоватой, при этом жилки остаются зелеными, а поверхность листа между ними светлеет. Постепенно пожелтевшая часть листа буреет и ткань отмирает. Признаки магниевого голодания проявляются прежде всего на старых листьях растений. Острый дефицит магния вызывает «мраморность» листьев, их скручивание и пожелтение. Недостаток этого элемента, как правило, может наблюдаться на солонцеватых почвах, переудобренных калием или аммонийными формами азота, а также почвах легкого гранулометрического состава, которые слабо удерживают соли магния и легче теряют их с фильтрационными водами. Поглощение магния растениями зависит и от концентрации иона Ca^{2+} в почвенном растворе. Растения могут страдать от недостатка магния даже при высоком содержании его в почве, если отношение $\text{Ca}:\text{Mg}$ в почвенном растворе больше 11. При недостатке магния он накапливается в основном в репродуктивных органах. Дефицит магния усиливает окислительные процессы в растениях, что обуславливает меньшее образование женских цветков у раздельнополых растений. У растений, испытывающих недостаток магния, задерживается цветение, а сами цветки менее интенсивно окрашены.

Железо. Содержание железа в растениях составляет 0,01–0,08 % сухого вещества. Поступает оно в растение в виде ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} , а также в незначительных количествах в форме молекул хелатных соединений. Лишь небольшая часть поглощенных растением ионов железа остается в растворенной или связанной форме. Основное количество этого элемента сосредотачивается в белке хлоропластов. В растительном организме участие железа в процессах обмена веществ чрезвычайно обширно и отражается на активности и характере метаболизма потребляемых растением элементов питания. Железо входит в состав цитохромов – переносчиков электронов, участвующих в процессе дыхания, а также окислительных ферментов цитохромоксидазы, пероксидазы и каталазы. Во всех этих ферментах железо присутствует в простетической группе в виде гема, в котором центральный атом железа связан с четырьмя пиррольными кольцами, соединенными в большую циклическую структуру. В таких ферментах железо функционирует благодаря своей способности обратимо окисляться и восстанавливаться ($\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$). Аналогичным образом может действовать и негеминовое железо. Железо является составной частью ферредоксина – соединения, функционирующего в качестве переносчика электронов в процессе фотосинтеза. В отличие от цитохромов, ферредоксин содержит железо, лабильно связанное с серой по типу сульфида. С помощью ферредоксина осуществляется фосфорилирование, при котором энергия света превращается в химическую, накапливаемую в АТФ и НАДФН. Железо является составной частью ферментов, катализирующих синтез предшественников хлорофилла – протопорфиринов, аминолевулиновой кислоты. Предполагают, что железо участвует в образовании белков хлоропластов. Оно входит в состав лег-

гемоглобина – железосодержащего белка корневых клубеньков бобовых растений, фиксирующего атмосферный азот. Негеминовое железо обнаружено в составе активного центра фермента нитрогеназы, катализирующего азотфиксацию в бактериоидах корневых клубеньков.

Растения могут включать железо в негеминовой форме в запасные вещества. В частности, оно обнаружено в ферритине, который находится в хлоропластах и представляет собой железосодержащий белок. Основное назначение ферритина – снабжение клетки железом.

Недостаток железа тормозит два важнейших процесса энергообмена растения – фотосинтез и дыхание, и вызывает глубокий хлороз развивающихся листьев. При остром дефиците железа листья могут стать белыми. Дефицит железа является проблемой для многих сельскохозяйственных культур, поскольку большая часть окультуренных почв отличается низким содержанием доступных для роста растений форм этого элемента. В то же время растения могут страдать от избытка железа в питательной среде. На почве, обогащенной растворимыми формами железа, чрезмерное его поглощение может привести к токсическому воздействию на растения. Наиболее вероятно это имеет место на кислых сульфатных, пойменных почвах, сильнокислых почвах – ульτισолях, оксисолях. Критический уровень железной недостаточности, оптимум и уровень токсической концентрации для большинства растений находится соответственно в пределах значений: 10–115, 30–250 и 250–500 мг/кг сухой массы.

Натрий. Среднее содержание натрия в растениях 0,02 % сухой массы, а обычный диапазон концентраций его колеблется от 0,008 до 2,5 %. В растениях натрий поступает в виде катиона Na^+ . Для большого числа растений отмечено весьма неравномерное распределение этого элемента по отдельным тканям и органам. Как правило, избыток поглощенного натрия аккумулируется в корнях, тогда как в побегах, особенно в листьях и генеративных органах, содержание его длительное время сохраняется практически неизменным. Натрия много в растениях-галофитах, растущих на засоленных почвах. У этих растений он играет важную роль в поддержании кислотно-щелочного равновесия, регулирует осмотическое давление и влияет на содержание воды в тканях. Натрий выполняет роль кофактора в процессах фотофосфорилирования, тем самым способствует повышению интенсивности и чистой продуктивности фотосинтеза. Положительное влияние натрия на жизнедеятельность растений в основном зависит от их биологических особенностей и обеспеченности калием. Различают четыре группы растений: 1) растения, требующие натрия при недостатке калия в почвенном растворе (люцерна, ячмень, овес, томаты, капуста брюссельская, морковь); 2) растения, испытывающие малую потребность в натрии при недостатке калия в почвенном растворе (кукуруза, клевер красный, латук, лук, картофель); 3) растения, испытывающие небольшую потребность в натрии при достаточном количестве калия (горох, пшеница, крестоцветные); 4) растения, сильно нуждающиеся в натрии при достаточном количестве калия (сельдерей, свекла, турнепс).

Предполагается существование в растительных клетках мембранной Na, K-ATP-азы и участие натрия в работе ионных насосов. У натриефильных растений этот элемент усиливает отток углеводов из листьев в генеративные органы. При повышенном содержании в питательной среде нитратов растения испытывают большую потребность в натрии. При его недостатке в растениях накапливаются нитраты.

Натрий оказывает положительное влияние на активность фермента нитратредуктазы. Недостаток этого элемента ограничивает фиксацию атмосферного азота свободноживущими почвенными микроорганизмами и клубеньковыми бактериями бобовых культур. В незначительных концентрациях он может оказать положительное воздействие на почву. Например, натрий может вытеснить из почвенного поглощающего комплекса калий и другие необходимые элементы и делать их более доступными для питания растений, тем самым оказывая на растения опосредованное положительное влияние. Однако излишнее количество натрия в почве приводит к образованию вредной для растений соды и ухудшению физических свойств почв.

Хлор. Среднее содержание хлора в растениях составляет 0,01 % сухой массы. Источником доступного растениям хлора в почве могут быть осадки, морские брызги, почвенные минералы, удобрения и растительные остатки. Этот элемент поступает в растение с транспирационным током в виде ионов и сосредотачивается, главным образом, в клеточном соке. Хлор в организме растений не встречается в каких-либо прочных соединениях, а находится в ионной форме, и только небольшая часть этого элемента находится в непрочной адсорбированной связи с протоплазмой клетки. Хлор положительно влияет на водность тканей и набухаемость протоплазмы клеток. Перемещаясь вместе с калием, он поддерживает в клетках электронейтральность. Хлор участвует в регуляции тургора в тех случаях, когда он доступен, но не является абсолютно необходимым для этого процесса. В процессе фотосинтеза хлор воздействует на активность ферментов, причастных к фотолизу. Он участвует в энергетическом обмене у растений, активизируя как окислительное фосфорилирование, так и фотофосфорилирование. Хлор необходим для активации и выделения кислорода в процессе фотосинтеза изолированными хлоропластами. В пользу участия этого элемента в фотосинтезе свидетельствует также факт его необходимости при автотрофном питании хлореллы и почти полной ненужности при гетеротрофном. Хлор положительно влияет на поглощение кислорода корнями, что важно для нормального хода процессов окисления углеводов при дыхании. Имеются данные в пользу причастности хлора к азотному обмену растений; под влиянием хлорид-анионов ускоряется включение минеральных форм азота в органические соединения и биосинтез аминокислот.

Признаком дефицита хлора является хлороз листьев, но он заметен только в строго контролируемых опытных условиях с водными культурами. Капуста, свекла, морковь, салат, помидоры не могут нормально развиваться при полном исключении хлора из питания. Однако в практике чаще приходится сталкиваться с избытком хлора, особенно в засушливых условиях. К хлорофобным растениям, отрицательно реагирующим на повышение концентрации в почвенном растворе хлора, относятся земляника, картофель, крыжовник, помидоры, смородина и фасоль. При его избытке наблюдается хлорный токсикоз, который у чувствительных к этому элементу культур вызывает ожог листьев. Избыток хлора нарушает обмен веществ в растениях, в частности, ухудшает углеводный обмен, тормозя превращение простых углеводов в ди- и полисахариды, о чем свидетельствуют повышение содержания моносахаридов и низкий уровень сахарозы в листьях. Повышенное поступление хлора в растение снижает содержание белкового азота в листьях. Его избыток, наряду с угнетением синтеза белков, тормозит и образование аминокис-

лот. В условиях повышенной концентрации хлора в питательной среде у растений возрастает интенсивность дыхания, что отрицательно сказывается на их жизнедеятельности, поскольку способствует большему расходу органического вещества при пониженном уровне фотосинтеза.

Алюминий. Среднее содержание алюминия в растениях 0,02 % сухой массы. Поступает он в растения в виде ионов. Поглощение алюминия из почвенного раствора корнями проходит в два этапа: в начале происходит накопление ионов алюминия в свободном пространстве корня, затем – внутри клеток. Поступая с свободное пространство, алюминий активно взаимодействует с клеточными стенками, поверхностью протопластов, осаждается в виде гидроокиси или фосфатов. Часть ионов, преодолев мембранный барьер, поступает внутрь клетки. Это приводит к их взаимодействию непосредственно с протоплазмой, накоплению в ядрах и митохондриях.

Алюминий – необходимый элемент для растений, нужный в очень малых количествах, выше которых он ядовит. В пользу необходимости его говорят следующие факты. Алюминий, хотя и не входит в состав аскорбиноксидазы, является специфическим активатором этого фермента. Обнаружено, что этот элемент – специфический активатор сукцинатдегидрогеназы и пектинполигалактуроназы, и наряду с медью и железом активирует деятельность пиридоксальных ферментов. Алюминий обнаружен в высокоочищенных препаратах РНК, ДНК и в фитохроме. Это указывает на возможность участия его в сохранении необходимой конфигурации молекул нуклеиновых кислот. Концентрации алюминия в почвенном растворе порядка $1 \cdot 10^{-4}$ М стимулируют рост корней и надземных органов, оказывают положительное влияние на размеры ассимиляционного аппарата и повышают интенсивность фотосинтеза. Алюминий, способствуя увеличению числа и размеров клубеньков, оказывает положительное влияние на симбиотическую азотфиксацию бобовыми культурами. Особенно велико его значение в обмене веществ у гидрофитов. У представителей этой группы растений алюминий стимулирует завязывание семян. При отсутствии этого элемента в питательной среде поры папоротника не способны образовывать нормальный гаметофит. Больше всего в нем нуждаются растения – аккумуляторы алюминия. При недостатке алюминия у отдельных растений наблюдается хлороз листьев. Это особенно ярко проявляется у чая. Однако высокие концентрации этого элемента в питательной среде токсичны для всех без исключения растений. При поглощении растениями больших количеств алюминия он связывается с фосфором, что в итоге приводит к фосфорному голоданию.

5.2.4 Микроэлементы

Бор. Содержание бора в растениях составляет 1–20 мг/кг сухого вещества. Поступает он в растения в форме аниона. Поглощение бора возможно как в результате пассивного диффузного поступления в корни, так и под метаболическим контролем. Перемещение его из корней в надземные органы совершается исключительно пассивно вместе с транспирационным потоком.

Бор, благодаря особому строению электронной оболочки атома, может легко вступать в соединения почти со всеми химическими элементами, вследствие чего он участвует в образовании и поддержании структуры межмолекулярных и надмолекулярных комплексов биополимеров, прежде всего, белков, нуклеиновых кислот, липидов и полисахаридов. Комплексы перечис-

ленных биополимеров лежат в основе важнейших компонентов клетки – рибосом, мембранного аппарата, хроматина и клеточных стенок. О значении бора в формировании клеточных стенок растений свидетельствует содержание ксилозы и арабинозы – составных компонентов гемицеллюлоз в проводящей системе, только у растений, получивших дополнительно бор. Бор в растениях образует комплексы с такими органическими соединениями, как *d*-фруктоза, α -галактоза, α - и *d*-глюкоза, глицерин, α -маннит, пиридоксин и салициловая кислота. Этот элемент легко взаимодействует с метиловым спиртом – одним из компонентов пектиновых веществ.

Функции бора в растительном организме, прежде всего, связаны с метаболизмом углеводов; переносом сахаров через мембраны; синтезом ДНК, РНК и фитогормонов; образованием клеточных стенок и развитием тканей. Образование комплексов бора с углеводами влияет на направление расположения мицелл целлюлозы в клеточной стенке, что увеличивает его эластичность. Его роль особенно существенна в переносе сахаров через мембраны, поскольку боратнополисахаридный комплекс более подвижен, нежели полярные молекулы сахаров. Значительное влияние бор оказывает на фотосинтетическую деятельность растений: способствует увеличению количества и размеров хлоропластов, содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях, интенсивности фотосинтеза в утренние и вечерние часы и снижению полуденной его депрессии, что связано с повышением водоудерживающей силы клеток. Бор принимает участие в процессах оплодотворения и плодоношения: необходим для формирования жизнеспособной пыльцы и способствует быстрому ее прорастанию и росту пыльцевых трубок. Важная роль этому элементу отводится в фенольном обмене. Бор, как хороший комплексообразователь, связывает фенол в нетоксичное соединение. Этот элемент не входит в состав ферментов, но благодаря способности образовывать комплексы с полигидроксильными соединениями, влияет на скорость и направленность ферментативных реакций. В частности, бор воздействует на активность каталазы, инвертазы, оксидазы индолилуксусной кислоты, пероксидазы, полифенолоксидазы, пектазы и глюкозидазы. Бор стимулирует образование клубеньков на корнях бобовых растений. Под его воздействием повышается фиксация атмосферного азота этими растениями.

При недостатке бора нарушаются синтез нуклеиновых кислот, а также образование, превращение и транспорт углеводов, формирование репродуктивных органов, происходят гибель меристематических клеток и деградация проводящей системы растений. Бор не может реутилизироваться, т. к. он не поступает из старых органов растения в молодые.

Характерным признаком борного голодания является появление черных некротических пятен на молодых листьях и верхушечных почках. У растений, испытывающих недостаток бора, накапливаются кофейная и хлорогеновая кислоты, ингибирующие рост; клетки плохо дифференцируются, нарушается развитие проводящей системы, листья становятся тонкими, цветки не образуются. В ситовидных трубках коагулирует цитоплазма, поэтому отток сахаров по флоэме резко тормозится, и они накапливаются в листьях. При недостатке бора искривляются и сжимаются сосуды, что нарушает транспорт воды и элементов минерального питания в клетки роста. Недостаток углеводов, воды и минеральных солей вызывает отмирание точек роста

стеблей и корней. У растений, испытывающих недостаток бора, корни плохо снабжаются кислородом, снижается иммунитет.

Симптомы борного голодания для отдельных сельскохозяйственных культур следующие: сахарная и кормовая свекла заболевают гнилью сердечка, столовая свекла – внутренней черной пятнистостью, у льна отмирает точка роста вследствие поражения его бактериозом, у подсолнечника наблюдается побурение верхушки и прекращение роста молодых листьев, у картофеля отмечается повышенная заболеваемость клубней поршой, у табака наблюдается усыхание верхушки, у плодовых культур под кожицей мелких плодов проявляются пробковые пятна, у косточковых плоды поражаются гуммозом и опробковением, у виноградных саженцев наблюдается некроз сосудов древесины. Эти болезни особенно проявляются в жаркие засушливые годы.

Кобальт. Содержание кобальта в растениях составляет 0,02–12 мг/кг сухой массы. Он поступает в растения в форме катиона, хелатных соединений и витамина **B₁₂**. В растительном организме 50 % кобальта находится в ионной форме, 20 % – в форме кобамидных соединений и в составе витамина **B₁₂**, 30 % приходится на неидентифицированные высокостабильные органические соединения. Кобальт в органическом комплексе – витамине **B₁₂** – в 100000 раз активнее неорганического кобальта.

Физиологическая роль кобальта в растениях, в первую очередь, связана с его участием в окислительно-восстановительных процессах, происходящих в клетке. Кобальт участвует в реакциях изомеризации. В частности, он катализирует превращение глутамина в метиласпарагиновую кислоту и метилмалонил-коэнзим. Кроме того, кобамидные коэнзимы принимают участие в миграции водородных радикалов в пределах пиррольных ядер и в реакциях внутримолекулярного переноса водорода при превращении диолов в альдегиды. В форме катиона кобальт катализирует окисление каротина, органических и ненасыщенных жирных кислот. Он участвует в таких ферментативных реакциях как карбоксилирование и декарбоксилирование, гидролиз пептидных связей и фосфорных эфиров, перенос фосфорных групп. Кобальт повышает активность ферментов фосфатазы, аргиназы, лецитиназы, аминоксипептидазы, нитратредуктазы, гидрогеназы, аскорбиноксидазы, каталазы и пероксидазы. Аргиназа, аминоксипептидаза, лецитиназа и нитратредуктаза относятся к ферментам азотного обмена, что предопределяет влияние кобальта на этот важнейший процесс метаболизма. Изменяя активность каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы и щелочной фосфатазы, он в определенной степени регулирует интенсивность дыхания растений. Кобальт, влияя на активность гидролитических ферментов протеазы и липазы, стимулирует физиолого-биохимические процессы в прорастающих семенах.

Установлено, что кобальт в определенной степени оказывает стимулирующее действие на ДНК, участвуя в процессах спирализации и деспирализации ее молекул. Одновременно этот элемент влияет на разрушение перекисей в процессе их формирования, активирует синтез рибонуклеиновых кислот в растениях и участвует в изменении проницаемости плазмалеммы, тем самым способствуя избирательному поглощению корневой системой ионов из внешней среды. Кобальт способствует насыщению листа хлоропластами. Он положительно влияет на содержание хлорофилла и повышает его устойчивость. Действие кобальта на накопление хлорофилла обусловлено положи-

тельным его влиянием на устойчивость хлорофилл-белково-липидного комплекса. Увеличивая количество хлорофилла и его фотосинтетическую активность, кобальт повышает в целом интенсивность фотосинтеза. Он способствует более интенсивному оттоку ассимилятов из листьев и проводящей системы в стебли, корни и репродуктивные органы. Кобальт оказывает положительное влияние на рост надземных органов и корневой системы растения. При этом он способствует более раннему цветению и сокращению продолжительности вегетационного периода растений. В основе механизма влияния кобальта на рост и развитие растений лежит его связь с гормональным балансом клетки, преимущественно в звене ауксин-этилен.

Кобальт способствует более интенсивному поглощению растениями азота, фосфора, калия и марганца. Необходимость кобальта для азотфиксации связана с положительным влиянием витамина B_{12} на количество и качество леггемоглобина, содержащегося в клубеньках бобовых растений. С помощью кобамидных коферментов в клубеньках активизируется биосинтез белковых соединений вообще и синтез азотфиксирующего фермента нитрогеназы в частности, что в итоге усиливает процесс азотфиксации. Усиление азотфиксации кобальтом может происходить и путем его положительного влияния на гидрогеназу. Она, как известно, является ферментом, осуществляющим активацию водорода. Кобальт играет важную роль в энергетическом обмене, под его влиянием возрастает количество АТФ.

При недостатке кобальта ослабляются физиолого-биохимические процессы и рост растений; снижается продуктивность и ухудшается качество урожая. Основные симптомы его недостатка у растений: слабый рост, межжилковый хлороз листьев, высокая стерильность цветков и низкая продуктивность растений. Симптомы недостатка кобальта у растений сходны с признаками азотного голодания. Внешние признаки кобальтовой недостаточности четко проявляются в основном у бобовых растений. При избытке кобальта в питательной среде рост корневой системы резко ограничивается, а листья становятся хлоротичными.

Марганец. Среднее содержание марганца в растениях составляет 0,001 % или 10 мг/кг сухой массы, а обычный диапазон концентраций его колеблется от 2 до 400 мг/кг. Марганец поступает в растения в форме катиона и аниона манганатов. Его передвижение по проводящим путям является активным процессом, т. к. по ксилемным элементам передвигается меньше марганца, нежели по флоэмным. В растениях этот элемент находится главным образом в виде свободных катионов, однако, возможны и его комплексные соединения с органическими молекулами.

Физиологическая роль марганца в жизни растений определяется в значительной степени его участием в деятельности ферментов. Этот элемент входит в состав активных групп ряда ферментов, катализирующих различные звенья обменных реакций в клетках растений, где он выполняет роль связующего звена между коферментом, пиррофосфатом и субстратом. Известно около 25 металлоферментных комплексов, активируемых марганцем. Этот элемент повышает активность окислительных ферментов аскорбино-ксидазы и пероксидазы; играет важную роль в активировании реакций цикла Кребса; участвует в реакциях дегидрогенизации и декарбоксилирования. Фосфорилирование сахаров и их последующее расщепление до пировиноградной кисло-

ты также не обходится без его участия. Велико значение марганца и для деятельности фермента малатдегидрогеназы, осуществляющего окисление яблочной кислоты до щавелевоуксусной, катализирующей выделение диоксида углерода из щавелевоуксусной кислоты с образованием пировиноградной. Марганец является также активатором декарбоксилазы щавелевоянтарной кислоты с образованием α -кетоглутаровой. Значительна потребность в нем дегидрогеназы изолимонной кислоты, участвующей в превращении изолимонной кислоты в щавелевоянтарную. К ферментам, зависящим в своем действии от марганца, относится декарбоксилаза пировиноградной кислоты, которая катализирует реакцию образования ацетальдегида при анаэробном дыхании. Марганец принимает участие в реакциях конденсации, в частности, превращении щавелевоуксусной кислоты в лимонную, изолимонной в щавелевоянтарную, α -кетоглутаровой в янтарную. Нуждаются в марганце и ферменты гликолитической фазы дыхания. Он непосредственно входит в состав аргиназы, фосфотрансферазы и гидроксилламинредуктазы.

Марганец является регулятором активности железа и способствует переходу закисного железа в окисное и обратно. Способствуя реоксидации активного двухвалентного железа в трехвалентное, марганец тем самым предохраняет клетку от отравления. Он принимает участие в процессе восстановления нитратов до аммиака. Этот элемент способен регулировать направленность окислительно-восстановительных процессов в растениях в зависимости от условий азотного питания: при аммиачном питании он действует как окислитель, при нитратном – как восстановитель. Марганец необходим для фотолиза воды и восстановления CO_2 при фотосинтезе. Этот элемент играет специфическую роль в поддержании структуры хлоропластов: в его отсутствие хлорофилл быстро разрушается на свету. Ионы марганца принимают активное участие в окислении продуктов карбоновых кислот и, как следствие, в процессе дыхания растений. Марганец усиливает гидролитические процессы, в результате чего возрастает количество аминокислот, способствует оттоку ассимилятов из листьев к корням, стеблям и репродуктивным органам. Наличие марганца является необходимым условием для образования аскорбиновой кислоты. Он выполняет ключевую функцию в биосинтезе и поддержании структуры ДНК в ядре, причастен и к биосинтезу РНК. Он активизирует влияние индолилуксусной кислоты на ростовые процессы за счет ослабления ингибирующего действия яблочной и янтарной кислот. Марганец, усиливая синтез аминокислот, полипептидов, белков и аскорбиновой кислоты, оказывает существенное влияние на азотный обмен растения. Данный элемент принимает участие в процессах как фотосинтетического фосфорилирования в хлоропластах, так и в окислительном фосфорилировании в митохондриях, являющихся одним из источников энергии для различных биосинтезов.

Определенное влияние марганец оказывает на поглощение и включение в обмен веществ элементов минерального питания. При исключении его из питательной среды в растениях возрастает содержание других элементов минерального питания, нарушается их соотношение. Характерный симптом марганцевого голодания растений – точечный хлороз листьев: между жилками появляются желтые пятна, позже в этих местах ткани отмирают. Избыточное поступление марганца также может вызвать хлороз старых листьев, у которых вокруг жилок образуются зеленовато-коричневые мелкие пятна.

Медь. Содержание меди в растениях составляет 2–20 мг/кг сухого вещества. Этот элемент поступает в растения в форме катиона или хелатных соединений. В растительном организме она присутствует в виде ионов и в составе комплексных органических соединений, доля последних составляет примерно 2/3 общего количества меди, содержащегося в растении. В организме растений медь, чаще всего, связана с митохондриями и играет существенную роль в биохимических процессах. Этот элемент непосредственно входит в состав фермента лакказы, катализирующего окисление гидрохинона и его производных. Свое название этот фермент получил вследствие того, что катализирует окисление ортодифенола лаккола, найденного в большом количестве в соке лаковых деревьев. Медь входит в состав ферментов аскорбиноксидазы, катализирующей окисление аскорбиновой кислоты, и полифенолоксидазы – фермента, участвующего в присоединении электрона к фенолам. Аскорбиноксидаза, полифенолоксидаза и лакказа осуществляют реакции окисления путем переноса электронов с субстрата к молекулярному кислороду, являющемуся акцептором электронов. Все три фермента участвуют в темновых реакциях фотосинтеза и реакциях дыхания, что определяет важное значение этих катализаторов для биосинтетических функций растения в целом. Физиологическая роль меди в значительной степени определяется также ее вхождением в состав урикооксидазы – фермента, производящего окисление мочевой кислоты. К медьсодержащим ферментам относится и тирозиназа – фермент, осуществляющий синтез пигмента меланина за счет окисления аминокислоты тирозина. Отсутствие данного фермента вызывает альбинизм – отсутствие у растений зеленой окраски. Помимо всего этого, медь входит и в состав низкомолекулярного белка пластоцианина. Последний осуществляет перенос электронов между ФС II и ФС I. В связи с этим медь имеет большое значение для фотосинтеза. Кроме того, медь повышает активность ферментов каталазы, нитратредуктазы, пероксидазы, карбоангидразы, гексокиназы, альдолазы, фосфорилазы и фосфоглюкомутаза. Благодаря способности меди переходить из двухвалентного состояния в одновалентное, она служит как донором, так и акцептором электронов и тем самым выполняет функции окислителя и восстановителя.

Около 75 % меди в листьях растений локализовано в хлоропластах. При этом более 20 % общего ее содержания в хлоропластах сосредоточено во фракции полярных липидов, то есть в веществах, принимающих участие в окислительно-восстановительных реакциях фотосинтеза. Медь положительно влияет на содержание в листьях хлорофиллов и каротиноидов. Следовательно, участвуя в построении и функционировании фотосинтетического аппарата и в первичных фотохимических реакциях, она способствует повышению интенсивности фотосинтеза.

Значительная роль принадлежит меди в азотном обмене растений. Она участвует в окислительном дезаминировании аминокислот. Доказана ее причастность к первичным звеньям усвоения минерального азота через регулирование деятельности ферментов нитрит- и нитратредуктазы, а также к биосинтезу аминокислот и синтезу белков через участие в нуклеиновом обмене.

Установлена роль меди и в фосфорном обмене. Этот элемент оказывает положительное действие на накопление фосфорных эфиров сахаров в растениях на начальных фазах их развития. Это является следствием положительного влияния микроэлемента на активность фосфорилазы. Медь способствует

более интенсивному включению минерального фосфора в органические соединения и синтезу фосфолипидов и нуклеотидов. Медь, изменяя активность и направленность ферментов фосфорного и углеводного обмена, оказывает положительное влияние на биосинтез углеводов и их передвижение; усиливая интенсивность дыхания и фотосинтеза растений, активизирует поступление питательных элементов через корневую систему. В частности, имеются данные о положительном влиянии ее на поступление азота, фосфора и калия. Особая роль принадлежит меди в фиксации атмосферного азота. Об участии микроэлемента в этом процессе свидетельствует ее положительное влияние на синтез леггемоглобина и содержание аспарагина в растениях. Последний, как известно, является тем соединением, в форме которого первоначально связывается фиксированный азот.

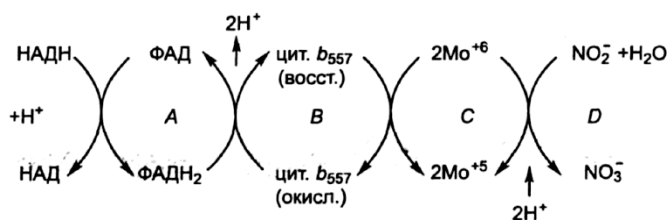
Необходимо отметить также участие меди в гормональной регуляции в растении. Медьсодержащий фермент полифенолоксидаза регулирует содержание и активность в растениях ауксинов и ингибиторов роста фенольной природы. Это лежит в основе способности меди повышать устойчивость растений к полеганию и неблагоприятным условиям среды.

При дефиците меди задерживается образование углеводов и белков и происходит торможение роста растений. Общий симптом дефицита – побеление самых молодых листьев и скручивание их с последующим увяданием и отмиранием. У зерновых культур наблюдается уродливость развития соцветия. Недостаток ее у плодовых деревьев проявляется в виде неравномерных некротических пятен на верхушечных листьях растущих побегов. У цитрусовых культур при медном голодании на плодах появляются темно-коричневые клейкие выделения. Часто клейкие натеки бывают и у молодых ветвей между корой и древесиной.

Растения также чувствительны к высоким концентрациям меди в питательной среде. Избыток элемента тормозит усвоение растениями фосфора и биосинтез его органических соединений, отрицательно влияет на фотохимическую активность хлоропластов и ослабляет интенсивность фотосинтеза, что особенно заметно в условиях высокой освещенности. При избыточном поступлении меди в растении нарушается механизм избирательного поглощения корневой системой ионов.

Молибден. Содержание молибдена в растениях составляет 0,2–2 мг/кг сухого вещества. Он поступает в растения в виде аниона молибдата или хелатных соединений и локализуется преимущественно во флоэме и васкулярной паренхиме. Его поглощение и транспорт являются активными энергозависимыми процессами, осуществляемыми против градиента концентрации. В отличие от других микроэлементов, молибден может накапливаться в растениях в довольно значительных количествах, не оказывая токсического действия. Молибден очень слабо реутилизируется. В растениях выделено три молибденсодержащих фермента: нитратредуктаза, ксантиндегидрогеназа и формиатдегидрогеназа.

Нитратредуктаза высших растений – это флавопротеид с молекулярной массой около 200–300 кДа, содержащий гем и молибден. Она представляет собой димер, т. е. состоит из двух полипептидных цепей (субъединиц), последовательно переносящих электрон от НАДН (или НАДФН) к NO_3^- . Роль молибдена в этом процессе иллюстрирует следующая схема:



Первая субъединица содержит в качестве простетической группы ФАД и катализирует перенос электрона от НАДН к гему, т. е. реакции *A* и *B*. Вторая субъединица, содержащая в качестве кофактора молибден, участвует в связывании нитрата и переносе на него электрона от гема, т. е. она катализирует реакции *C* и *D*. Молибден при этом изменяет свою валентность.

Помимо названных ферментов, молибден входит в состав нитрогеназы, принимающей активное участие в восстановлении молекулярного азота микроорганизмами. Кроме того, этот элемент оказывает положительное влияние на активность ферментов малатдегидрогеназы и сукцинатдегидрогеназы. Биохимические функции молибдена связаны с восстановлением нитратов до аммиака и биосинтезом аминокислот, фиксацией молекулярного азота свободноживущими микроорганизмами и клубеньковыми бактериями в симбиозе с бобовыми культурами, с биосинтезом нуклеиновых кислот и белков. Предполагается, что только в присутствии молибдена возможен разрыв тройных связей в молекуле азота. При нитратном питании растения испытывают большую потребность в молибдене, чем при аммонийном питании или использовании мочевины.

Исключительное действие молибден оказывает на образование и содержание аскорбиновой кислоты в растениях. Он, изменяя свою валентность, участвует в окислительно-восстановительных реакциях и является важным звеном в цепи переноса электронов от окисляемого субстрата к веществу, которое восстанавливается. Молибдат-ионы могут выступать в роли регуляторов химических реакций за счет изменения стехиометрии и окружения реагирующих молекул, вызванного локальными изменениями pH среды. Молибден оказывает ингибирующее воздействие на кислую фосфатазу, тем самым предохраняя фосфорилированные соединения от преждевременного гидролиза. Он выполняет защитную функцию в отношении токсического влияния на растения подвижного алюминия. Молибден усиливает поступление азота в растения и ускоряет синтез амидов, аминокислот и белков. Способствуя синтезу белков и повышая их устойчивость, он увеличивает содержание хлорофилла в листьях, тем самым усиливая интенсивность фотосинтеза. Молибден оказывает положительное влияние на морозостойкость и засухоустойчивость растений.

При недостатке молибдена в питательной среде происходят нарушения синтеза хлорофилла, задержка фотосинтеза и накопления нитратов. Растения при этом выглядят слаборазвитыми и имеют бледно-желтую окраску. Дефицит молибдена также ограничивает развитие клубеньков на корнях бобовых культур. Избыток молибдена оказывает неблагоприятное влияние на растения. Симптомы избытка молибдена у злаков: хлороз листьев, угнетение роста корней, слабое кущение.

Цинк. Содержание цинка в растениях составляет 15–60 мг/кг сухой массы. Этот элемент поступает в растения в форме катионов и хелатных соединений. Поглощение его корнями может быть пассивным и активным. Фи-

физиологическая роль цинка в жизнедеятельности растений в значительной степени определяется его присутствием в составе многих ферментов. Цинк входит в состав карбоангидразы и карбоксилазы, участвующих в процессе дыхания. Он активирует энлазу, под действием которой происходит образование фосфоэнолпирувата из фосфоглицериновой кислоты. Цинк входит в состав и активирует щавелевоуксусную дегидрогеназу, которая ответственна за образование пировиноградной кислоты и отщепление диоксида углерода от щавелевоуксусной кислоты. Поскольку пировиноградная кислота является основным звеном метаболизма в растительной клетке, то можно полагать, что цинк влияет на образование пировиноградной кислоты, поэтому имеет важное значение для процессов обмена веществ в растительных организмах. Другой цинксодержащий фермент – триозофосфатдегидрогеназа, участвует в окислении и фосфорилировании фосфоглицеринового альдегида с образованием дифосфоглицериновой кислоты и регулирует поступление фосфора в растения. Одновременно цинк является компонентом алкогольдегидрогеназы, принимающей участие в образовании пигментного аппарата растений. Он входит в состав активного центра щелочной фосфатазы. Кроме того, цинк активирует глутаматдегидрогеназу, лактатдегидрогеназу, полифенолоксидазу, пероксидазу, каталазу, гексокиназу и альдолазу. Важна роль микроэлемента в окислительно-восстановительных процессах растений. В частности, установлено усиление восстановительных процессов под его воздействием. Цинк принимает активное участие в азотном обмене растений: недостаток его приводит к значительному накоплению небелковых соединений азота – амидов, аминокислот. Улучшение снабжения растений цинком, наоборот, усиливает синтез белковых веществ. Имеются данные о положительном влиянии его на конформацию белков. Цинк принимает активное участие в синтезе ДНК и обеспечивает прочность связи хлорофилла с белком, предохраняя его от преждевременного распада, что приводит к увеличению содержания хлорофилла в листьях и усилению интенсивности фотосинтеза. Цинк участвует в процессах оплодотворения и развития зародыша.

Одной из важнейших функций цинка является его причастность к биосинтезу фитогормонов. В частности, при недостатке этого элемента заметно снижается содержание ауксинов. Это вызвано как ухудшением биосинтеза индолилуксусной кислоты (ИУК) из-за нарушений в образовании ее предшественника – триптофана, снижения активности триптофансинтетазы и содержания витамина **В₆**, связанного с синтезом триптофана, так и усилением окислительного декарбоксилирования, ведущего к разрушению ИУК.

Цинк оказывает существенное влияние на поступление и обмен фосфора в растения. При недостатке цинка усиливается поступление в растения и транспорт фосфора из корней в надземные органы, где он накапливается в больших количествах в виде неорганических соединений. Улучшение питания растений этим микроэлементом ограничивает избыточное поступление в них фосфора и оказывает положительное влияние на его утилизацию. Цинк оказывает существенное влияние на поступление и содержание в растениях и других элементов минерального питания. Он повышает устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды. В частности, имеются данные о положительном влиянии его на засухоустойчивость и зимостойкость растений, а также их устойчивость к грибковым и бактериальным заболеваниям.

Симптомом цинкового голодания у растений является возникновение хлоротичных пятен между жилками листьев, преждевременное созревание растений и резкое снижение их продуктивности. Цинковая недостаточность проявляется в виде ослабления роста, побледнения окраски верхних листьев и появления бурых пятен, напоминающих ржавчину, на нижних листьях. Избыточное содержание цинка в питательной среде подавляет рост и развитие растений, вызывает хлороз листьев и нарушает механизм избирательного поглощения корневой системой питательных элементов.

5.2.5 Эссенциальные ультрамикроэлементы

Селен. Среднее содержание селена в растениях находится в пределах 0,01–10,0 мг/кг сухой массы. Максимальное количество этого элемента содержится в растениях зерновых культур, меньше его в корне- и клубнеплодах. Основным источником селена для питания растений служит почва. Но некоторые растения, выращиваемые в питательном растворе с низким содержанием элемента, могут поглощать его непосредственно из атмосферы. В процессе поглощения селена корневой системой растений важную роль играют ионообменные процессы. Тем не менее, экспериментальные данные указывают и на активное всасывание корнями соединений селена из почвы или питательного раствора. При этом избыток соединений селена связывается органическими кислотами и выводится из растений. Этот элемент в растениях находится в виде следующих соединений: элементарного селена, селенатов, селенитов, аналогов серосодержащих аминокислот и селенопептидов. Селен выполняет жизненно важные функции растительного организма. В частности, этот элемент влияет на ряд гликолитических и дыхательных ферментов. Наличие селена в среде является необходимым условием биосинтеза формиадегидрогеназы. Этот элемент активизирует также фермент фумаразу. Имеются данные о его положительном влиянии на активность нитратредуктазы. Селен снижает частоту мутаций у растений и стимулирует деление клеток. Этот элемент может замещать серу в метионине и цистеине. При этом первоначально синтезируется селенометионин, который далее преобразуется в селеноцистеин, селеноцистатин, или при деметилировании в селенометилселеноцистеин. Последний, взаимодействуя с глутамином, образует глутамилселенометионинселеноцистеин. Активный синтез этих небелковых аминокислот наиболее характерен для растений-аккумуляторов селена. В растениях, накапливающих сверхвысокое количество селена, кроме пречисленных выше аминокислот обнаружены селенометилцистеин, селеногомоцистеин, глутамин-селенометилселеноцистеин, диметилдиселенид. Большинство растений синтезируют селеноцистеин, селенометионин, селенометионинселеноксид, селенометилселенометатин, селеноцистеин-селенистую кислоту, селенопропенилселеноцистеинселеноксил.

Селен может замещать серу и у некоторых ферментов. К ним относятся *p*-галактозидаза, окситоцид и специфический железосерный белок – путидаредоксин. Этот белок необычен тем, что его сера не входит в состав полипептидной цепи, а представлена двумя атомами кислотолabileй серы, которые легко заменяются двумя атомами селена. Соединения селена активируют папаин и дегидрогеназу 3-фосфоглицеринового альдегида. Это служит указанием на влияние селеноорганических соединений на процессы гликолиза и гидроли-

за белков в растениях. Селен участвует в реакциях образования хлорофилла, синтезе трикарбоновых кислот, а также в метаболизме длинноцепочных жирных кислот. Все это, а также присутствие в растительных клетках ферродоксинов, содержащих вместо серы селен, свидетельствует об участии этого элемента в процессах фотосинтеза. Селен оказывает антагонистическое влияние на поглощение и транспорт тяжелых элементов растениями, повышает устойчивость к водному стрессу, соле- и засухоустойчивости. Как избыток, так и недостаток селена в питательной среде одинаково отрицательно сказываются на росте и развитии растений. При избытке селена наблюдается накопление свободных растворимых аминокислот и торможение синтеза белка.

Ванадий. Растения содержат ванадия в среднем около 1,0 мг/кг сухой массы. Пределы же его накопления в растениях значительно колеблются и обусловлены, главным образом, видовой принадлежностью и общей экологической обстановкой. Наиболее богаты этим элементом бобовые растения, наименее – плодово-ягодные культуры, злаковые занимают промежуточное положение между ними. Больше ванадия содержится в корнях и листьях, меньше – в стеблях и семенах. Богаты этим элементом клубеньки бобовых растений; содержание ванадия в них достигает 3–4 мг/кг сухой массы вещества.

Ванадий относится к числу жизненно важных элементов для растений. Функции этого элемента прежде всего связаны с фиксацией атмосферного азота, дыхательным газообменом, фотосинтетической деятельностью, липидным, нуклеиновым и углеводным обменами растения. Он участвует в синтезе нуклеотидов, повышает интенсивность фотосинтеза, увеличивает содержание хлорофилла и фотосинтетическую активность хлорофилла. Ванадий ингибирует рибонуклеазу, тем самым тормозит разрушающее действие этого фермента на генетическую структуру клетки. Он активизирует процесс удаления гистонов из хроматина ядер клеток, что создает благоприятные условия для активного течения биохимических процессов при прорастании семян.

Ванадий положительно влияет на активность нитратредуктазы и накопление белка в растениях. Он необходим почвенным свободноживущим микроорганизмам и клубеньковым бактериям, таким образом принимая непосредственное участие в фиксации ими молекулярного азота.

Иод. Среднее содержание иода в растениях составляет 0,42 мг/кг сухой массы, а колебания достигают величин порядка 0,01–2,50 мг/кг, т. е. различаются в 250 раз. Наибольшие количества иода концентрируются в подземных органах – корнях и корневищах. Из надземных органов растения наивысшим содержанием микроэлемента характеризуются листья по сравнению со стеблями и зерном. Иод в растениях входит в состав структурных компонентов клетки и принимает непосредственное участие в важнейших метаболических процессах. Он присутствует в составе аминокислот, пептидов, полипептидов и белков. Кроме того, иод является компонентом биологически высокоактивного соединения – гормона тироксина (тетраиодтиронина). Являясь активным донором или акцептором электронов и создавая сильное электромагнитное возмущение, ионы иода могут оказывать косвенное, неспецифическое воздействие на активность ферментов и на связанные с их деятельностью окислительно-восстановительные, транспортные или гидролитические и синтетические процессы метаболизма растений. Иод изменяет вязкость протоплазмы, количество белков, их структурные и конформационные свойства, а вместе с этим и водный режим растений. Этот элемент

оказывает воздействие и на продуктивность фотосинтеза, изменяя состояние воды в растениях и активируя биосинтез пластидных пигментов, основу которых составляют белковые соединения. Кроме того, не исключено и прямое действие ионов иода, обладающих сильными физическими характеристиками и переменной валентностью, на реакции фотосинтеза, связанные с переносом электронов. Иод, участвуя непосредственно в азотном обмене и окислительно-восстановительных процессах, оказывает влияние на углеводный обмен и интенсивность фотосинтеза. Повышая общий уровень фотосинтетической активности растений, он усиливает ростовые процессы и продуктивность.

Бром. Содержание брома в растениях колеблется в пределах 0,004–40 мг/кг сухой массы. Содержание этого элемента в растениях не всегда коррелирует с его концентрацией в почвенном растворе, а также не зависит от типа почв, степени их дренированности или величины рН. Однако известно, что растения легко извлекают бром из почв, если последние обогащены им. Брома требуется высшим растениям примерно в 10 раз меньше, чем хлора. Этот элемент может частично замещать необходимый растениям хлор, поэтому его избыток токсичен для них. Микродозы брома стимулируют поглощение растениями элементов минерального питания, оказывают положительное влияние на интенсивность фотосинтеза и активность окислительных ферментов. Этот элемент принимает непосредственное участие в процессе высвобождения кислорода хлоропластами. Симптомы токсикоза, вызванного бромом, сходны с влиянием избытка солей; в частности, типичен хлороз с последующим некрозом листьев.

Литий. Среднее содержание лития у двудольных растений равно 1,33 мг/кг, у однодольных – 0,85 мг/кг сухой массы. Максимальное содержание этого элемента установлено у растений, произрастающих на солончаках, солончаках и других почвах с повышенным содержанием щелочных металлов. В то же время следует отметить, что литий относится к элементам, имеющим барьер поглощения. Стимулирующие воздействия этого элемента на различные растения проявляются при его содержании в питательном растворе в количестве 0,018–1,18 ммоль-экв./л, а угнетающие – 1,43–11,8 ммоль-экв./л.

Литий структурно не входит в состав каких-либо биологических соединений, однако он является активным регулятором метаболических процессов. Важнейшей стороной физиологической роли лития является его участие в метаболизме азотсодержащих веществ, в т. ч. белков и генетически связанных с ними нуклеиновых кислот. Литий оказывает влияние на содержание и гетерогенный состав белков и нуклеиновых кислот, ферментативную активность важнейших энзимов, связанных с белково-нуклеиновым обменом – глутамат-дегидрогеназы, аминоксил-т-РНК-синтазы, рибонуклеазы. Под воздействием лития значительно возрастает активность нитратредуктазы – ключевого фермента азотного обмена растений. Литий положительно влияет на структуру нуклеиновых кислот благодаря его способности образовывать с ними комплексные соединения. Нейтрализуя отрицательный заряд фосфатных групп ДНК, он способствует стабилизации вторичной ее структуры. Одновременно литий упорядочивает и стабилизирует структуру транспортной РНК, тем самым защищая его от гидролитического действия нуклеаз. Следовательно, одной из возможных причин воздействия этого элемента на нуклеиновый обмен является его влияние на активность ферментов, связанных с распадом и синтезом нуклеиновых кислот. Одной из важнейших специфиче-

ских сторон физиологической роли лития является его способность регулировать биосинтез алкалоидов и их предшественников. В частности, под воздействием этого элемента в растениях повышается содержание никотина и алкалоидов – атропина, гиосциаминина. В пользу участия лития в биосинтезе алкалоидов свидетельствует также тот факт, что многие литиефилы относятся к алкалоидным растениям. Имеются сведения о положительной роли лития в углеводном обмене растений. В частности, под воздействием этого элемента повышается активность фермента сахарозосинтетазы в направлении расщепления сахарозы и образования уридиндифосфатглюкозы и аденозиндифосфатглюкозы. Под влиянием лития усиливается фосфорилитическое расщепление крахмала с участием фермента фосфорилазы. Литий повышает фотохимическую активность хлоропластов, интенсивность дыхания и положительно влияет на накопление в растениях аскорбиновой кислоты.

Ион лития имеет наименьший радиус среди всех щелочных металлов, однако в результате сильной гидратации радиус его увеличивается. Поглощение таких гидратированных ионов ведет к увеличению количества свободной и связанной воды в клетках растений. Под влиянием сильно гидратированного иона лития изменяются коллоидно-химические свойства протоплазмы, повышается водоудерживающая способность внутриклеточной жидкости, возрастает засухо- и жароустойчивость растений.

Фтор. Содержание фтора в растениях колеблется от 0,001 мг до нескольких сот миллиграммов на кг сухой массы. К растениям, отличающимся особенно большим накоплением этого элемента, относятся чай, содержащий фтор в количестве 75–100 мг/кг, и петрушка – 30–35 мг/кг сухой массы. Фтор поглощается как корневой системой, так и листьями. Растворимые формы этого элемента поглощаются из почвы корнями растений пассивно и легко переносятся в растительных тканях. В газообразной форме (HF) он поступает в растения через устьица листьев, а фториды, находящиеся в виде твердых частиц, поглощаются всей поверхностью надземных органов.

Фтор для растений является типичным ультрамикрэлементом. В низких концентрациях он оказывает положительное влияние на рост, развитие и продуктивность растений. Фтор регулирует ряд ферментов азотного и углеводного обменов. Как компонент фторацетата, этот элемент принимает участие в конверсии (обмен, изменение, превращение) цитрата. В то же время соединения фтора чрезвычайно токсичны для растений. Наиболее значительное их влияние на метаболизм растений проявляется в снижении темпов поглощения кислорода и ассимиляции элементов питания, уменьшении содержания хлорофилла и каротиноидов; ингибировании синтеза углеводов; подавлении функции пиррофосфатазы, изменении метаболизма клеточных органелл, повреждении ДНК и РНК, синтезе фторацетата – наиболее токсичного соединения фтора.

5.2.6 Неэссенциальные ультрамикрэлементы

Вольфрам. Содержание вольфрама в растениях колеблется от 0,001 до 100 мг/кг и в среднем составляет 0,15 мг/кг сухой массы. Растения легко усваивают этот элемент из почвенного раствора. Поэтому концентрации вольфрама повышены в растениях, произрастающих на обогащенных этим элементом почвах. Растения способны поглощать вольфрам как в виде катиона, так и в форме аниона (W_4^{2-}), последнее имеет место на кислых почвах. Примерно 1/3 погло-

щенного корневой системой вольфрама перемещается в надземные органы растений и депонируется в стеблях и листьях. Вольфрам принимает участие в процессах циклического и нециклического фосфорилирования, оказывает положительное влияние на интенсивность фотосинтеза, биосинтез пластидных пигментов и участвует в функционировании электрон-транспортной цепи хлоропластов.

Кадмий. Содержание кадмия в растениях составляет 0,001–0,1 мг/кг сухой массы. В растениях, произрастающих на загрязненной этим элементом почвах, его содержание может возрастать в 100–400 раз. Кадмий поглощается как корневой системой, так и листьями. Свыше 90 % поступившего в корни кадмия транспортируется в надземную часть в катионной форме и лишь около 10 % – по ксилеме в виде органических комплексов. Кадмий входит в состав наиболее быстро разрушающихся тканей и структурных элементов клеток растения. Он, имея сильное сродство к сульфгидрильным и фосфатным группам, оказывает непосредственное влияние на обмен веществ. Под его влиянием усиливается синтез серосодержащих аминокислот цистина, цистеина и метионина. В то же время кадмий относится к исключительно токсичным элементам. При систематическом поступлении он накапливается в растениях и вызывает нарушения в обмене веществ, выражающиеся в том, что процессы распада начинают преобладать над процессами биосинтеза. Токсичность элемента не противоречит его биологической необходимости. Кадмий, как и любой другой элемент, имеет «концентрационное окно», внутри которого он становится необходимым. Стимулирующий эффект кадмия наблюдается при его концентрации в питательном растворе 10^{-5} М. Такие низкие концентрации данного элемента стимулируют всхожесть, энергию прорастания и повышают силу роста семян и благотворно влияют на рост, развитие и продуктивность растений.

Барий. Фоновое содержание бария в растениях варьирует в пределах 0,01–250 мг/кг сухой массы, достигая наибольших значений в листьях злаков и бобовых и наименьшее – в зерне и фруктах. Поглощение этого элемента корневой системой связано как с конвективным переносом, так и с обменной диффузией. Его потребление во многом зависит от реакции среды: с подкислением этот процесс возрастает, а подщелачивание, наоборот, ограничивает его.

В процессах метаболизма барий ведет себя подобно кальцию. При очень низких концентрациях этот элемент повышает энергию прорастания и всхожесть семян, урожай плодов, их сахаристость и содержание аскорбиновой кислоты. Однако при избыточном поступлении бария в растения, порядка 220–250 мг/кг золы, наблюдается бариевый токсикоз: растения становятся карликовыми, листья приобретают светло-бледную окраску, урожай снижается.

Бериллий входит в состав сухого вещества как высших, так и низших растений. В естественных условиях его содержание в растениях колеблется в пределах 0,001–0,4 мг/кг сухой массы. Бериллий поступает в растение в ионной форме через корни и диффундирует латерально по апопласту. Преобладающую часть этого элемента корневая система поглощает пассивно, но при низких его концентрациях в почвенном растворе поглощение носит активный характер. Установлено положительное влияние микроколичеств бериллия на жизнедеятельность почвенных микроорганизмов, а также рост и развитие растений. Стимулирующее действие бериллия усиливается, когда в среде не хватает магния. Это дает основание предполагать, что этот элемент частично выполняет биологические функции магния. Концентрации бериллия в пита-

тельном растворе порядка $1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-3}$ М уже ядовиты для большинства растений. При таких количествах бериллий тормозит прорастание семян и потребление кальция и магния корнями, нарушает фосфорный обмен растений и разрушает некоторые протеины и ферменты. Симптомы бериллиевого токсикоза у растений: бурые недоразвитые корни и чахлая листва.

Висмут. Среднее содержание висмута в растениях не превышает 0,02 мг/кг сухой массы. Преобладающая часть – до 80 % поглощенного растениями висмута, – остается в самих корнях. Меньше его содержание в стеблях, листьях и еще меньше в генеративных органах. Физиологические функции висмута в растениях в настоящее время не выяснены. Установлено положительное влияние этого элемента на прорастание семян, площадь листьев, чистую продуктивность фотосинтеза и величину урожая.

Мышьяк. Содержание мышьяка в растениях, произрастающих на незагрязненных почвах, изменяется в пределах 0,009–1,5 мг/кг сухой массы. На загрязненных почвах растения могут накапливать экстремально высокие количества этого элемента свыше 6000 мг/кг сухой массы. В объяснении механизма положительного действия мышьяка на растения существуют два взгляда. Первый – соединения этого элемента, обладая свойствами восстановителей, повышают активность окислительных ферментов в клетках растений, что создает благоприятные условия для роста и развития. Другое объяснение стимулирующего действия мышьяка на жизнедеятельность растений выражается в том, что он усиливает или задерживает развитие болезнетворных микроорганизмов в почве. По отношению к высоким концентрациям мышьяка растения классифицируют на три группы: 1) очень устойчивые (аспарагус, картофель, томаты, морковь, табак, ежевика, виноград, малина); 2) среднеустойчивые (земляника, кукуруза, свекла, тыква, кабачок); 3) слабоустойчивые (лук, горох, огурцы, люцерна). Наибольшей резистентностью обладают бесхлорофильные растения. Систематическое применение соединений мышьяка вызывает угнетение роста и развития растений.

Никель широко распространен в растительном царстве. Причем, содержание его в растениях, растущих даже на незагрязненных почвах, может существенно изменяться, поскольку зависит как от вида, так и от экологических условий. Но все же количество никеля в большинстве культурных растений приблизительно одинаковое. Среднее его содержание в растениях, принадлежащих к семейству мятликовых, изменяется от 0,1 до 0,7 мг/кг; бобовых – от 1,2 до 2,7 мг/кг сухой массы. Большинство овощных культур, употребляемых в пищу человеком, содержат его от 0,2 до 4,0 мг/кг сухой массы. В среднем содержание никеля в овощах оценивается в 0,50 мг/кг сухой массы. Никель выводит растения из состояния покоя, регулирует образование гистонов, способствует перемещению азота и прорастанию семян. Под влиянием этого элемента изменяется активность фермента уреазы, катализирующей гидролиз мочевины, аргиназы, оксалоацетатдекарбоксилазы, пептидазы, енолфосфопируват-аденозинтрифосфатпиролазы, нитратредуктазы и гидратазы. Никель является стабилизирующим фактором для антоциановых ферментов, действие которого связано с резким активированием аскорбинат- и фенолоксидаз. Этот элемент ингибирует в определенных условиях кислую фосфатазу. Никель участвует в процессе трансминирования, ускоряет окисление гидрильных групп в дисульфидные. Входя в состав полярных липидов, никель стимулирует процесс фотосинтеза.

Рубидий. Содержание рубидия колеблется от $0,8 \cdot 10^{-2}$ до $1,2 \cdot 10^{-2}$ % сухой массы. Преобладающая часть этого элемента находится в вегетативных органах растения. Как правило, содержание рубидия в растениях выше, чем в почвах, на которых они произрастают. Это хотя и косвенно, но все же указывает на необходимость рубидия для роста и развития растений. Рубидий, изменяя коллоидное состояние цитоплазмы, регулирует интенсивность фотосинтеза, биосинтез углеводов и белка. Этот элемент может отчасти замещать позиции ионов калия во многих соединениях, но не может замещать его в процессах метаболизма.

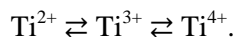
Свинец. Природное содержание свинца в растениях колеблется в пределах 0,001–10,0 мг/кг сухой массы. Зерновые могут содержать этот элемент в количестве 0,01–7,50 мг/кг; фрукты – 0,03–0,4; овощи – 0,01–1,3 мг/кг. В растениях, выращенных на почвах с избытком свинца, его содержание в 2–5, а иногда и в 10 раз превышает фоновое. Содержание свинца в растениях зависит от множества факторов: систематического положения растений; условий среды обитания; фазы развития; возраста. Концентрация этого элемента в растениях носит акропетальный характер. Она убывает в рядах: корни > листья > стебли > плоды (семена) для травянистых растений; корни > кора > листья > древесина > плоды (семена) для древесных растений. Наименьшее содержание свинца отмечается в репродуктивных органах растений (плоды, семена), что связано с деятельностью защитных механизмов, препятствующих поступлению тяжелых элементов в эти органы.

Основная часть свинца поступает в растения в результате пассивного поглощения корнями. Свинец, поглощенный корнями, откладывается в клеточной стенке в виде кристаллов нерастворимых фосфатных комплексов. Из корневой системы в надземные органы поступает лишь незначительное количество этого элемента – не более 3–5 %.

Хотя нет достоверных данных о необходимости свинца для жизнедеятельности растений, однако имеется значительное количество сообщений о стимулирующем действии на их рост низких концентраций этого элемента в питательной среде. Более того, описаны эффекты торможения метаболизма растений, возникающие из-за низких уровней содержания свинца. В большинстве случаев свинец ускоряет прорастание семян и синтез углеводов в растениях.

Титан. Содержание титана в растениях в большинстве случаев колеблется от 0,05 до 5000 мг/кг сухой массы. Коэффициент биологического поглощения, вычисленный из соотношения титана в золе надземной массы растений к содержанию в почвах, как правило, меньше единицы.

Двух-, трех- и четырехвалентные ионы титана легко переходят друг в друга:



Особый интерес представляют соединения Ti^{3+} , для которых в зависимости от условий среды наблюдается как понижение, так и повышение валентности. Вследствие этого возможно участие титана в разнообразных окислительно-восстановительных реакциях в организме. Экспериментально установлено положительное влияние этого элемента на биосинтез и фотосинтетическую активность хлорофилла в листьях растений. Входя в состав липидов растительных клеток, титан играет важную роль в процессе фотосинтеза. Титан оказывает положительное влияние на интенсивность циклического и нециклического фотофосфорилирования в листьях растений. Под воздействием этого

элемента также ускоряются процессы фотовосстановления, т. е. реакции переноса электрона по электрон-транспортной цепи. Все это приводит к большому накоплению в листьях восстановленных интермедиатов и макроэргических фосфатов, что в свою очередь благотворно влияет на продуктивность растений.

Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризуйте роль макроэлементов в жизнедеятельности растений.
2. Перечислите мезоэлементы, входящие в состав растений, и их роль в жизнедеятельности растений.
3. Назовите необходимые растениям микроэлементы и их физиологические функции.
4. Какие макро-, мезо- и микроэлементы способны к реутилизации?
5. От чего зависит стимулирующий или ингибирующий эффект от ультрамикроэлементов?
6. Что означает физиологическая равнозначность всех элементов питания растений?
7. Назовите основные органические соединения, в состав которых входит азот, и охарактеризуйте симптомы его недостатка у растений.
8. Опишите признаки фосфорного и калийного голодания у растений.
9. Как визуально диагностируется недостаток серы в питании растений?
10. В каких процессах участвуют кальций и магний в растениях, и к чему приводит их недостаток?
11. Перечислите основные физиологические функции микроэлементов в растениях. Назовите недостаток, оптимум и избыток их содержания в питательной среде.
12. Назовите симптомы дефицита микроэлементов для отдельных сельскохозяйственных культур.
13. На листьях какого яруса, в первую очередь, обнаруживаются симптомы недостатка азота, фосфора и калия?
14. Какие функциональные нарушения наблюдаются при избыточном и несбалансированном питании растений?
15. Какие приемы используют для повышения накопления в зерне запасных белков и улучшения их состава?
16. Как влияют различные виды удобрений на накопление и качественный состав жира?
17. Как изменяется питательная ценность зеленой массы трав в зависимости от особенностей питания растений?
18. Укажите физиологические функции необходимых элементов.
19. Перечислите наиболее дефицитные макро- и микроэлементы.
20. Кем и когда предложена агробиохимическая классификация химических элементов?
21. Какой принцип положен в основу агробиохимической классификации химических элементов?

Литература

1. Агрохимия / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: «Агрохимэкокодружество», 2017. – 854 с.
2. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
3. Шеуджен А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
4. Шеуджен А.Х. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.
5. Шеуджен А.Х. Агробиогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.
6. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 4. Фундаментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 529 с.

6 АГРОХИМИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И РЕГЛАМЕНТЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Искать общего лекарства для земли, как и философского камня, – терять время. Им надо пользоваться для отыскания путем опыта и умозаключения, опять опытом проверяемого, законов развития растений.

Д.И. Менделеев

Производство минеральных удобрений продиктовано двумя основными факторами. Это, с одной стороны, стремительный рост населения планеты, а с другой, ограниченные земельные ресурсы, пригодные для выращивания сельскохозяйственных культур, и истощение естественного плодородия почв. Проблема сокращения сроков и ускорения процесса восстановления плодородия почв была решена благодаря открытиям в области неорганической химии. И ответом стало производство минеральных удобрений.

Удобрения – вещества минерального и органического происхождения используемые для питания растений и воспроизводства плодородия почвы. Они выполняют многофункциональную роль в агроценозе:

- 1) являются источником элементов питания для растений;
- 2) служат материальной основой для выполнения почвой своих экологических функций;
- 3) повышают устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды, количество и качество урожая.

По характеру воздействия на почву и питательный режим растений удобрения делят на прямого и косвенного действия. Удобрения прямого действия содержат биогенные элементы и оказывают непосредственное влияние на питание растений (все виды удобрений). Удобрения косвенного действия применяют для улучшения физических, водно-физических, физико-химических свойств почвы, ее биологической активности, а также для мобилизации имеющихся в ней элементов питания (мелиоранты, бактериальные препараты). Такое деление весьма условное, т. к. каждое из этих удобрений может оказать и прямое, и косвенное воздействие. Попадая в почву, удобрение не только улучшает минеральное питание растений, но и оказывает влияние на физико-химические свойства почвы. Влияние на почву может быть как положительным, так и отрицательным. Например, сульфат аммония может оказывать не только прямое положительное влияние на питание растений азотом и серой, но и косвенное – подкислять почву. Косвенные удобрения (известь, гипс, фосфогипс), помимо устранения кислотности или щелочности почвы, могут оказывать и прямое действие, благодаря содержанию в них необходимого для питания растений элемента – кальция.

По способу производства удобрения делят на промышленные и местные. К промышленным относят все минеральные удобрения, произведенные на специальных химических заводах, к местным – удобрения, полученные в местах их использования, непосредственно в хозяйствах или вблизи их.

По химическому составу удобрения делят на минеральные и органические. *Минеральные удобрения* – это промышленные или ископаемые продукты, содержащие элементы для питания растений в форме минеральных солей, реже в составе органических соединений. Минеральные удобрения подразделяют на макро-и микроудобрения.

Органические удобрения – это свежие или биологически переработанные вещества растительного или животного происхождения, используемые в качестве удобрения для повышения плодородия почв.

В отдельную группу выделяют бактериальные препараты, содержащие культуру микроорганизмов, способствующих улучшению состава и повышению активности полезного микробиологического сообщества почвы, благодаря которому создаются благоприятные условия для минерального питания растений.

Схема классификации удобрений представлена на рисунке 19 [1]



Рисунок 19 – Классификация удобрений

В зависимости от влияния на реакцию почвенного раствора минеральные удобрения различают: физиологически кислые, щелочные и нейтральные. К физиологически кислым относят удобрения, катионы которых больше поглощаются растениями, чем анионы, и в результате подкисляют почвенный раствор. К физиологически щелочным удобрениям принадлежат такие удобрения, анионы которых лучше ассимилируются растениями, а катионы постепенно накапливаются и, соединяясь с гидроксидом, подщелачивают почву. Физиологически нейтральные минеральные удобрения не изменяют реакцию почвенного раствора.

Минеральные удобрения делятся на однокомпонентные (простые, односторонние), содержащие один элемент питания, и комплексные (многокомпонентные), включающие одновременно не менее двух элементов питания. К однокомпонентным относятся азотные, фосфорные, калийные и микроудобрения. По физическому состоянию удобрения бывают твердые и жидкие, порошковидные, гранулированные.

Из минеральных удобрений растение потребляет определенное количество питательного элемента (действующее вещество). Содержание дей-

ствующего вещества выражают в процентах массы: в азотных удобрениях в перерасчете на N, в фосфорных – на P_2O_5 , калийных – на K_2O . Для перерасчета нормы удобрения с действующего вещества на физическую массу необходимо указанную часть N, P_2O_5 или K_2O поделить на процент содержания действующего вещества в удобрении. Например: доза 120 азота будет внесена в форме мочевины. Поскольку содержания азота в ней 46 %, то количество физической массы представляет: $120:46=2,6$ ц.

Для сокращенного выражения состава той или иной марки комплексных удобрений принято обозначать содержание в них действующих веществ цифрами, отделяемыми друг от друга знаками тире. Первая цифра означает процентное содержание азота (N), вторая – фосфора (P_2O_5), третья – калия (K_2O). Действующие элементы, входящие в состав комплексных удобрений, сокращенно обозначают N, P, K. Например, N : P : K – 17 : 17 : 17. Соотношение действующих веществ в комплексных удобрениях также обозначают цифрами, при этом содержание азота принимают за единицу. Для удобрения приведенного выше состава, это соотношение будет 1:1:1 [2,4,6].

6.1. Минеральные удобрения

Уровень применения минеральных удобрений является одним из главнейших показателей интенсивности сельскохозяйственного производства и его важнейшей отрасли – растениеводства.

М.В. Катылов, 1972

Из всех необходимых для жизнедеятельности растений элементов чаще всего проявляется недостаток азота, фосфора и калия. Поэтому преобладающая часть минеральных удобрений представлена азотными, фосфорными и калийными.

Промышленные минеральные удобрения получили распространение лишь с XIX в. До этого применяли в основном навоз, золу, фекалии, природные туки. В 1-й половине XIX в. стали использовать в качестве удобрений костную муку. В 1840 г. немецкий химик Ю. Либих [5] предложил обрабатывать кости серной кислотой, а наш соотечественник П.А. Ильенков щелочами для перевода основной части – труднорастворимого трикальцийфосфата в водорастворимый, легко усвояемый растениями монокальцийфосфат; это удобрение позднее получило название суперфосфата. Вскоре суперфосфат стали производить путем разложения природных фосфоритов серной кислотой. В конце XIX в. производство и использование этого удобрения получило большое распространение в ряде стран. В России первый завод по производству суперфосфата начал работать в 1868 г. в г. Ковно (Каунас). Многочисленные полевые опыты А.Н. Энгельгардта, проведенные в 60–80-х гг. XIX в., показали высокую эффективность применения фосфоритной муки на кислых подзолистых почвах России и способствовали увеличению добычи и использования фосфоритов. В XX в. ассортимент фосфорных удобрений значительно расширился.

В 30-х гг. XIX в. начали использовать природную натриевую селитру, месторождения которой были открыты в Чили. Развитие производства азотных удобрений началось после промышленного освоения синтеза аммиака из водорода и атмосферного азота (1914–1918 гг.). В 60-х гг. XIX в. после открытия

Штасфуртского месторождения калийных солей в Германии стали применять калийные удобрения. В дальнейшем, с открытием новых месторождений, в т. ч. богатейших в мире – Соликамских в нашей стране (в 20-х гг. XX в.), калийные удобрения получили широкое распространение. С середины XX в. производство минеральных удобрений быстро увеличивается во всем мире (табл. 49).

Таблица 49 – Мировое производство минеральных удобрений, тыс. т действующего вещества

| Год | Удобрения | | | |
|------|----------------|---|--------------------------------|---------|
| | азотные (N) | фосфорные (P ₂ O ₅) | калийные (K ₂ O) | всего |
| 1900 | 0,297 | 0,382 | 0,338 | 1,017 |
| 1910 | 0,966 | 1,260 | 0,857 | 3,083 |
| 1920 | 1,617 | 2,095 | 1,541 | 5,253 |
| 1930 | 2,164 | 3,269 | 2,467 | 7,900 |
| 1940 | 3,084 | 4,650 | 3,064 | 10,798 |
| 1950 | 4,382 | 6,120 | 4,215 | 14,817 |
| 1960 | 10,564 | 10,703 | 8,668 | 29,935 |
| 1970 | 31,911 | 21,286 | 17,564 | 70,761 |
| 1980 | 57,206 | 31,103 | 23,401 | 111,710 |
| 1990 | 59,785 | 33,451 | 26,862 | 118,898 |
| 2000 | 111,803 | 41,310 | 31,511 | 184,624 |
| 2010 | 134,501 | 62,403 | 45,206 | 242,110 |

На сегодняшний день крупнейшими производителями минеральных удобрений в мире являются Китай, который контролирует 21 % рынка, США – 13 %, Индия – 10 % и Канада – 8 %. Доля США в мировом рынке постепенно уменьшается. В России работает более трех десятков крупных химкомбинатов и десятки мелких цехов, совокупно выпускающих около 23 млн. т минеральных удобрений в год, что составляет около 9 % мирового производства.

В мировом производстве минеральных удобрений азотные занимают первое место. Наша страна не явилась исключением. Применение азотных удобрений в России постоянно нарастало и достигло максимума в 1986–1990 гг., когда было внесено в почву 4,6 млн. т азота минеральных удобрений, что составило 36 кг/га пашни. Затем произошел резкий спад в применении удобрений и в первое пятилетие XXI в. в России было внесено только 870 тыс. т азота, что оказалось значительно меньше того количества, которое применялось в 1966–1976 гг. (табл. 50).

Несмотря на столь стремительный спад, внесение азотных удобрений сократилось в значительно меньшей степени по сравнению с фосфорными и калийными. Если использование фосфора и калия в составе минеральных удобрений уменьшилось в 12 с лишним раз, то азота только в 5,3 раза. Соотношение вносимых удобрений резко изменилось в пользу азота и составило в последние годы 1:0,32:0,24.

Большое разнообразие в Российской Федерации почвенно-климатических зон обуславливает различную эффективность минеральных удобрений. В Европейской части страны положительное действие удобрений уменьшается с запада на восток и с севера на юг, в Сибири – с востока на запад, что связано, главным образом, с количеством осадков и распределением

их в течение года. Наиболее эффективны минеральные удобрения в зонах выщелоченных черноземов, дерново-подзолистых и серых лесных почв. На осушенных торфяниках и легких песчаных почвах наибольшую прибавку урожая обеспечивают калийные удобрения. На обыкновенных и южных черноземах, каштановых почвах минеральные удобрения, кроме фосфорных, менее эффективны. Средние прибавки урожайности сельскохозяйственных культур в Российской Федерации при оптимальных нормах минеральных удобрений следующие: зерновых (на дерново-подзолистых почвах и черноземах лесостепи) 5–8 ц/га; льна-долгунца (на дерново-подзолистых почвах) 1,5 (волокно); сахарной свеклы (на черноземах) 40–70 ц/га; картофеля (на дерново-подзолистых и серых лесных почвах) 35–60 ц/га.

Таблица 50 – Применение минеральных удобрений в Российской Федерации, тыс. т д.в. в среднем за год

| Годы | Азот (N) | Фосфор (P ₂ O ₅) | Калий (K ₂ O) | Соотношение N: P ₂ O ₅ : K ₂ O |
|-----------|----------|---|--------------------------|---|
| 1966–1970 | 1246 | 825 | 777 | 1:0,66:0,62 |
| 1971–1975 | 2323 | 1308 | 1258 | 1:0,56:0,54 |
| 1976–1980 | 3034 | 2211 | 2101 | 1:0,73:0,69 |
| 1981–1985 | 3471 | 2811 | 2207 | 1:0,75:0,59 |
| 1986–1990 | 4605 | 3806 | 2580 | 1:0,83:0,56 |
| 1991–1995 | 2070 | 1363 | 947 | 1:0,66:0,46 |
| 1996–2000 | 931 | 294 | 184 | 1:0,32:0,20 |
| 2001–2005 | 870 | 311 | 207 | 1:0,36:0,24 |

Примечания: в России в 1913 г. обеспеченность минеральными удобрениями 1 га пашни составляла 0,21 кг NPK; на душу населения произведено (NPK): 0,1 кг в 1913 г., 3,9 кг в 1940 г., 64 кг в 1972 г. и 120 кг в 1990 г.

Эффективность минеральных удобрений повышается в условиях орошения и высокой технологии возделывания культуры, при внесении их совместно с органическими удобрениями, применении оптимальных норм, учитывающих потребности растений, свойства почвы и самого удобрения, при выращивании отзывчивых сортов.

6.1.1. Азотные удобрения

Все культурные растения потребляют азота больше, чем любого, другого биогенного элемента. Уровень азотного питания определяет интенсивность азотного метаболизма в растении, который в значительной степени определяет продуктивность агроценоза. В составе сухого вещества растения азота содержится 1–3 %, в белках – 16–18 %. Вынос азота урожаем превосходит потребление им фосфора, калия, серы, кальция, магния и других зольных элементов (табл. 51).

В первый год после внесения азотного удобрения культуры усваивают 40–50 % азота, во второй год в последствии – 2–5 %. Из почвы при этом в первый год усваивается дополнительно около 20 % азота от количества, поглощенного растениями из удобрения. Эти соотношения непостоянны и зависят от почвенно-климатических условий, биологических особенностей сельскохозяйственных растений и культуры земледелия.

Таблица 51 – Доля участия азотного, фосфорного и калийного удобрений в повышении урожая зерна озимой пшеницы в различных почвенно-климатических зонах Российской Федерации

| Почвенно-климатические зоны | Удобрения | Доля участия, % | | |
|-----------------------------|-----------|-----------------|-------------------------------|------------------|
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Лесолуговая | НРК | 43,0–53,8 | 23,3–34,4 | 17,4–25,8 |
| Лесостепная | НРК | 38,3–65,1 | 33,8–43,0 | 11,0–24,3 |
| Степная | НРК | 15,0–43,9 | 40,6–65,4 | 0–20,4 |
| Сухостепная | НРК | 21,4–26,8 | 71,4–78,6 | – |

Источником азотного питания растений служат соли аммония и азотной кислоты. Доказана и усвояемость амидного азота (NH₂) из карбамида. Это очень важно, т. к. карбамид в мире производят во всевозрастающем масштабе, и применение его в качестве удобрения расширяется.

Научная теория азотного питания растений разработана Д.Н. Прянишниковым и его учениками [9]. Она получила признание во всем мире. Д.Н. Прянишников доказал, что аммоний – NH₄⁺ и нитратный ион – NO₃⁻ – в принципе равноценные источники азота, если каждому иону будут созданы благоприятные условия усвоения их культурами. Ионы аммония хорошо поглощаются растениями, которые синтезируют достаточное количество углеводов, необходимых для биосинтеза органических кислот, аминокислот и белков. Уровень накопления углеводов зависит от природы и возраста растений. В начале роста, когда листовая поверхность небольшая, фотосинтез идет слабо, поступающий в растения аммоний расходуется на синтез аминокислот не полностью. В то же время накопление неусвоенного NH₄ внутри клеток растения в этот период роста и развития нежелательно, и оно переводит аммоний в аспарагин, т. е. амид аспарагиновой кислоты – нейтральное соединение, которое после превращения в аспарагиновую аминокислоту используется для образования белка. Но если молодые растения не могут связать аммоний в аспарагин, они отравляются. Следовательно, в начале развития растений аммонийные соли – менее желательный источник азота, чем в последующем, когда в процессе фотосинтеза образуется значительное количество углеводов. Это положение не относится к картофелю, который высаживают клубнями, весьма богатыми углеводами – крахмалом. Он хорошо усваивает NH₄ с момента появления всходов. То же самое можно сказать и о хлопчатнике, выращиваемом на сероземах.

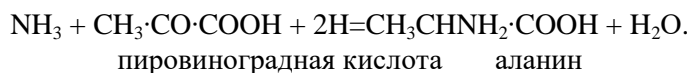
К благоприятным для усвоения растениями аммонийного азота, внешним условиям относятся нейтральная реакция почвенного раствора и повышенное содержание в ней катионов калия, кальция и магния. По-другому обстоит дело при питании растений нитратным азотом. Нитрат-ион растения не могут использовать непосредственно в синтетических процессах. Необходимо предварительное восстановление NO₃ в NH₄, что осуществляется ферментами и требует затраты определенного количества энергии. Такое превращение идет лишь в меру потребности растения в аммонии, а невосстановленные нитраты для него безвредны. Следовательно, сочетание обеих форм азота (нитратного – в начале роста и аммонийного – в последующем) должно быть наилучшим для азотного питания возделываемых культур. Восстановление нитратов до аммиака начинается уже в корнях: оно осуществля-

ется с помощью флавиновых металлоферментов, содержащих микроэлементы, и идет по следующей схеме:

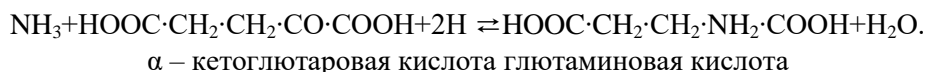
| | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------------|---|------------------|---|---------------------|---|------------------------|---|---------------|
| Восстанавливаемое вещество | NO_3 | → | NO_2 | → | (NO) | → | NH_2OH | → | NH_3 |
| Фермент | нитрат-редуктаза | | нитрит-редуктаза | | гипонитритредуктаза | | гидроксиламинредуктаза | | |
| Микроэлемент | Mo | | Mo, V | | Fe, Cu | | Mn | | |

Если азот в нитратной форме поступает в корни растения в избытке, то часть его в неизменном состоянии доходит до листьев, где продолжается редукция нитратов по приведенной выше схеме. Наличие нитратов в листьях может быть использовано для определения степени обеспеченности растения азотом. Разумеется, чем больше в них нитратов, тем лучше обеспечено растение азотом. Однако избыток нитратов в растениях нежелателен. Только силосные культуры переносят его без значительного ущерба, да и то лишь в том случае, когда в биомассе растения нет избытка нитратов. Повышенное содержание их – признак недоброкачества продукта.

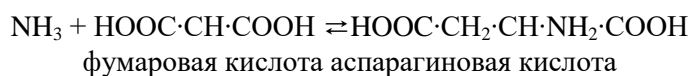
Как в корнях, так и в надземных органах растения происходит синтез аминокислот. При этом аммиак реагирует с кетокислотами. Так, при взаимодействии распространенной в растениях пировиноградной кислоты, появляющейся при окислении сахаров в процессе дыхания с аммиаком, образуется аминокислота – аланин:



Аммиак таким же образом реагирует с альфа-кетоглутаровой кислотой, образуя глутаминовую кислоту:

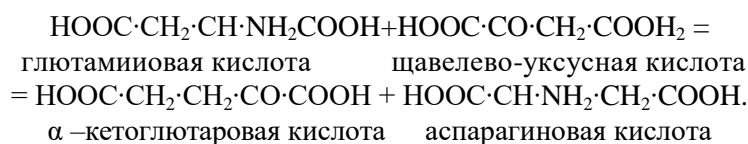


Распространенная в растениях аспарагиновая кислота образуется при реакции аммиака с фумаровой кислотой:



α-Кетоглутаровая и фумаровая кислоты образуются в растениях при окислении углеводов в процессе дыхания. Благодаря этому становится понятной связь между наличием углеводов в растении и его способностью усваивать аммонийный азот. Д.Н. Прянишников отнес это к внутренним условиям аммонийного питания растений. С другой стороны, более четко выявляется и роль дыхания в азотном обмене веществ: промежуточные продукты окисления – органические кислоты – необходимы для синтеза аминокислот, без которых невозможно было бы синтезировать и белки. Ферментативные реакции присоединения аммония к кетокислотам называют аминированием, поскольку это ведет к образованию аминокислот: азот в них содержится в виде аминогруппы (NH_2). Но возможно еще и переаминирование, т. е. передача аминогрупп аминокислотами кетокислотам. Реакция переноса

осуществляется при участии фермента аминотрансферазы. Схема переноса аминокруппы от глутаминовой кислоты на щавелево-уксусную с образованием α -кетоглутаровой кислоты и аспарагиновой аминокислоты:



Белок состоит всего из 20 аминокислот, но они содержатся в разном наборе и пространственно неодинаково расположены в молекуле. Это обуславливает большое разнообразие белков. Всего в настоящее время известно свыше 90 аминокислот. Примерно 70 из них присутствует в растениях в свободном состоянии, не входя в состав белков. В растениях находятся и незаменимые аминокислоты, которые не могут синтезировать организмы человека и высших животных: лизин, гистидин, фенилаланин, триптофан, валин, лейцин, изолейцин, треонин и метионин. В состав белков наряду с аминокислотами входят и два амида – аспарагин и глутамин. Амид аминокислоты получается при замещении аминокруппой гидроксила в карбоксиле. Так, аспарагиновая кислота, присоединяя NH_2 , образует свой амид – аспарагин: $\text{HOOC}\cdot\text{CH}\cdot\text{NH}_2\cdot\text{CH}_2\cdot\text{CONH}_2$.

Аспарагину принадлежит важная роль в аммонийном питании растений. Синтез аспарагина – это способ обезвреживания аммиака при распаде белков сначала до аминокислот, а последних до аммиака и органических кислот. Поскольку при таком распаде аммиак из растений не выделяется и не накапливается внутри них (иначе бы они отравлялись), должен был существовать механизм обезвреживания его в самом растении. Аспарагин – нейтральное, растворимое в воде вещество. Накопление его в растении не вызывает отрицательных последствий. При подходящих условиях растение вновь использует аспарагин для синтеза аминокислот, а из них – белков. Следовательно, аммонийный азот не только доступен растениям, но и является для них более экономичным его источником, чем нитраты. Итак, синтез азотистых органических соединений, до белка включительно, в растениях начинается с аммиака и аммиаком же заканчивается распад этих веществ. Д.Н. Прянишников в свое время кратко выразил это в знаменитой формуле: аммиак – альфа и омега (начало и конец) обмена азотистых веществ в растениях. Процесс синтеза аминокислот за счет аммонийного азота идет очень быстро: в течение 15–20 мин после введения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (меченного ^{15}N) в окружающий раствор аминокислоты с ^{15}N находят в корнях растений. При питании нитратами этот процесс задерживается на сутки.

Условия наилучшего действия аммонийных и нитратных форм удобрений не совпадают. Каждое из них будет наиболее эффективным при определенном сочетании условий. Это должен хорошо знать каждый агроном-агрохимик. Они заключаются в следующем: нейтральные почвы – для аммонийных форм удобрений, слабокислые – для нитратных; начальные фазы роста большинства видов растений – для нитратных удобрений, достаточное развитие ассимилирующего аппарата – для аммонийных.

Азотное голодание растений в молодом возрасте вызывает резкое отставание их в росте, слабое развитие ассимиляционного аппарата и сокращает продолжительность жизни листьев. Следовательно, необходимо

избегать недостатка азота в молодом возрасте растений и избытка его во второй половине вегетации.

Темпы поступления азота в растения снижаются с возрастом, хотя и по-разному у различных видов. Так у растений риса содержание азота в фазе выметывания достигает 93–96 % от общего его потребления, т. е. поглощение этого элемента с фазы выметывания до созревания зерна не превышает 4–7 %. Иначе говоря, основная масса азота в формирующиеся зерновки поступает за счет его реутилизации из вегетативных органов. Если учесть, что вынос азота урожаем зерна риса составляет 55–60 % от хозяйственного то понятно, что даже при самом тщательном использовании в животноводстве всей нетоварной части урожая, при использовании зерна за пределами хозяйства систематически будет отчуждаться основная масса азота, содержащегося в товарной части урожая. И в этом случае одним только навозом невозможно возместить трату азота, взятого растениями из почвы. Ведь навоз не будет содержать белка зерна. Для полного возврата азота в почву необходимо стимулировать еще и приток его из атмосферного запаса в почву с помощью микроорганизмов, использовать все местные азотсодержащие вещества и применять азотные удобрения. Разрыв между выносом урожаем азота из почвы и внесением его с удобрениями для небобовых культур может быть покрыт только за счет почвы, ибо приход его в форме аммиака и оксидов из воздуха с атмосферными осадками, а также вследствие фиксации свободноживущими микроорганизмами весьма незначителен.

Содержание общего азота в разных почвах колеблется от 0,05 до 0,5 % и зависит от типа почвы, его гранулометрического состава и содержания гумуса (табл. 52)

Таблица 52 – Содержание азота и гумуса в пахотном 0–25 см слое почв

| Почвы | Азот, | | Гумус, % |
|-----------------------|-----------|-----------|----------|
| | % | т/га | |
| Дерново-подзолистая | 0,05–0,20 | 1,5–6,0 | 0,5–3,0 |
| Лесостепная | 0,20–0,35 | 6,0–10,5 | 3,0–4,0 |
| Чернозем выщелоченный | 0,30–0,45 | 9,0–13,5 | 7,0–8,0 |
| Чернозем обыкновенный | 0,25–0,45 | 7,5–13,5 | 5,0–10,0 |
| Чернозем типичный | 0,40–0,50 | 12,0–15,0 | 8,0–10,0 |
| Каштановая | 0,15–0,25 | 4,5–7,5 | 1,0–5,0 |
| Сероземы | 0,10–0,20 | 3,0–6,0 | 0,5–2,0 |
| Красноземы | 0,20–0,30 | 6,0–9,0 | 4,0–8,0 |

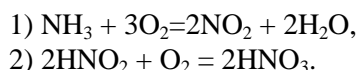
Запасы гумуса в метровом слое почв составляют: в сероземах – 50 т/га, светло-каштановых почвах – 100, темно-каштановых и южных черноземах – 200–250, обыкновенных черноземах – 400–500, мощных черноземах – 800, выщелоченных черноземах – 500–600, серых лесных почвах – 150–300 и в подзолистых суглинистых почвах – 80–120 т/га. В пахотном слое почв, откуда растения в основном и питаются, запасы гумуса значительно меньше. Новообразование гумуса в почве идет очень медленно. Под клевером оно составляет всего лишь 2 % в год, под смесью клевера и тимофеевки – 1,25 % и под злаковыми травами – 0,25 %. На каждую тонну навоза в почве образуется не более 50 кг гумуса.

К сожалению, азот теряется из почвы не только из-за потребления его урожаями возделываемых культур, но и при выщелачивании нитратов в грунтовые воды и удаляется вместе с почвенными частицами при ветровой и водной эрозии, а также при улетучивании в виде аммиака и окислов.

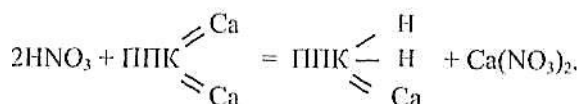
Исходя из того, что в гумусе содержится около 5 % азота, по количеству общего азота можно приблизительно определить содержание гумуса в почве. Для этого содержание азота в процентах множат на 20. Запасы общего азота в пахотном слое почвы находятся в пределах 1,5–15 т/га. Однако оптимальные условия азотного питания растений определяются прежде всего наличием в почве минеральных форм соединений азота, т. к. именно они доступны растениям. Лишь незначительная часть азота в виде растворимых в воде амидов и аминокислот может усваиваться растением. Содержание минеральных соединений азота, которые принимают участие в питании растений, составляет лишь 1–3 %. Другая часть азота (97–99 %) содержится в форме сложных органических соединений, которые в разных почвах и с неодинаковой скоростью в процессе минерализации превращаются в доступные для растений формы – NH_4^+ и NO_3^- . Превращение в почве органических соединений азота в аммонийные формы при участии микроорганизмов и грибов называют *аммонификацией*: органическое вещество → гумусные вещества, белки → аминокислоты, амиды → аммиак (NH_3).

Микроорганизмы расщепляют белки до аминокислот. Последние под действием ферментов дезаминазы и дезамидазы – подвергаются дезаминированию и дезамидированию с отщеплением аммиака, который может связываться различными кислотами, образуя соли ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, NH_4NO_3), а также поглощаться почвенными коллоидами. Аммонификация осуществляется аэробными и анаэробными микроорганизмами. Наиболее типичные представители бактерий *Bac. vulgare*, *Bac. subtilis*, *Bac. mesenteriesis*, *Bac. micoides*, плесневых грибов – *Aspergilli/lius*, *Penicillium*, *Trichoderma*.

Аммиак образуется во всех почвах при разной реакции среды в присутствии воздуха и без него, но в анаэробных условиях при сильноокислой и щелочной реакции аммонификация сильно замедляется. На скорость аммонификации влияют также температура и влажность почвы. В аэробных условиях соли аммония окисляются до нитратов. Процесс окисления аммиака до нитратов носит название *нитрификации*. Этот процесс осуществляется аэробными бактериями рода *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus* и *Nitrosovibrio* до азотистой кислоты (первая фаза), а завершение процесса окисления до азотной кислоты – бактериями родов *Nitrobacter*, *Nitrospira* и *Nitrococcus* (вторая фаза):



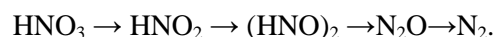
Образовавшаяся азотная кислота нейтрализуется бикарбонатом кальция или магния почвенного раствора или поглощенными основаниями:



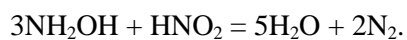
Процесс нитрификации требует определенных условий: доступа воздуха, влажности (лучшая – 60 % от капиллярной влагоемкости), температуры (оптимальная 25–30°C) и реакции среды (нейтральная или слабокислая). Нитрификация является показателем культурного состояния почвы, а нитрификационная способность почвы – важным признаком ее плодородия.

Аммонийная форма азота в почве находится в обменной форме (обменно-поглощенная почвенными коллоидами в почвенном растворе) и фиксированной (поглощенная глинистыми минералами). Нитратная форма азота содержится в почвенном растворе и может легко вымываться в более глубокие слои почвы.

При большом содержании в почве слабоминерализованных остатков биоценоза и недостатка кислорода может происходить *денитрификация*, т. е. восстановление нитратной формы азота до молекулярной, что приводит к потерям азота из почвы:

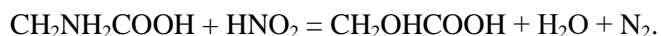


Денитрификация – энзиматический процесс; в условиях низкого уровня содержания кислорода в почве он присущ не только специфическим микроорганизмам, но и многим другим микробам. Продуктами денитрификации являются: нитроксил – HNO , гипонитритная кислота – $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$, нитрамид – NO_2NH_2 и гидроксилламин – NH_2OH . При щелочной реакции выделяется больше N_2 , чем NO . Аналогичное влияние оказывает избыток органического вещества в почве и малое содержание в ней нитратов. Интенсивность денитрификации зависит от температуры: ниже 10°C весьма незначительна. Оптимальная для этого процесса температура довольно высокая (40–75°C), поскольку активными денитрификаторами являются термофильные бактерии. В холодные периоды года, несмотря на высокую влажность почвы и анаэробные условия, денитрификация в ней не идет именно вследствие низких температур. Это исключает потери азота осенью и весной из-за улетучивания. Что же касается реакции среды, то оптимум ее для денитрификации находится в пределах 7–7,5. Потери азота во время денитрификации могут достигать 0,5 мг/кг почвы. Этот процесс усиливается в случае образования поверхностной почвенной корки. Основным мероприятием, направленным на снижение интенсивности денитрификации, является поверхностная обработка почвы и заблаговременное внесение перепревшего навоза.



Гидроксилламин

Следует отметить, что кроме биологической денитрификации в почве возможна и хемоденитрификация:



Аминоксусная кислота *Оксиксусная кислота*

Помимо денитрификации потери азота из почвы возможны и вследствие его улетучивания. Так, в слабокислой сильно гумусированной почве возможна потеря молекулярного азота и его закиси (N_2O) при реакции Ван-Сляйка (взаимодействие азотистой кислоты с аминогруппами: $\text{NH}_2 + \text{HNO}_2 \rightarrow \text{OH} + \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$). Практическое значение этих потерь не считается существенным. Более значительные потери происходят при разложении азотистой кислоты с образованием азотной кислоты и окиси азота: $3\text{HNO}_2 \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}$.

Подкисление реакции ниже 6 единиц рН благоприятствует выделению окиси азота. На воздухе NO окисляется в NO₂.

Запасы азота в почве пополняются разными путями. Незначительное количество – 3–5 кг на 1 га в год – в форме оксидов может поступать с атмосферными осадками. Довольно существенным является процесс фиксации молекулярного азота из воздуха клубеньковыми бактериями, которые живут в симбиозе с бобовыми культурами. Свободно существующие бактерии фиксируют азота 3–5 кг на 1 га, клубеньковые при благоприятных условиях – 150–300 кг/га. Это так называемый *биологический азот*, за счет которого в почву поступает 3–5 % этого элемента от общего выноса урожаем. Безусловно, что наиболее надежным мероприятием пополнения азота в почве является внесение удобрений.

В качестве сырья для производства азотных удобрений используют аммиак и азотную кислоту, получаемые из атмосферного азота или из отходящих газов производств, содержащих азот.

Азотные удобрения в зависимости от содержащихся в них форм азота подразделяются на шесть групп:

- нитратные, содержащие азот в окисленной форме в виде солей азотной кислоты (кальциевая селитра, натриевая селитра);
- аммонийные – азот присутствует в виде иона аммония, связанного с какой-нибудь кислотой (сульфат аммония, хлористый аммоний);
- аммонийно-нитратные – азот присутствует одновременно в аммонийной и нитратной формах (аммонийная селитра);
- амидные – азот находится в амидной форме (мочевина, цианамид кальция, мочевино-формальдегидные удобрения);
- аммиачные – азот содержится в основном в виде свободного аммиака (аммиачная вода, безводный аммиак);
- карбамид-аммонийно-нитратные (карбамид-аммиачная смесь [КАС]).

Современный ассортимент азотных удобрений представлен в основном аммонийной селитрой, карбамидом, сульфатом аммония и КАС. В таблице 53 приведены основные сведения об азотных удобрениях.

Таблица 53 – Азотные удобрения

| Наименование удобрений | Содержание действующего вещества в пересчёте на азот, % | Физическое состояние | Упаковка, расфасовка, транспортировка |
|--|--|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Аммиак жидкий синтетический (безводный) | Высший сорт – 82,3 Первый сорт – 82,2 Второй сорт – 82,0 | Бесцветная подвижная жидкость с характерным запахом. Допускается желтоватый оттенок | Специальные железнодорожные цистерны, автоцистерны, рассчитанные на давление до 25–30 ат |
| Аммиак водный технический (вода аммиачная) | Марка А Первый сорт – 20,5 Второй сорт – 18,0 | Прозрачная жидкость с резким запахом аммиака | Обычные железнодорожные цистерны с нижним сливом, автоцистерны (аммиаковозы) |

Продолжение таблицы 53

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|---|---|--|
| Углеаммиакаты | 29,0 | Жидкость зелено-вато-серого цвета | Обычные железно-дорожные цистерны с нижним сливом, автоцистерны (аммиаковозы) |
| Водный раствор аммонийной селитры и мочевины (сплав) | 30,0 | Прозрачная бесцветная или слегка окрашенная жидкость | Специальные железно-дорожные, автомобильные цистерны с антикоррозионным покрытием |
| Селитра аммонийная | Марка А – 34,8 Марка Б – 34,2 с фосфорными добавками – 33,6 | Гранулы белые или с желтоватым оттенком. Рассыпчатость 100 % с гарантийным сроком неслёживаемости 6 месяцев | 5–6-слойные битумированные, ламинированные или полиэтиленовые мешки с массой 45–50 ± 1 кг |
| Селитра кальциевая техническая | 17,5 | Крупные чешуйки светло-коричневого цвета | Бумажные 5-слойные мешки с тремя битумированными слоями массой 52–57 кг |
| Натрий азотнокислый технический (селитра натриевая) | Первый сорт – 16,4 Второй сорт – 16,3 | Бесцветные прозрачные кристаллы с сероватым или желтоватым оттенком | Бумажные 5–6-слойные битумированные мешки массой 45–50 кг |
| Карбамид (мочевина) для сельского хозяйства | 46,0 | Белые слабоокрашенные гранулы | 5–6-слойные бумажные битумированные или полиэтиленовые мешки массой 35–50 ± 2 кг |
| Карбамид (мочевина) технический | Марка А и Б – 46,3 | Белые кристаллы с желтоватым оттенком или розоватым | 5–6-слойные бумажные битумированные или полиэтиленовые мешки массой 35–50 ± 2 кг |
| Сульфат аммония (сернокислый аммоний) | Высший сорт – 21,0 Первый и второй сорта – 20,8 | Мелкий кристаллический порошок разных оттенков (желтоватый, зеленоватый, розоватый; высший сорт имеет белый цвет) | Бумажные 4–5-слойные битумированные или полиэтиленовые мешки массой 45–50 кг. По согласованию с представителем отгружают навалом |
| Гранулированный сульфат аммония (коксохимический) | 20,8 | Гранулы – кристаллы неправильной формы | Бумажные 5-слойные битумированные мешки массой 45–50 кг |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|---|--|--|
| Сульфат аммония – натрия (для удобрения) | 17,0 | Кристаллическая соль, окрашенная органическими примесями | Бумажные мешки или полиэтиленовые массой 40±1 кг. По согласованию с потребителем отгружается навалом |
| Цианамид кальция | Марка А Первый сорт – 20,0 Второй сорт – 18,5 Марка Б для сельского хозяйства – 19,0 | Тонкий тёмно-серый или чёрный, сильно пылящий | 5-слойные битумированные мешки массой 35±1 кг и в барабанах ёмкостью 50–100 л |

По токсичности воздействия на человека все азотные удобрения можно условно разделить на три группы.

К первой группе относятся жидкий (безводный) аммиак, аммиачная вода (водный аммиак), углеаммиакаты, цианамид кальция и сульфат аммония. Смесь аммиака с воздухом (15,5–27 % аммиака) взрывоопасна. Кроме того, аммиак легко воспламеняется и может вызвать пожар. Пары аммиака вызывают раздражение слизистых оболочек и слезотечение, а в больших концентрациях – сильные приступы кашля, головокружение и удушье. Слизистые оболочки раздражаются при концентрации аммиака 0,1 мг на 1 л воздуха. Концентрация аммиака 0,35–0,7 мг/1 л воздуха опасна для жизни человека и животных. Наливать, сливать и применять безводный аммиак необходимо в промышленных противогасах с коробками «КД», резиновых сапогах и перчатках. Лица, работающие с аммиачной водой, должны иметь спецодежду, защитные очки, респираторы или же промышленные противогазы. Цианамид кальция содержит ядовитые вещества – цианистые соединения. Неосторожное обращение с ними может вызвать отравление людей и животных. Сульфат аммония становится ядовитым, если в нём содержится более 1 % роданистого аммония.

Ко второй группе азотных удобрений относится мочеви́на. Это удобрение гигроскопично. Попадая на кожу и особенно на слизистые оболочки, оно вызывает сильное раздражение и воспалительные процессы.

К третьей группе азотных удобрений относятся сульфат аммония-натрия, сульфат аммония – побочный продукт капролактама и другие. Все эти удобрения безвредны для человека и животных. Поэтому при работе с ними нет необходимости применять специальные средства защиты.

В особую группу следует выделить аммонийную, кальциевую и натриевую селитры. Это огнеопасные вещества. Опасность значительно повышается при загрязнении их горючими веществами, порошками металлов. Во время пожара может произойти взрыв. Их следует хранить в отдельных складах или специально оборудованных секциях складов минеральных удобрений [7,12,14].

6.1.2. Фосфорные удобрения

Основным источником фосфора для растений в природных условиях являются одно- и двухвалентные анионы фосфорной кислоты (H_2PO_4 и HPO_4); трехвалентный анион (PO_4) появляется только в сильно щелочной среде, когда культурные растения уже не развиваются или даже погибают. Расчеты показывают, что в зависимости от реакции (рН) среды диссоциация фосфорной кислоты происходит следующим образом (табл. 54).

Таблица 54 – Соотношение ионов и молекул фосфорной кислоты в растворе при различных значениях рН, %

| Анионы | рН 5 | рН 6 | рН 7 | рН 8 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| H_3PO_4 | 0,10 | 0,01 | – | – |
| H_2PO_4 | 97,99 | 83,68 | 33,90 | 4,88 |
| HPO_4 | 1,91 | 16,32 | 66,10 | 95,12 |
| PO_4 | – | – | – | 0,01 |

Приведенные данные свидетельствуют о том, что в почвенных условиях, когда рН раствора обычно колеблется от 5 (дерново-подзолистые) до 7 (черноземы), растения имеют в своем распоряжении главным образом H_2PO_4 и в меньшей степени HPO_4 . В почве имеются только соли ортофосфорной кислоты, но в современных сложных удобрениях могут быть и соли мета-, пиро- и полифосфорных кислот.

Наилучшими для фосфатного питания растений являются хорошо растворимые в воде фосфорнокислые соли одновалентных катионов – K_3PO_4 , K_2HPO_4 , KH_2PO_4 . В зависимости от способа получения удобрения могут быть как растворимые, так и не растворимые в воде. Растворимым бывает метафосфат калия (KPO_3), если он представлен не полиморфной формой. Она растворима в слабых кислотах, а в воде – лишь после гидролиза. Соли двухвалентных катионов водорастворимы лишь в первой ступени замещения у ортофосфорной кислоты, например $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, и плохо растворимы даже в этом замещении у метафосфорной – $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$. Двухзамещенные же соли двухвалентных катионов отличаются у ортофосфорной кислоты почти полной нерастворимостью в воде (CaHPO_4); они растворяются в слабых кислотах, в т. ч. органических, выделяемых корнями в почву и появляющихся в ее жидкой фазе в процессе жизнедеятельности микроорганизмов. Вследствие этих причин двухзамещенные соли двухвалентных катионов представляют ценный источник фосфора для растений. Трехзамещенные фосфаты этих же катионов, например $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ большинство культур в заметной степени не усваивают, ибо они характеризуются практической нерастворимостью в воде и весьма незначительной растворимостью в слабых кислотах. Да и то наблюдается преимущественно в свежесаживаемом виде, когда они находятся в аморфном состоянии. По мере же «старения» солей или перехода в кристаллическое состояние растворимость их резко уменьшается, значительно падает и доступность этих фосфатов растениям.

Существует, однако, группа культур, отличающихся способностью питаться фосфором и при наличии в среде только трехзамещенных фосфатов кальция или даже еще менее растворимых естественных фосфатов-фосфоритов – $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$ в тонко размолотом виде. К этой группе при-

надлежат люпин, гречиха, горчица, горох, донник, эспарцет и конопля. Правда в меньшей степени, чем три предыдущих, эти последние четыре культуры усваивают фосфор из фосфорита слабее, чем первые три. Еще меньшей доступностью растениям отличаются средние и особенно основные соли трехвалентных катионов ортофосфорной кислоты, составляющие значительную долю фосфатов в кислых почвах – $AlPO_4$, $Al_2(OH)_3PO_4$, $FePO_4$, $Fe_2(OH)_3PO_4$.

Все растения крайне чувствительны к фосфатному голоданию в раннем возрасте, когда усваивающая способность их корневой системы весьма слабая. Недостаток фосфора задерживает образование органических кислот из углеводов, что тормозит связывание поступающего через корни аммонийного азота. Фосфорное голодание растения приводит к слабому использованию ими азота и других элементов питания. Мало того, голодавшие в начале своего развития растения отрицательно реагируют на повышенное питание фосфором в дальнейшем.

Развивающееся растение обильно снабжает фосфором молодые листья, причем если приток его извне прекратился, то идет усиленное передвижение фосфора из старых листьев к молодым. Вследствие этой ярковыраженной реутилизации фосфора для диагностических анализов на его содержание не следует брать молодые листья.

В фазе образования и особенно созревания репродуктивных органов отмечено и хорошо выявляется энергичное передвижение к ним фосфора из вегетативных органов растения.

Сведения о динамике поглощения фосфора определенной культурой, в известной мере, позволяют обосновывать меры по устранению недостатка этого элемента в ходе вегетации. Хотя абсолютное количество фосфора в растениях продолжает возрастать до полного созревания культуры, процентное содержание его с возрастом систематически убывает. Уменьшение относительного содержания фосфора в растениях означает более быстрое накопление массы органических веществ, в которой распределяется усвоенное ранее и поглощаемое в дальнейшем значительно замедленными темпами количество этого элемента. Но это так, если рассматривать всю органическую массу урожая, без подразделения ее на товарную и нетоварную. В семенах не обнаруживают столь резкого уменьшения относительного содержания фосфора по мере созревания, как в соломе. Происходит передвижение фосфора в период образования семян из вегетативных органов в репродуктивные.

Таким образом, фосфор концентрируется в товарной части урожая, и это имеет далеко идущие последствия для теории и практики применения фосфорных удобрений. Обычно только малую долю товарной продукции урожая использует непосредственно хозяйство, в котором ее вырастили. Нетоварная продукция, наоборот, почти целиком остается на его территории и в значительной части идет либо на корм, либо на подстилку животным, поэтому в составе навоза возвращается в почву. Но навоз не в состоянии вернуть почве то, чего не содержит – азот и фосфор, взятые из почвы товарной массой урожая, реализованной за пределами хозяйства. Есть, однако, различие в круговороте этих двух элементов в земледелии. Оно состоит в том, что азотом необычайно богата атмосфера, из которой возможно его связывание и биологическим (микроорганизмы), и, частично, физическим (электрические разряды в атмосфере) путями. Но самое важное значение имеет третий путь – технический рост азотной промышленности, получающей удобрения путем

утилизации азота воздуха на основе синтеза аммиака. В атмосфере нет фосфора, и не возможен его естественный приход в почву (если не считать нескольких граммов на 1 га в год, приносимых с космической пылью, что лишено практического значения). Остается только производство минеральных фосфорных удобрений из залежей фосфорнокислых руд в земных недрах, что и делается уже свыше 175 лет. Сырьем для производства фосфорных удобрений служат апатиты и фосфориты.

Основным источником фосфора для растений является почва. В почвах валовое содержания фосфора значительно ниже, чем азота и калия, и колеблется в пределах 0,03–0,30 %, а запас его в пахотном пласте составляет 1,2–6,6 т/га (табл. 55).

Таблица 55 – Содержание валового фосфора в пахотном и подпахотном слоях почвы, мг/100 г

| Почвы | Слой | |
|-------------------------------|----------|-------------|
| | пахотный | подпахотный |
| Дерново-среднеподзолистые | 51,00 | 31,00 |
| Темно-серые лесные | 74,20 | 49,74 |
| Черноземы типичные | 147,05 | 147,66 |
| Черноземы обыкновенные | 148,25 | 157,90 |
| Черноземы южные | 132,10 | 131,10 |
| Черноземы выщелоченные | 129,20 | 118,35 |
| Темно-каштановые солонцеватые | 130,80 | 105,40 |

В верхнем слое почвы фосфора обычно несколько больше, чем в ниже лежащих и в материнской породе, благодаря постоянному извлечению корнями растений из более значительного объема почвы и подпочвы, чем тот, в котором корни и надземные органы растений отмирают. Валовые запасы фосфора в пахотном слое различных почв зависят от гранулометрического и минералогического состава и содержания органического вещества и колеблются от 0,03–0,12 % в дерново-подзолистых почвах до 0,10–0,30 % в черноземах.

Как правило, минеральные фосфаты в пахотном слое почвы преобладают над органическими. Почвы средней полосы и северных районов Российской Федерации беднее фосфором, чем южных районов. Доля органических фосфатов наиболее высока в серых лесных почвах и черноземах. Как к югу, так и к северу от них относительное содержание органических фосфорсодержащих веществ убывает, а минеральных повышается.

Фосфор органических соединений находится главным образом в составе гумуса. Содержание его в гумусовых веществах достигает в: серых лесных почвах – 1,78–2,46 %; черноземах типичных – 0,81–1,25; черноземах обыкновенных – 0,90–1,27; черноземах выщелоченных – 1,10–1,43; темно-каштановых почвах – 0,97–1,30 %. Наибольшая часть фосфора органических соединений в почвах представлена фитатами кальция, магния, железа и алюминия, причем в кислых почвах могут преобладать фитаты железа и алюминия, а в нейтральных – фитаты кальция и магния. На фосфор нуклеиновых кислот приходится около 5 %. Кроме того, имеются в небольшом количестве и сахарофосфаты фосфатиды.

При минерализации гумуса высвобождаются соли фосфорной кислоты в доступной растениям форме. Однако они не накапливаются в значитель-

ных количествах в воднорастворимом состоянии, т. к. очень быстро связываются почвой. Минеральные фосфаты в почвах находятся в виде солей кальция, магния, железа и алюминия. Фосфаты кальция, в т. ч. фтор-апатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, гидроксил-апатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, октакальций-фосфат $\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_3\cdot\text{H}_2\text{O}$, преобладают в нейтральных и щелочных почвах. Фосфаты полуторных оксидов распространены в почвах с кислой реакцией. Это стренгит $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$, варисцит – $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ и др. В торфяно-болотных почвах, где преобладают восстановительные условия, накапливается вивианит – $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Более высокой растворимостью характеризуются кальциевые соли фосфорной кислоты. Соли алюминия и железа (кроме вивианита) слабее растворимы и поэтому малодоступны растениям. Минимальные величины растворимости фосфатов железа и алюминия находятся в почве при pH 2,2 и 3,7, соответственно, а трехзамещенных фосфатов кальция и магния – при pH 6,5 и 10, соответственно. Таким образом, слабокислая реакция почвы (pH около 6) наиболее благоприятна для питания растений фосфором. Превращение небольшой части валовых запасов минерального фосфора в усвояемое для растений состояние происходит в результате подкисления почвы.

Основным сырьем для производства фосфорных удобрений является естественные фосфорсодержащие руды – апатиты (до 30 %) и фосфориты (15–35 % P_2O_5), а также богатые фосфором отходы металлургической промышленности. Большие запасы фосфорных руд в нашей стране были открыты в 1925 г. на Кольском полуострове.

Для производства фосфорных удобрений применяют два способа: 1) термический – обработка фосфорсодержащих руд высокой температурой; 2) экстракционный – разложение руд серной или смесью серной и азотной кислот. По степени растворимости и доступности для растений все фосфорные удобрения могут быть разделены на три группы: 1) растворимые в воде и легкодоступные для растений; 2) не растворимые в воде, но цитратнолимоннорастворимые и поэтому также доступные растениям; 3) не растворимые в воде, плохо – в слабых кислотах, растворимые в сильных минеральных кислотах. Это более труднодоступные источники фосфора для растений. Фосфор этих удобрений лишь постепенно переходит в усвояемую для растений форму под воздействием кислотности почвы, корневых выделений растений, совместного применения физиологически кислых минеральных удобрений.

Степень растворимости фосфорных удобрений определяет особенности их использования. Водорастворимые удобрения применяют в виде порошков и гранул, лимонно- и цитратнорастворимые – в виде порошков, труднорастворимые – в виде порошка «тонкого помола». Водорастворимые фосфаты составляют около 3/4 общего производства фосфорных удобрений, а труднорастворимые – около 8 %. Поскольку большинство почв нашей страны имеют реакцию, близкую к нейтральной, то наиболее эффективны удобрения с водорастворимыми формами фосфорных соединений. В мире наиболее широко применяется эта группа удобрений. Технология переработки фосфатного сырья направлена на перевод фосфора в усвояемую для растений форму. Фосфорные удобрения, содержащие более 25 % P_2O_5 , относятся к концентрированным. В таблице 56 дана краткая характеристика фосфорных удобрений.

Таблица 56 – Фосфорные удобрения

| Наименование удобрений | Содержание действующего вещества, % | Физическое состояние | Упаковка, расфасовка, транспортировка |
|---|--|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Суперфосфат из апатитового концентрата (простой порошковидный) | Первый сорт – 20,0 Второй сорт – 19,0 | Светло-серый или серый порошок | Без тары |
| Суперфосфат гранулированный из апатитового концентрата (простой) | 20±1 | Светло-серые или серые гранулы (зерна) | Полиэтиленовые или 4–5-слойные бумажные битумированные мешки массой 50±1, 45±1, 35±1 кг. |
| Суперфосфат аммонизированный из фосфоритов Каратау | Первый сорт P ₂ O ₅ – 15,5±1, N ₂ – ±2,5 | Гранулы серого цвета | По согласованию с потребителем отгружают навалом, в 4–5-слойных бумажных или полиэтиленовых мешках массой 50±1, 45±1 кг. Масса мешков из одной партии должна быть одинаковой. по согласованию с потребителем отгружается навалом. |
| Суперфосфат марганезированный | P ₂ O ₅ – 19,0 Mn – 1,5 – 2,0 | Гранулы темного цвета | Без тары |
| Суперфосфат из апатитового концентрата нейтрализованный и высушенный | Первый сорт – 20,0 Второй сорт – 19,0 | Порошок светло-серого цвета с примесью мелких гранул (менее 1мм) | Бумажные или полиэтиленовые мешки массой 50±1 кг. По согласованию с поставщиком отгружаются навалом |
| Суперфосфат гранулированный из апатитового концентрата (для тукосмешения) | 19,5 | Гранулы серого цвета | Полиэтиленовые или 4–5-слойные бумажные мешки массой 50±1 кг. По согласованию с потребителем отгружается навалом. |
| Суперфосфат двойной гранулированный | Марка А Первый сорт – 49,0 Второй сорт – 47,0 Марка Б Первый сорт – 44 Второй сорт – 42 | Гранулы от светло-серого до темно-серого цвета | 5-слойные крафтцеллолозные битумированные, ламинированные, обрезиненные или полиэтиленовые мешки массой 50±1 или 45±1 кг, 40±1 или 35±1 кг. По согласованию с потребителем может отгружаться навалом. |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|--|
| Боросуперфосфат гранулированный | P_2O_5 – 19,0 В – 0,2±0,05 | Гранулы серого цвета | 5-слойные крафт-целлюлозные битумированные мешки или бумажные, обрешиненные мешки массой 45±1 или 50±1 кг. По согласованию с потребителем может отгружаться навалом. |
| Фосфатная смесь | Общей P_2O_5 – 19,5 усв. P_2O_5 – 10 | Порошок серого цвета | Навалом |
| Шлак фосфатный мартеновский для удобрений | 10,0 | Очень тонкий, сильнопылящий порошок от серого до темно-серого цвета | Бумажные 5-слойные мешки массой 60±1 кг. По согласованию с потребителем может отгружаться навалом. |
| Фосфоритная мука | Высший сорт – 30, Первый – 25,0 Второй – 22,0 Третий сорт – 19,0 | Тонкий, сильнопылящий порошок темно-серого цвета с бурым оттенком | Без тары |
| Фосфоритная мука для местного потребления | Первый сорт – 17,0 Второй сорт – 14,0 | Тонкий, сильнопылящий порошок темно-серого цвета с бурым оттенком | Без тары |

По токсичности все формы фосфорных удобрений можно условно разделить на три группы. К первой группе относятся тонкие, сильнопылящие порошки (фосфатшлак, фосфоритная мука). Фосфатшлак в отличие от других фосфорных удобрений этой группы, попадая в дыхательные пути, может вызвать носовое и горловое кровотечение. Работать на погрузке и разгрузке их из железнодорожных вагонов общего типа надо в защитных очках или противопыльных респираторах.

Ко второй группе фосфорных удобрений относятся суперфосфат простой порошковидный из апатитового концентрата и высушенный аммонизированный порошковидный суперфосфат. Простой порошковидный суперфосфат содержит не менее 5 % свободной фосфорной и серной кислот, которые раздражают слизистую оболочку глаз, носа и рта, разъедают обувь и одежду. Кроме того, при хранении порошковидного суперфосфата в закрытых складах выделяются фтористые газы, вредные для человека. Пыль аммонизированного порошковидного суперфосфата содержит магний, который раздражающе действует на дыхательные органы. При работе с фосфорными удобрениями второй группы необходимо использовать противопыльные респираторы, халаты, рукавицы и резиновые сапоги.

К третьей группе относятся гранулированный простой и двойной суперфосфат и гранулированный аммонизированный суперфосфат в таре, кото-

рые не оказывают вредного действия на людей и животных, и поэтому не требуют специальных средств защиты во время работы с ними. Если эти удобрения поступают без тары, надо также применять противопыльные респираторы.

Эффективность фосфорных удобрений тесно связана с уровнем усвоения фосфора растениями. В среднем коэффициент усвоения этого элемента растениями из удобрений составляет 15 – 25 %. Низкие коэффициенты его усвоения из удобрений обуславливаются преимущественно тем, что от 50 до 85 % внесенного растворимого фосфора быстро превращается в малодоступные для растений фосфаты кальция, железа, алюминия. Для увеличения содержания подвижных фосфатов до 1 мг на 100 г почвы с учетом выноса их урожаем на супесчаных и песчаных почвах необходимо внести 40–60 кг/га P_2O_5 , на легко- и средне суглинистых – 60–90 и тяжелосуглинистых – 90–120 кг/га.

Земледелие России нуждается в водо-, цитратно- и лимоннорастворимых формах фосфорных удобрений. Как генеральное направление необходимо:

- всемерно восстановить производство суперфосфата (почти не выпускающегося в настоящее время), увеличить объемы выпуска аммофоса и его производных форм;

- начать производство активированной фосфоритной муки на 30 местных месторождениях фосфоритов, расположенных в Европейской части России, Сибири и на Дальнем Востоке;

- усовершенствовать технологию производства аммофоса на базе местных фосфоритов Обладжанского месторождения в Хакасии и Камышинского в Волгоградской области.

Географическое размещение местных месторождений при объективных оценках их запаса фосфора в фосфоритной руде, может удовлетворить потребность регионов в фосфоритной муке путем равномерного распределения по площади пахотных земель. На удобренных фосфоритной мукой почвах потребуются внесение высококонцентрированных удобрений (10–20 кг/га P_2O_5) в рядки при посеве. Принципиальная особенность дальнейшего развития производства фосфорсодержащих удобрений в России будет обусловлена тем, что практически весь его прирост может быть обеспечен только за счет вовлечения в переработку относительно низкосодержащего фосфатного сырья переменного состава.

Теория и практика эффективного использования удобрений в европейских странах, достигших высокой продуктивности и устойчивости земледелия, строится на концепции создания и поддержания определенного оптимального уровня содержания в почве элементов питания при их высокой степени доступности растениями. При достижении таких определенных показателей в дальнейшем управление формированием урожайности сельскохозяйственных культур осуществляется посредством внесения азотных удобрений, при компенсации выноса фосфора и калия урожаями [7,11,13].

6.1.3. Калийные удобрения

Калий – удивительный металл. Удивительный не только потому, что режется ножом, «плавает» в воде, горит и взрывается на ее поверхности, окрашивает пламя в фиолетовый цвет. Его неповторимость состоит в том, что он входит в состав более трехсот минералов, содержится в почве, растениях, организмах человека и животного. Содержание его в растениях составляет около 1,9 %, причем одна часть ионов калия содержится в клеточном соке, вторая – в

структурных элементах клетки в поглощенной форме. Большая часть элемента содержится в молодых органах. Установлено, что по мере старения отдельных органов растений ионы калия перемещаются в точки самого интенсивного роста. Динамика поглощения калия растениями на протяжении вегетации зависит от их биологических особенностей. У зерновых культур максимум потребления приходится на период трубкования–колошения; у льна – на фазу цветения; картофеля, сахарной свеклы – максимального нарастания листьев, клубней и корнеплодов. Относительное количество калия в растениях уменьшается с их возрастом, однако абсолютная его величина возрастает почти до конца их вегетации. Больше его поглощают плодово-ягодные культуры, сахарная свекла, картофель, кукуруза, подсолнечник, корнеплоды, капуста, многолетние травы. Меньше калия выносятся с урожаем зерновых культур.

Валовое среднее содержание калия в почвах составляет 2,14 %, что почти всегда выше, чем азота и фосфора, вместе взятых. С увеличением глинистых частиц в гранулометрическом составе оно может достигать 3,0 %. Гораздо меньше калия в супесчаных (до 2,0 %), песчаных (до 1,5 %) и особенно торфяных (менее 1,0 %) почвах, причем в подпахотных слоях дерново-подзолистых и серых лесных почв валовое содержание его выше, чем в пахотных.

Калий почв на 99,9 % представлен минеральными соединениями, поэтому обеспеченность этим элементом растений зависит от гранулометрического и минералогического состава почвы. Валовой калий содержится: в составе кристаллических решеток первичных и вторичных минералов (не менее 91 % от общего), в обменно- (0,5–2,0 %) и необменно-поглощенном (до 9,0 %) состояниях, в виде солей (карбонатов, нитратов, хлоридов) почвенного раствора (0,05–0,2 %) и в составе пожнивно-корневых остатков, микроорганизмов (до 0,05 %). Общее содержание калия в отдельных фракциях механического состава почв возрастает по мере увеличения дисперсности частиц (табл. 57).

Таблица 57 – Содержание калия в почвах, % от массы отдельных фракций гранулометрического состава

| Почва | Крупная пыль (0,25–0,01 мм) | Средняя пыль (0,01–0,005 мм) | Тонкая пыль (0,005–0,001 мм) | Ил (менее 0,001 мм) |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| Дерново- подзолистая | 2,54 | 2,94 | 3,22 | 3,11 |
| Черноземная | 1,7 | 1,96 | 2,35 | 3,43 |

По доступности растениям соединения калия разделяют на пять форм:

1. Основное количество калия (98–99 %) содержится в почвах в виде минералов – полевые шпаты, слюды, гидрослюды (> 300). На долю этих минералов приходится почти 18 % массы земной коры. Самые распространенные полевые шпаты, калий которых практически не усваивается растениями, тогда как из 13 слюдистых и гидрослюдистых минералов, в частности мусковита, биотита, этот элемент может использоваться в незначительном количестве в результате действия на них органических кислот, которые выделяются корневой системой растений. В общем, разрушение минералов под действием физико-химического выветривания и микробиологической деятельности – процесс довольно медленный и в питании растений играет незначительную

роль. Калий глинистых минералов более растворим, чем песчаных почв, поэтому в глинистых почвах содержание валового и подвижного калия выше.

2. Калий обменный, поглощенный почвенными коллоидами, представляет не более 0,5–1,5 % валового содержания этого элемента в почве. В большинстве незасоленных почв его содержание колеблется от 4,7 до 23,5 мг/100 г, что составляет 141–705 кг/га. Хотя эта форма считается доступной для питания растений, однако они могут использовать только его часть, которая вытесняется в почвенный раствор другими катионами, которые находятся на поверхности корневых волосков. По содержанию обменного калия определяют обеспеченность почв доступной для растений формой. Сероземы, обыкновенные и типичные черноземы, более богаты обменным калием, чем дерново-подзолистые почвы.

3. Водорастворимый калий – водорастворимые соли, которые содержатся в почвенном растворе. Эта форма легкодоступна для растений, но ее содержание очень незначительное – 1/10 часть обменного или 0,1 % валового содержания (1,7 мг/100 г почвы). Часть водорастворимого калия (а также калий из удобрений) может легко фиксироваться глинистыми минералами почвы и переходить в необменную форму, малодоступную для питания растений.

4. Калий органического вещества входит в состав корневых и пожнивных остатков растений, а также тела живых организмов, которые населяют почву. Непосредственно эта форма калия для растений недоступна, но переходит в доступную после минерализации остатков биоценоза.

5. В почвах водорастворимый калий (а также калий удобрений) может поглощаться в *необменную форму*, в результате чего снижается его доступность для растений. Необменная фиксация калия более всего выражена на черноземах и сероземах, особенно при их периодическом увлажнении и высушивании.

В агрохимии степень обеспеченности растений калием выражают содержанием его обменной формы в почве. В дерново-подзолистых и серых лесных почвах определяют по методу Кирсанова, некарбонатных черноземах – по методу Чирикова, карбонатных черноземах – по методу Мачигина и в дерново-подзолистых, серых лесных и некарбонатных черноземных почвах – по методу Масловой.

Калийные удобрения получают из природных калийных руд, содержащих от 8 до 20 % K_2O . Подразделяются на три группы: концентрированные – продукт заводской переработки природных калийных солей (хлористый калий, сульфат калия и др.); сырые калийные соли – размолотые природные руды (каинит, сильвинит); калийные 30–40 %-ные соли, получаемые смешиванием сырых солей с концентрированными. В таблице 58 приведены основные данные о калийных удобрениях.

Калийные удобрения почти не вредны для человека. Исключение составляет хлоркалий-электролит (отработанный) и калийно-магниевый концентрат, пыль которых, попадая в дыхательные пути, вызывает сильный кашель и даже горловое и носовое кровотечения. Эти формы калийных удобрений раздражают слизистые оболочки глаз, носа и рта.

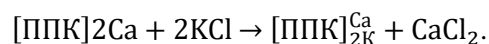
Таблица 58 – Калийные удобрения

| Наименование удобрения | Содержание действующего вещества в пересчете на окись калия (K ₂ O), % | Физическое состояние | Упаковка, расфасовка, транспортировка |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Хлористый калий технический, мелкозерный | Марка К Высший сорт – 62,5 Первый сорт – 62,0 | Кристаллический, рассыпчатый порошок белого цвета с сероватым оттенком | Навалом |
| | Марка Ф Второй сорт – 60,0 Третий сорт – 58,1 | Кристаллический, рассыпчатый порошок от розового до бурого цвета | Навалом |
| | Первый сорт – 60±0,6 Второй сорт – 58±0,6 Третий сорт – 54±0,6 | Гранулы и крупные кристаллы неправильной формы от розового до бурого цвета | Навалом |
| Хлористый калий удобрительный крупнозернистый и гранулированный | Первый сорт – 60±0,6 Второй сорт – 58±0,6 Третий сорт – 54±0,6 | Гранулы и крупные кристаллы неправильной формы от розового до бурого цвета | Навалом |
| Сульфат калия технический | 48,0 | Мелкие рассыпчатые кристаллы белого цвета, допускается сероватый оттенок | Навалом |
| Калийная соль смешанная 40 % | Не менее 40 | Серый кристаллический порошок с включениями розовых кристаллов. Продукт, обработанный жирными аминами, имеет цвет от розового до бурого | Навалом |
| Хлоркалий – электролит (отработанный) | 45,5 | Мелкокристаллический сильнопылящий порошок с желтоватым оттенком | Бумажные 5-слойные мешки массой 50±0,5 кг. По согласованию с потребителем отгружают навалом |
| Калимагнезия | Марка А Окись калия – 29±1 Окись магния – 9±1 | Гранулы неправильной формы, цвет белый, допускается розовый и сероватые оттенки. | Навалом или в 5-слойных битумированных мешках массой 40±1 кг |
| | Марка Б Окись калия – 29±1 Окись магния – 9±1 | Пылящий порошок белого цвета. Допускается розоватый и сероватый оттенки | Навалом или в 5-слойных битумированных мешках массой 40±1 кг |
| Калийно-магниевый концентрат | 18,5±1 | Гранулированный продукт серого цвета | Навалом |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|--|--|---|
| Каинит природный | Первый сорт – 10,0 Второй сорт – 9 | Крупные кристаллы розовато-бурого цвета | Навалом |
| Полигалит | K ₂ O не менее 10,0 MgO не менее 4 % | Кристаллы серого цвета | Навалом |
| Сильвинит молотый | 22,0 | Молотая соль состоит из крупных кристаллов розовато-бурого цвета с отдельными красными кристаллами | Навалом |
| Калий хлористый | Первый сорт KCl – 95±1 Второй сорт KCl – 91±1 | Спрессованные гранулы неправильной формы от белого до коасно-бурого цвета или крупно- зернистые естественные кристаллы от красного до бурого цвета | Навалом в специ- ализированных саморазгружаю- щихся или кры- тых железнодо- рожных вагонах |

Калийные удобрения содержат много поваренной соли, поэтому они привлекают животных. Попадая в организм животных, калийные удобрения нередко вызывают тяжелые отравления. Место, где разгружают и хранят минеральные удобрения, должно быть обнесено забором. Почти все калийные удобрения в той или иной степени гигроскопичны (поглощают влагу из воздуха), поэтому надо соблюдать правила их хранения. Отсыревшие калийные удобрения вызывают так называемое просаливание одежды и обуви, поэтому при работе с ними надо пользоваться резиновыми сапогами, прорезиненными фартуками и перчатками. При работе с пылящими калийными удобрениями, кроме спецодежды, надо применять противопыльные респираторы.

Во время использования калийных удобрений следует помнить, что все они хорошо растворимы в воде. После внесения в почву быстро растворяются и вступают в реакцию с почвенным поглощающим комплексом:



Калий и другие катионы (Na⁺, Mg²⁺), которые входят в состав калийных удобрений, поглощаются коллоидной частью почвы, а хлор остается в почвенном растворе и легко вымывается в более глубокие слои почвы. В результате этих реакций снижается подвижность калия и возможность его вымывания из почвы. Эта форма калия хорошо доступна для растений, коэффициент его использования из удобрений высок – 60–70 %.

Эффективность калийных удобрений лучше проявляется на бедных калием дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава и торфяных почвах. Здесь более эффективны калийно-магниевого удобрения (калимагнезия, калимаг, каинит), которые, кроме калия, содержат магний. На черноземных почвах калийные удобрения применяют преимущественно под культуры, которые усваивают много калия и натрия (сахарная свекла, подсолнечник, плодовые, корнеплоды, овощи). На каштановых и сероземных почвах калийные удобрения используют в зависимости от вида культуры, технологии выращивания и содержания калия в почве.

Все калийные удобрения (кроме поташа) – физиологически кислые соли, однако их физиологическая кислотность значительно меньше, чем у аммонийных удобрений, и проявляется лишь при длительном применении высоких доз удобрений под культуры, которые выносят большое количество калия (подсолнечник, сахарная свекла, картофель, корнеплоды, овощи) [6, 7, 9].

6.1.4. Комплексные минеральные удобрения

Комплексные минеральные удобрения – минеральные удобрения, содержащие не менее двух необходимых и незаменимых элементов питания растений. Их разделяют на четыре группы: сложные, комбинированные, сложносмешанные и смешанные.

Сложные удобрения – химические соединения, которые содержат не менее двух необходимых для питания растений элементов в одной молекуле. К таким удобрениям, например, принадлежат аммофос ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), диаммофос ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$), калийная селитра (KNO_3); метафосфат калия (KPO_3), метафосфат аммония (NH_4PO_3). Эти удобрения не содержат балласта.

Комбинированные удобрения – не являются определенными химическими соединениями. Их получают в едином технологическом процессе и в каждой грануле или частичке содержится не менее двух элементов питания. К комбинированным удобрениям принадлежат нитрофосы, нитрофоски, нитроаммофоски, диаммофоска, аммофоски. Эти удобрения имеют балласт, но его содержание значительно меньше, чем во многих простых удобрениях.

Сложносмешанные удобрения – удобрения, во время производства которых в процессе смешивания готовых односторонних удобрений к ним добавляют разные реагенты в виде аммиаков, кислот, азот- и фосфорсодержащих продуктов, воду, газообразный аммиак. К ним принадлежат аммонизированный суперфосфат, сульфоаммофос.

Смешанные удобрения (тукосмеси) – изготавливают механическим смешиванием гранулированных или порошковидных сложных односторонних удобрений и микроудобрений.

Комплексные удобрения сравнительно с односторонними имеют ряд преимуществ. В комплексных удобрениях содержание элементов питания выше, что значительно (примерно на 10 %) снижает затраты на их перевозку, хранение и внесение. Поэтому современное развитие производства минеральных удобрений направлено на выпуск более концентрированных комплексных удобрений. В данное время туковая промышленность представляет широкий ассортимент комплексных удобрений:

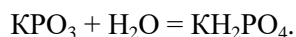
Аммофос (моноаммоний фосфат) $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ – высококонцентрированное гранулированное азотно-фосфорное удобрение; содержит 12 ± 1 % азота в аммонийной форме и 52 ± 1 % фосфора в легкорастворимой форме. Удобрение имеет выровненный гранулометрический состав, хорошую сыпучесть, не пылит, не гигроскопично и не слеживается. Физиологическая реакция удобрения – слабокислая.

Сульфоаммофос $(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ – водорастворимое гранулированное удобрение. Содержит 14–20 % азота, 20–34 % фосфора в легкорастворимой форме и 8–13 % серы, а также содержит кальций и магний. Физико-химические свойства аналогичны аммофосу, однако имеет более высокую растворимость фосфора.

Диаммофос ((NH₄)₂HPO₄) – гранулированное двойное азотно-фосфорное удобрение, содержит 20–21 % азота и 50–53 % P₂O₅ в растворимой форме. Имеет хорошие физические свойства, соотношение N:P₂O₅ = 1:2,5. Высокоэффективен для внесения в рядки на черноземах, особенно солонцеватых. Диаммофос – ценный компонент для приготовления тукосмесей.

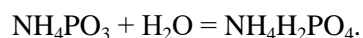
Калийная селитра (KNO₃) – содержит 13–14 % азота и 46 % K₂O, хорошо растворима в воде. Это белый кристаллический порошок, имеет хорошие физические свойства; особо ценна для культур, чувствительных к хлору.

Метафосфат калия (KPO₃) – содержит 60 % P₂O₅ и 33 % K₂O. Имеет хорошие физические свойства. Не растворим в воде, но полностью растворяется в 2 %-м растворе лимонной кислоты. Поэтому его целесообразно вносить на легких почвах. После внесения удобрения в почву постепенно происходит его гидролиз:



Удобрение эффективно тогда, когда надо внести одновременно фосфор и калий или вместе с азотными удобрениями. Как правило, вносят его под основную обработку почвы.

Метафосфат аммония (NH₄PO₃) содержит 17 % азота и 80 % P₂O₅. Имеет хорошие физические свойства. Около 40–60 % азота и фосфора нерастворимы в воде, однако после внесения в почву удобрение гидролизуется, вследствие чего азот и фосфор становятся доступными для растений:



Гидролиз происходит быстрее на кислых оподзоленных почвах, чем на нейтральных. Используют как основное удобрение.

Магний-аммонийфосфат (MgNH₄PO₄H₂O) выпускают в форме моно- и шестигидратной соли. Шестигидратный магний-аммонийфосфат – соединение нестойкое во время хранения, теряет азот при температуре 30–50°C. Моногидратный магний-аммонийфосфат содержит 10,9 % азота, 49,9 % P₂O₅ и 25,9 % MgO. Азот удобрения нерастворим в воде, а фосфор растворяется в лимонной кислоте. Удобрение имеет хорошие физические свойства. Его целесообразно вносить как основное удобрение на песчаных и супесчаных оподзоленных почвах, а также в условиях орошения под все культуры. Магний-аммонийфосфат можно использовать для приготовления тукосмесей.

Полифосфаты аммония содержат 16–18 % азота и 58–61 % P₂O₅. Фосфор в удобрении содержится в водорастворимой форме, а само удобрение полностью растворяется в воде. Удобрение гранулированное, имеет хорошие физические свойства. Каждая его гранула содержит в определенном соотношении NH₄H₂PO₄, (NH₄)₄P₂O₇, (NH₄)₃HP₂O₇. Наибольший эффект даёт на карбонатных почвах. Можно использовать как для прямого внесения, так и для приготовления тукосмесей.

Полифосфат калия содержит 57 % P₂O₅, и 37 % K₂O. Около 70 % фосфора удобрения растворяется в воде и около 30 % – в 2 %-м водном растворе лимонной кислоты. Имеет хорошие физические свойства, гранулированное. Целесообразно вносить под основную обработку почвы под культуры, чувствительные к хлору, а также для изготовления высококонцентрированных жидких комплексных удобрений. В гранулах удобрения содержатся в определенном соотношении KH₂PO₄, KH₃P₂O₇, K₂H₂P₂O₇ и так далее.

Полифосфаты мочевины содержат 31–35 % азота и 24–31 % P_2O_5 . Имеет хорошие физические свойства, гранулированное. Элементы питания находятся в доступной для растений форме. Целесообразно вносить на легких по гранулометрическому составу почвах как основное удобрение под зерновые культуры, корне- и клубнеплоды.

Аммонизированный суперфосфат содержит в среднем 14 % P_2O_5 , и около 3 % азота. В состав удобрения входят $Ca(H_2PO_4)_2$ и частично $NH_4H_2PO_4$, $(NH_4)_2HPO_4$, $CaHPO_4$. Имеет хорошие физические свойства, гранулировано. Можно применять на всех типах почв, под все культуры.

Аммофоска универсал – содержит: 12 ± 1 % азота, 15 ± 1 % фосфора, 15 ± 1 % калия и 14 % серы. Удобрение не содержит хлора. Фосфор представлен монофосфатом калия и аммония, калий – сульфатом калия, азот – сульфатом аммония. Форма питательных веществ удобрения снижает их вымываемость, что позволяет снизить дозы их внесения. Продукт не гигроскопичен, не слеживается, имеет хорошую сыпучесть.

Нитрофоска – комплексное удобрение, в котором азот, фосфор и калий приблизительно содержится в соотношении 11:10:11 (возможны и другие соотношения NPK). Содержит азот и калий в водорастворимой форме, а фосфор – 25–60 % в водорастворимой форме, другая часть – в лимоннорастворимой. Наиболее распространена сульфатная нитрофоска. В каждую гранулу удобрения входят такие соединения: $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$; $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$; NH_4NO_3 ; NH_4Cl ; KCl ; KNO_3 ; $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; $NH_4H_2PO_4$. Удобрение гранулировано, имеет хорошие физические и агрохимические свойства. Применяют его на всех типах почв, кроме солонцеватых, под все культуры и в разные сроки.

Нитрофос – содержит около 20 % азота и такое же количество P_2O_5 . Около 60 % фосфора в удобрении находится в водорастворимой форме. В состав этого удобрения входят NH_4NO_3 , $NH_4H_2PO_4$, $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$. Имеет хорошие физические свойства, гранулировано. Используют во всех зонах страны, под все культуры, когда надо внести азот и фосфор, а в калии растения не испытывают потребности.

Нитроаммофоска – содержит по 16–17 % азота, P_2O_5 и K_2O . Имеет хорошие физические свойства, гранулировано. Нитроаммофоска – гетерогенная система, которая состоит из смеси солей: $NH_4H_2PO_4$; $(NH_4)_2HPO_4$; NH_4NO_3 ; NH_4Cl ; KCl ; KNO_3 . Используют во всех зонах страны под все культуры.

Суперфоска – содержит 11–16 % P_2O_5 и 12–21 % K_2O . Это порошок темно-серого цвета, имеет удовлетворительные физические свойства, около 80 % фосфорной кислоты растворяется в воде. Используют на почвах с повышенным содержанием азота.

Карбоаммофоска – содержит по 19,8 % N, P_2O и K_2O . Чаще всего удобрение производят с соотношением элементов питания 1:1:1, но возможные и отклонения. Общее содержание элементов питания может достигать 60 %, азот находится в аммонийной и амидной формах, а фосфор – в водорастворимой. Удобрение имеет хорошие физические свойства, гранулированное. Кроме того, гранулы в 4–5 раз крепче, чем гранулы мочевины и аммиачной селитры, что очень важно при перевозке, хранении и внесении в почву. Себестоимость карбоаммофоски ниже, чем нитрофоски, а содержание питательных веществ выше. Вносят на всех типах почв и под все культуры.

Карбоаммофос – в зависимости от марки, содержит 19–32 % азота и 16–29 % P_2O_5 . Гранулированное, имеет хорошие физические свойства, водорастворимое. Вносят в почвы с высоким обеспечением калием.

Жидкое комплексное удобрение (ЖКУ). Представляет раствор, содержащий два элемента питания в соотношении N: P₂O₅ = 1:3,4. Содержит 10 % N и 34 % P₂O₅ в водорастворимой форме. Плотность раствора – 1,4 т/м³, температура начала кристаллизации не выше 18 °С. Получают нейтрализацией экстракционной полифосфорной кислоты газообразным аммиаком с последующим растворением в аммиачной воде. Благодаря отсутствию свободного аммиака удобрение можно вносить на поверхность с последующей заделкой любым почвообрабатывающим орудием. На основе ЖКУ можно готовить суспензированные растворы с включением азотных и калийных удобрений с добавлением стабилизирующих добавок – бентонитовых или полигорскитовых глин. Технологии приготовления предусматривают следующие соотношения N:P₂O₅:K₂O в суспензированных растворах 13:13:13, 20:10:10, 9:9:9, 18:18:18. ЖКУ, а также суспензированные растворы на его основе, эффективны при внесении под все культуры.

Сложносмешанные удобрения – продукт обработки готовых удобрений аммиаком, аммиакатами и кислотами с последующей грануляцией. Выпускаются с различным соотношением элементов питания с их общим содержанием от 25 до 50 %. Производится сложносмешанное удобрение чаще с соотношением N:P₂O₅:K₂O = 16:11:20, 5:16:35, 17:17:17, 10:20:20. Сложносмешанные гранулированные удобрения можно использовать под все культуры в основное и припосевное внесение. Наиболее эффективно для основного внесения под озимые зерновые культуры, озимый рапс и лен; марки 16:11:20 – под яровые зерновые, картофель, сахарную свеклу, гречиху; марки 10:20:20 – при возделывании овощных культур.

Смешанные удобрения – получают путем смешения готовых туков непосредственно в хозяйствах или на заводах. Более перспективно заводское приготовление. При составлении смесей в хозяйствах необходимо соблюдать определенные правила. Нарушение их ведет к отрицательным последствиям – потере элементов питания, переходу их в трудноусвояемую форму, отсыреванию смесей, затрудняющему их рассев и др. Лучше всего готовить туко-меси непосредственно перед внесением в почву [6,11,12].

6.1.5. Микроудобрения

Основной источник микроэлементов для растений – почва, однако не всегда и не все почвы могут полностью удовлетворить потребность растений в них. Раньше потребность культурных растений в микроэлементах частично удовлетворялась благодаря внесению навоза и минеральных макроудобрений. Например, 1 кг сухого вещества навоза содержит марганца – 201 мг, меди – 16, бора – 20, кобальта – 1, цинка – 96, молибдена – 2 мг. Из 100 кг простого суперфосфата вносится: цинка – до 1,5 г., меди – около 4,5, марганца – 1, молибдена – до 0,2 г. Следует отметить, что с урожаем сельскохозяйственных культур постоянно выносятся из почвы значительное количество всех микроэлементов. Кроме того, в данное время используют высококонцентрированные безбалластные макроудобрения, которые практически не содержат микроэлементов, а внесение органических удобрений резко уменьшилось. Поэтому появляется потребность во внесении микроудобрений.

Использование микроудобрений осуществляет эффективное устранение дефицита микроэлементов у культивируемых растений. Дефицит их может являться причиной сдерживания увеличения урожая сельскохозяйственных куль-

тур, несмотря на использование азотных, фосфорных и калийных удобрений. На красноземах растениям недостает бора и молибдена, на торфяниках – меди. В кислых почвах возрастает доступность для растений всех микроэлементов, за исключением молибдена и, наоборот, в нейтральных и слабощелочных почвах усвояемость молибдена возрастает, а всех других микроэлементов уменьшается.

Оптимизация питания растений микроэлементами позволяет значительно повысить эффективность азотных, фосфорных и калийных удобрений. Наибольшее применение в земледелии Российской Федерации получили борные, марганцевые, молибденовые, медные и цинковые микроудобрения (рис. 20; [1]).



Рисунок 20 – Классификация микроудобрений

В последние годы в ассортимент применяемых в земледелии прочно вошли и кобальтовые удобрения. Доказано, что кобальт усиливает азотфиксирующую активность клубеньковых бактерий. Он входит в состав витамина B_{12} , которого много в клубеньках на корнях бобовых растений. Кобальт положительно действует на активность фермента гидрогеназы, а также повышает активность нитратредуктазы в клубеньках бобовых культур.

Кобальт положительно влияет на синтез хлорофилла, накопление углеводов и жиров в растениях, повышает интенсивность дыхания, содержание аскорбиновой кислоты, нуклеиновых кислот. Этот элемент участвует в реакциях окисления и восстановления, стимулирует биохимические реакции в цикле Кребса и положительно влияет на энергетический обмен клетки, а так-

же биосинтез белка и нуклеиновых кислот. Кобальтовые удобрения значительно повышают урожайность люцерны, сои, клевера, льна, сахарной свеклы, гороха, гречки, ржи и других сельскохозяйственных культур. При недостатке в кормах соединений кобальта ($< 0,2$ % мг/кг) наблюдается потеря аппетита и резкое падение производительности у крупного рогатого скота, что приводит к заболеванию туберкулезом.

Общее содержание кобальта в почвах колеблется от 1 до 15 мг, а растворимых соединений – от 1 до 5 мг на 1 кг сухой почвы. Наименьшее содержание этого элемента наблюдается в дерново-подзолистых и кислых торфяных почвах. В качестве кобальтовых удобрений рекомендуется применять соли $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, CoSO_4 и CoCl_2 . Их используют для предпосевной обработки семян, некорневой подкормки (0,05–0,1 %-й раствор) и внесения в почву (0,2–0,3 кг/га).

Большинство почв имеют высокую поглотительную способность по отношению к микроэлементам. Поэтому вносить микроудобрения в почву в форме чистых солей не целесообразно. Такие микроудобрения слабо растворимы и эффективны только на почвах с кислой и слабокислой реакцией почвенного раствора. На нейтральных и слабощелочных почвах неорганические соли превращаются в слабо растворимые и труднорастворимые (гидроокиси, карбонаты), слабодоступные для растений соединения.

В последнее время высокая эффективность установлена при применении микроэлементов в форме *комплексонов (хелатов)*. Основная идея применения комплексонов солей микроэлементов построена на том, что многие хелаты металлов имеют гораздо большую растворимость, находясь в полуорганической форме, для которой характерна высокая биологическая активность в тканях растительного организма, что значительно повышает их усвоение растением. Комплексоны металлов устойчивы на всех типах почв и ограничений по pH почвенного раствора для них нет. Положительным является и то, что комплексоны можно использовать в качестве профилактического средства для предотвращения заболевания растений. Перевод микроэлемента в доступную для растений биологически активную форму (комплексонат металлов) осуществляется с помощью специальных кислот – *комплексообразователей*. Наиболее перспективными с биологической точки зрения для создания комплексонов микроудобрений являются: этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА); диэтилентриаминпентауксусная кислота (ДТПА); дигидроксibuтилендиаминтетрауксусная кислота (ДБТА); этилендиаминдигидратная кислота (ЭДДЯ); оксиэтилидендифосфоновая кислота (ОЭДФ); нитрилотриметиленфосфоновая кислота (НТФ).

В комплексонах главная роль принадлежит катиону металла, а комплексон играет роль транспортного средства, обеспечивающего доставку катиона и его устойчивость в почве и питательных растворах. Из комплексонов, содержащих карбоксильные группы, наиболее оптимальной является ДТПА, она позволяет использовать комплексонаты на почвах при pH выше 8, где другие кислоты малоэффективны. За рубежом предпочтение отдается производству микроудобрений на основе ЭДТА, что связано, прежде всего, с ее доступностью и относительно низкой стоимостью. Из комплексонов фосфоновой группы наиболее перспективной является ОЭДФ. По своей структуре ОЭДФ наиболее близка к природным комплексонам на основе полифосфатов, которые под действием света разлагаются в листьях растений до ацетатов и фосфатов. Последние используются для дополнительного питания растений фосфором [4, 6, 13].

6.2. Органические удобрения

Органические удобрения – удобрения, содержащие элементы питания в форме органических соединений растительного и животного происхождения. Их применение способствует накоплению гумуса, улучшает физико-химические свойства почвы – увеличивает запас элементов питания, понижает кислотность, повышает содержание поглощенных оснований, поглощательную способность и буферность, влагоемкость, скважность и водопроницаемость, обогащает почву микрофлорой, усиливает ее биологическую активность и выделение углекислоты, уменьшает сопротивление почвы при механической обработке, создает оптимальные условия для минерального питания растений, повышает устойчивость земледелия при неблагоприятных погодных условиях. В общем балансе элементов питания, вносимых ежегодно под сельскохозяйственные культуры, на долю органических удобрений приходится от 30 до 40 %. Около 75 % органических удобрений от внесенного количества минерализуется и участвует в питании растений, а 25 % гумифицируется и восполняет потери гумуса при возделывании сельскохозяйственных культур. При сложившейся структуре посевных площадей ежегодно минерализуется 1,0–1,2 т/га гумуса почвы (около 0,8 т/га под зерновыми культурами и однолетними травами; 1,2–1,5 т/га под пропашными культурами). На скорость минерализации гумуса влияют интенсивность обработки почвы, особенности севооборота, уровень внесения удобрений и гидротермические условия. За счет растительных остатков на связных почвах восстанавливается около 50 %, на легких почвах – до 40 % потерь гумуса; остальное количество должно быть выполнено за счет органических удобрений. К наиболее распространенным органическим удобрениям относятся подстилочный и бесподстилочный навоз, птичий помёт, сапрпель, торф, зелёное удобрение, а также различные компосты. Эти удобрения не перевозят на большие расстояния, а применяют на месте получения в хозяйствах, поэтому их ещё называют местными.

6.2.1. Навоз

Навоз – смесь твёрдых и жидких экскрементов сельскохозяйственных животных с подстилкой и без неё. Это полное органическое удобрение, которое содержит все необходимые для растений элементы питания. После внесения в почву под влиянием микроорганизмов он минерализуется. Доступность для растений азота и зольных элементов зависит от его состава, степени минерализации, биологических особенностей культуры, под которую вносится навоз. Во время минерализации азотистых соединений навоза в почве образуется аммиачный азот, который непосредственно используется растениями и микроорганизмами или поддается нитрификации. Часть азота удобрения под влиянием микроорганизмов переходит в состав гумуса.

В первый год внесения из навоза растения используют преимущественно аммиачный азот. На величину коэффициента использованного азота из навоза влияет степень его разложения. В среднем из слаборазложившегося навоза растения усваивают 7,8 %, полуперепревшего – 23,4, перепревшего – 17,5, а из перегноя – 4,8 % азота от общего его количества; из овечьего навоза – 30 %, конского – 20, коровьего – около 18, свиного – около 10 %. Использование фосфора из навоза в первый год составляет 35–45 %, это выше по срав-

нению с минеральными удобрениями (15–35 %). Коэффициент использования калия первой культурой из навоза и минеральных удобрений приблизительно одинаковый и составляет 50–70 %.

Навоз оказывает не только прямое действие на первую культуру, но и значительное последствие на 2–3 культуру (табл. 59).

Таблица 59 – Коэффициенты использования элементов питания растениями из органических минеральных удобрений

| Удобрения | Год действия и последствия | Коэффициент использования, % | | |
|--------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Органические | 1-й год | 20–30 | 35–45 | 50–60 |
| | 2-й год | 20–35 | 10–15 | 30–35 |
| | 3-год | 5–10 | 0–5 | 5–10 |
| | За ротацию севооборота | 50–60 | 50–60 | 80–90 |
| Минеральные | 1-й год | 60–70 | 15–35 | 60–70 |
| | 2-й год | 5–8 | 15–10 | 15–10 |
| | 3-год | 2–3 | 10–5 | 5–10 |
| | За ротацию севооборота | 70–80 | 40–50 | 80–90 |

Азот лучше используют растения из минеральных, а фосфор – из органических удобрений. Калий растения используют в одинаковом количестве.

Нормативная прибавка урожая от 1 т навоза для озимых зерновых составляет 25 кг зерна, картофеля – 105 кг клубней, сахарной свеклы – 125 кг корнеплодов, кормовых корнеплодов – 200 кг корней, кукурузы на силос – 190 кг зеленой массы, всех культур на пашне – 30 к.ед.

В зависимости от способов содержания скота различают подстилочный и бесподстилочный навоз. Подстилочный навоз – смесь жидких и твёрдых экскрементов животных с подстилкой и остатками корма. Количество и соотношение твёрдых и жидких выделений значительно различаются в зависимости от видов животных. Качество подстилочного навоза зависит от вида животных, типа кормления, количества и вида подстилки, способов хранения. Средний состав подстилочного навоза приведён в таблицах 60–61.

Таблица 60 – Химический состав подстилочного навоза

| Навоз | Влажность, % | Содержание, кг/т | | | | | | |
|------------------|--------------|-----------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----|-----|-----------------|
| | | органическое вещество | N _{общ} | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | SO ₄ |
| Солоmistый навоз | | | | | | | | |
| КРС | 75 | 210 | 5.0 | 2.5 | 6.0 | 4.0 | 1.1 | 0.6 |
| Свиной | 70 | 240 | 5.0 | 2.0 | 6.0 | 1.8 | 0.9 | 0.8 |
| Овечий | 65 | 300 | 8.0 | 2.5 | 6.5 | 3.3 | 1.8 | 1.5 |
| Конский | 70 | 220 | 6.0 | 3.0 | 6.5 | 2.1 | 1.4 | 0.7 |
| Смешанный | 75 | 220 | 5.0 | 2.5 | 6.0 | 3.5 | 1.2 | 1.0 |
| Торфяной навоз | | | | | | | | |
| КРС | 75 | 220 | 6.0 | 2.0 | 5.0 | 4.5 | 1.0 | 0.5 |
| Конский | 70 | 230 | 8.0 | 2.5 | 5.5 | 4.4 | 1.2 | 0.4 |

Таблица 61 – Содержание микроэлементов в подстилочном навозе, г/т

| Подстилочный навоз (влажность навоза 75 %) | Mn | Zn | Cu | B | Mo | Co |
|---|-------|------|------|-----|-----|-----|
| КРС | 112,5 | 38,3 | 8,4 | 3,8 | 0,2 | 0,3 |
| Свиной | 102,6 | 68,7 | 12,7 | 3,1 | 0,2 | 0,3 |
| Конский | 91,5 | 36,0 | 6,2 | 3,1 | 0,2 | 0,3 |

В качестве подстилки используется солома зерновых культур, торф, опилки, лиственной опад (табл. 62). Одна весовая часть соломы поглощает 3 части воды, верхового торфа – 10–15 частей, опилок – 4–4,5 части.

Таблица 62 – Содержание биогенных элементов в подстилке, кг/т

| Вид подстилки | Влажность, % | Азот | Фосфор | Калий |
|-------------------------|-----------------|------|--------|-------|
| Солома зерновых культур | 16,0 | 4,0 | 1,5 | 10,0 |
| Торф верховой | 60,0 | 4,0 | 0,4 | 0,3 |
| Торф переходный | 60,0 | 6,5 | 0,6 | 0,5 |
| Торф низинный | 60,0 | 10,0 | 1,2 | 0,7 |
| Опилки | 25,0 | 2,0 | 3,0 | 7,0 |
| Листовой опад | 14,0 | 10,0 | 2,5 | 3,0 |

По степени разложения различают 4 вида навоза, приготовленного на соломенной подстилке: свежий, полуперепревший, перепревший и перегной.

Свежий слаборазложившийся навоз – навоз подстилочный, в котором в результате микробиологических процессов подстилка и остатки корма имеют незначительно изменившийся цвет и прочность. Водная вытяжка красно-желтого или зеленоватого цвета.

Полуперепревший навоз – навоз подстилочный, в котором в результате микробиологических процессов подстилка и остатки корма приобрели темно-коричневый цвет, потеряли прочность и легко разрываются. Водная вытяжка густая, черного цвета. Масса навоза уменьшается на 20–30 %.

Перепревший навоз – однородная масса черного цвета, в которой визуально невозможно распознать отдельные соломинки. Водная вытяжка прозрачная. Навоз такой степени разложения теряет около 50 % массы и органического вещества.

Перегной – однообразная рыхлая, мелкокомковатая темная землистая масса, образовавшаяся при разложении органических остатков биоценоза. Потери первичной массы и органического вещества достигают 75 %.

Навоз доводить до перепревшего состояния или перегноя не следует, поскольку теряется значительное количество азота и органического вещества.

Для получения навоза высокого качества надо знать, как правильно его сохранять. Для хранения подстилочного навоза используют горячий, холодный и горячепресованный способы. При *горячем*, или *рыхлом*, хранении навоз укладывают в узкие, не шире 3 м, штабеля без уплотнения. При *холодном*, или *плотном*, способе хранения его складывают в штабель шириной около 5–6 м и высотой около 1 м, сразу же утрамбовывая; далее настилают новые слои навоза, пока высота уплотненного штабеля не достигнет 2,5–3 м; затем штабель накрывают резаной соломой или торфом. При *горячепрессо-*

ванном, или *рыхлоплотном*, способе хранения навоз вначале укладывают рыхло слоями 80–100 см и после повышения температуры в слое до 60–70°C (на 3–5 день) сильно уплотняют; штабель после уплотнения накрывают соломой или торфом. Разложение навоза при холодном способе хранения происходит в анаэробных условиях (за исключением поверхности штабеля), при этом сохраняется постоянное увлажнение. Температура в штабеле зимой не поднимается выше 20–25°C, летом – 30–35°C. Холодный способ хранения рассчитан на приготовление полуперепревшего навоза, который в зимний период образуется через 3–4 месяца после закладки штабеля. Перепревший навоз при таком хранении получается через 7–8 месяцев. Горячий и горячепрессованный способы хранения, при которых навоз разогревается до 70°C, применяют при обнаружении возбудителей желудочно-кишечных заболеваний и необходимости биотермического обеззараживания навоза. Горячепрессованный способ хранения применяется также для уничтожения семян сорняков и при необходимости ускорить разложение навоза, содержащего большое количество соломенной или торфяной подстилки. При горячепрессованном способе хранения полуперепревший навоз образуется через 1,5–2 месяца, перепревший – через 4–5 месяцев после закладки штабеля.

Навоз лучшего качества получают при хранении его холодным способом, при котором меньше потери азота и органического вещества, больше накапливается и сохраняется аммонийного азота. При горячем способе хранения из навоза с соломенной подстилкой в среднем теряется 32,6 % органического вещества и 31,4 % азота, при горячепрессованном – 24,6 и 21,6 %, при холодном – 12,2 и 10,7 %. Из навоза с торфяной подстилкой потери органического вещества и азота при горячем способе составляют 40,0 и 25,3 %, горячепрессованном – 32,9 и 17,0 %, холодном – 7,0 и 1,0 %.

В процессе хранения и разложения подстилочного навоза из него выделяется *навозная жижа*, которая содержит 0,1 % азота 0,03 % фосфора и 0,28 % калия; в жижеборниках при навозохранилищах – соответственно 0,26, 0,06 и 0,58 %. Навозную жижу используют в первую очередь для приготовления компостов, а также непосредственно на удобрение в основное внесение или подкормку.

Бесподстилочный навоз – это смесь твердых и жидких выделений животных с технологической водой и остатками корма. В зависимости от содержания воды различают полужидкий бесподстилочный навоз влажностью 83–93 %, жидкий – влажностью 93–97 % и навозные стоки – содержание свыше 97 % воды.

Выход бесподстилочного навоза зависит также от вида животных, их возраста, типа кормления, продолжительности откорма и технологии накопления. В среднем на одну голову крупного рогатого скота на протяжении стойлового периода затраты воды в сутки составляют 50–70 л, а на одного поросенка во время откорма – 6–9 л в сутки. Химический состав бесподстилочного навоза зависит от вида и возраста животных, рациона и способа удаления навоза из животноводческих помещений (табл. 63). При уменьшении в рационе концентрированных кормов содержание азота и фосфора в экскрементах снижается, калия – повышается.

Минерализация органического вещества бесподстилочного навоза происходит без доступа освобожденного кислорода, поэтому продуктами его разложения являются метан, сероводород, аммиак, меркаптан и другие вещества, что обуславливает неприятный запах.

Таблица 63 – Химический состав жидкого навоза, %

| Составная часть | Жидкий навоз | | Составная часть | Жидкий навоз | |
|-----------------|--------------|--------|---|--------------|--------|
| | КРС | свиней | | КРС | свиней |
| Сухое вещество | 11,0 | 10,5 | фосфор (P ₂ O ₅) | 0,19 | 0,32 |
| Общий азот | 0,42 | 0,5 | калий (K ₂ O) | 0,62 | 0,22 |
| Аммиачный азот | 0,28 | 0,35 | кальций (CaO) | 0,15 | 0,20 |

В жидком навозе от 50 до 70 % азота содержится в аммиачной форме и хорошо усваивается растением. Остальной азот входит в состав органических белковых соединений. Фосфор и калий используется так же, как и из минеральных удобрений.

В процессе хранения бесподстилочный навоз расслаивается на жидкую и твердую фракцию. В жидкую фракцию попадает 75–80 % питательных веществ, а в осадок – 20–25 %. Норму бесподстилочного навоза устанавливают по содержанию азота. Под картофель доза азота не должна превышать 180 кг/га, под корнеплоды и кукурузу – 320, на пастбищах и сенокосах – 200–240 кг/га. Бесподстилочный навоз используют для изготовления компостов. Жидкая фракция по трубопроводам направляется на орошение, выращивание водорослей или кормовых дрожжей.

6.2.2. Торф

Торф – отложение органического происхождения, состоящее из остатков болотных растений, подвергшихся неполному разложению при недостаточном доступе воздуха в условиях повышенной влажности. Состоит из негумифицированных растительных остатков, перегноя и минеральных соединений. По условиям образования торф разделяют на три типа: низинный (автотрофный), верховой (олиготрофный) и переходный (мезотрофный).

Низинный торф образуется в пониженных элементах рельефа из осоково-травянистой и древесной растительности и зелёных мхов, питаемых грунтовыми водами.

Верховой торф формируется на повышенных элементах рельефа из сфагновых мхов, пушицы и других растений, не привередливых к минеральным питательным веществам; питается атмосферными осадками.

Переходный торф занимает промежуточное место между двумя предыдущими. Нижние его пласты приближены к низинному, верхние – к верховому. Преобладает осоково-сфагновая и камышово-гипновая растительность. Питается водами поверхностного стока с суходолов.

По ботаническому составу различают торфы, которые состоят из остатков сфагновых и гипновых мхов, осоки, камыша и древесной растительности. По степени разложения торф делится на *слаборазложившийся* (содержит 5–25 % гумифицированных веществ), *среднеразложившийся* (25–40 %) и *сильноразложившийся* (более 40 % гумифицированных веществ). Слаборазложившийся торф целесообразно применять на подстилку, пропуская через скотный двор; среднеразложившийся – для компостирования; сильноразложившийся – для приготовления специальных питательных смесей.

От степени разложения торфа зависят его физические и физико-химические свойства. Чем меньше степень разложения, тем больше влагоемкость, буферность, влаго- и газопоглощительная способность. Емкость обмен-

ного поглощения торфа очень высокая – от 120 до 230 мг-экв на 100 г сухого торфа. Емкость поглощения верхового торфа составляет 125–152 мг-экв, низинного – 147–230 мг-экв. Ее величина возрастает соответственно степени разложения торфа. Переходный торф по емкости поглощения близок к верховому. По зольности торф бывает нормальнозольным (содержание золы до 12 %) и высокозольным (содержание золы более 12 %). В верховом торфе содержится до 5 %, в переходном – 5–10 %, в нормальнозольном низинном – 8–12 и более процентов золы.

Содержание элементов питания в торфе зависит от его вида и типа. Торф содержит все необходимые для растений биогенные элементы, однако, большая часть из них (в первую очередь – азот) становится доступной только после минерализации. Поэтому торф становится источником питания для растений лишь после биологического воздействия на него, что может быть осуществлено при компостировании его с навозом, навозной жижей, помётом и фекалиями.

Средний состав нормальнозольного торфа при влажности 60 % приведен в таблице 64.

Таблица 64 – Химический состав торфа

| Тип торфа | рН | | Содержание на сухое вещество, % | | | | | |
|------------|---------|---------|---------------------------------|------|---------|-------------------------------|------------------|---------|
| | водный | солевой | органическое вещество | зола | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO |
| Верховой | 3,0–4,5 | 2,6–3,2 | 95–98 | 2–5 | 0,7–1,5 | 0,05–0,15 | 0,05–0,10 | 0,2–0,4 |
| Переходный | 4,0–6,0 | 3,6–4,4 | 90–95 | 5–10 | 1,2–2,5 | 0,10–0,15 | 0,1–0,15 | 0,4–2,0 |
| Низинный | 5,5–7,0 | 4,8–5,8 | 85–92 | 8–15 | 2,5–3,5 | 0,2–0,6 | 0,15–0,20 | 2,0–6,0 |

Несмотря на высокое содержание азота в торфе, основная часть его (90–95 %) находится в органической форме и становится доступной для растений лишь после минерализации. Количество аммонийного и нитратного азота в хорошо разложившемся торфе не превышает 0,03–0,09 %. Если в золе торфа много кальция, его реакция близка к нейтральной, что дает возможность использовать его как удобрение. Если в торфе содержится много железа и алюминия, его реакция кислая – торф малопригоден как удобрение. Повышенная зольность торфа за счет глины и песка снижает его ценность как удобрения. Серы в верховом торфе содержится около 0,5 %, в низинном – 1,5 %. Содержание магния в нём составляет 0,1–0,4 %, фосфора – 0,03–0,4, калия – 0,03–0,1 %, причем содержание фосфора в торфе, как правило, низкое, за исключением торфа, где есть вивианит, калия – также низкое, что не дает возможности применять торф как источник калийного питания растений.

Торф, который используют на подстилку, должен поглощать большое количество жидких выделений и аммиак. Это верховой торф со степенью разложения 20–25 %, зольностью – 10–15 %, влажностью – до 50 %. Торф также используют для изготовления торфонавозных горшков для выращивания овощных культур. Для этого наиболее подходит низинный или переходный торф с нейтральной или слабокислой реакцией, степенью разложения 30–40 % и зольностью 3–15 %. Возможно использование торфа для мульчирования плодовых и овощных культур при внесении в междурядье слоем до 5 см.

6.2.3. Птичий помёт

Птичий помёт – продукт обмена в организме птицы в виде смеси экскрементов с остатками корма. Это вещество серо-зеленого цвета, комковато-пористой структуры.

В зависимости от технологии выращивания птицы помёт может быть подстилочным и бесподстилочным. При наземном содержании птицы на глубокой подстилке получают подстилочный помёт, а при клеточном содержании кур-несушек – бесподстилочный. Подстилочный помёт имеет невысокую влажность, рассыпчатость, и его можно использовать как обычный навоз. Для подстилки применяют торф, измельченную солому, опилки и другие влагоемкие материалы, которые раскладывают слоем толщиной 30–40 см. После загрязнения верхнего слоя его перемешивают с нижним. Возможно также применение подстилки слоем 5–10 см, а по мере загрязнения помётом добавляют свежую подстилку из расчета 150–200 г на одну голову в сутки. Замена подстилки необходима через 2–3 мес. для бройлеров (при замене поголовья), для кур-несушек – через 3–4 мес. молодняка – через 4–4,5 мес. В среднем за год от каждой курицы накапливается 6 кг, утки – 8, гуся – 10, индюка – 8 кг помёта.

Куриный помёт как удобрение имеет преимущество перед навозом. Помёт гусей и уток содержит больше воды и по содержанию и действию на урожай также приближается к навозу. Птичий помёт является быстродействующим органическим удобрением с высоким содержанием питательных веществ (табл. 65).

Таблица 65 – Химический состав различных видов птичьего помёта

| Удобрение | Влажность, % | Содержание, кг/т | | | | | | |
|-------------------------|--------------|-----------------------|------------------|-------------------------------|------------------|------|------|-----------------|
| | | органическое вещество | N _{общ} | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | SO ₄ |
| Птичий помёт | | | | | | | | |
| куры | 55 | 350 | 16,0 | 15,0 | 8,0 | 24,0 | 7,0 | 4,0 |
| утки | 70 | 250 | 7,0 | 9,0 | 6,0 | 11,0 | 2,0 | 3,0 |
| гуся | 75 | 230 | 5,0 | 5,0 | 9,0 | 8,0 | 2,0 | 9,0 |
| индюки | 75 | 230 | 7,0 | 6,0 | 5,0 | 5,0 | 2,0 | 3,0 |
| смешанный | 60 | 320 | 15,0 | 14,0 | 7,0 | 17,0 | 5,0 | 3,0 |
| Подстилочный помёт | 40 | 450 | 20, | 16,5 | 8,5 | 18,0 | 6,0 | 3,5 |
| Птичий помёт полужидкий | 85 | 110 | 9,0 | 9,0 | 3,0 | 9,0 | 4,0 | 2,0 |
| Птичий помёт жидкий | 95 | 40 | 3,0 | 2,5 | 1,0 | 4,0 | 1,02 | 0,7 |
| Стоки птичьего помёта | 98 | 18 | 1,2 | 1,1 | 0,6 | 1,8 | 0,5 | 0,3 |
| Сухой птичий помёт | 14 | 800 | 41,0 | 39,0 | 20,0 | 45,0 | 14,0 | 10,0 |

Химический состав помёта зависит от вида и возраста птицы, типа кормления и содержания. В водорастворимых соединениях находятся 50 % азота, содержащегося в помёте, 4 % фосфора и 60 % калия. Кроме макроэлементов, в состав птичьего помёта входят микроэлементы. В 100 г сухого ве-

щества содержится 15–38 мг марганца, 12–39 мг цинка, 1,0–1,3 мг кобальта, 0,5 мг меди, 367–900 мг железа.

Сырой помет обладает неблагоприятными свойствами: имеет сильный неприятный запах, содержит большое количество семян сорняков, яиц и личинок гельминтов и насекомых, множество микроорганизмов, среди которых нередко возбудители опасных заболеваний. При горячем хранении помета за три месяца теряется половина азота, большая часть фосфора и калия. Поэтому помет лучше хранить холодным способом с добавлением до 40 % сухого торфа, 1,5–2 % хлористого калия и 7–10 % суперфосфата или фосфогипса.

При клеточном содержании кур-несушек лучший способ сохранения элементов питания в помете – его термическая сушка при температуре 600–800 °С до влажности 17 %. Сухой помет гранулируют, гранулы имеют почти сферическую форму (купогран): купогран № 1 – 0,4– 1,0 мм; купогран № 2 – 1,0–2,0 мм; купогран № 3 – 2,0–2,6 мм.

Купогран и не гранулированный сухой помёт по содержанию элементов питания практически равноценны (табл. 66).

Таблица 66 – Химический состав сухого птичьего помёта и купограна, %

| Вид помёта | Вода | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|------------|-------|-----|-------------------------------|------------------|
| Сухой | 10–20 | 4,5 | 3,7 | 1,8 |
| Купогран | 14,0 | 3,0 | 2,0 | 1,0 |

Купогран можно сохранять в бумажных мешках в закрытом помещении. Недостатком такого способа переработки птичьего помета являются высокие эксплуатационные затраты и капитальные вложения.

По действию на урожайность культур сырой птичий помет почти не уступает минеральным удобрениям. Последствие помета выше, чем минеральных удобрений, поскольку часть азота в нем содержится в органической форме и постепенно усваивается растениями. Большая часть фосфора в помете – это органические соединения, которые слабо закрепляются в почве и по мере минерализации усваиваются растениями. Фосфор помета усваивается лучше, чем фосфор минеральных удобрений. Итак, помет является азотно-фосфорным удобрением и необходимо дополнительное внесение калийных удобрений.

Компостирование помета с низинным и верховым торфом при хранении торфопометных компостов не более 6 месяцев также позволяет уменьшить потери органического вещества и элементов питания.

6.2.4. Солома

Солома – побочная продукция, представляющая собой листья и стебли, оставшиеся после обмолота урожая зерновых культур. Солома является важным источником органического вещества для улучшения баланса гумуса в почве, т. к. содержание органического вещества в ней немногим меньше, чем в навозе.

Химический состав соломы довольно широко изменяется в зависимости от почвенно-климатических условий и вида культуры. Солома состоит, главным образом, из трех групп органических соединений – целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина (табл. 67).

Таблица 67 – Химический состав соломы различных культур, % сухого вещества

| Культуры | Гемипел-люлоза | Целлю-лоза | Лигнин | Сырой протеин | Декст-рины | Зола |
|----------|----------------|------------|--------|---------------|------------|------|
| Ячмень | 27 | 44 | 7 | 3,7 | 1,4 | 5,6 |
| Овёс | 16 | 41 | 11 | 4,7 | 2,0 | 4,8 |
| Рис | 26 | 33 | 7 | 2,8 | 0,6 | 5,7 |
| Пшеница | 36 | 39 | 10 | 3,0 | 0,7 | 3,4 |

Органические соединения, входящие в состав соломы, химически стабильны и могут быть использованы растениями только после разрушения микроорганизмами. Интенсивность разложения целлюлозы во многом определяется типом почвы. Характерный состав целлюлозоразлагающей микрофлоры неодинаков для различных типов почв и изменяется в зависимости от содержания органического вещества, гидротермических, физических и химических условий каждой почвы. Интенсивность разложения клетчатки обусловлена широтной зональностью и нарастает по генетическому ряду почв – от подзолов к дерново-подзолистым, серым лесным почвам и черноземам. Наибольшей целлюлозной активностью обладают микроорганизмы, выделенные из чернозема и бурой лесной почвы. Наименьшая активность наблюдается у микроорганизмов, выделенных из подзола.

Солома содержит ряд биогенных элементов питания растений (табл. 68). При таком содержании элементов питания растений с 4 т/га соломы зерновых культур в почву поступит 3200 кг/га органического вещества, 14–22 – азота, 3–7 – фосфора, 22–55 – калия, 9–37 – кальция и 2–7 кг/га магния, а также 5–8 г/га серы, 24 – бора, 12 – меди, 116 – марганца, 1,6 – молибдена, 160 – цинка и 0,4 г/га кобальта.

Таблица 68 – Содержание элементов питания растений в соломе, %

| Солома | Сухое вещество | Органическое вещество | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | Отношение C:N (N=1) |
|--------------|----------------|-----------------------|------|-------------------------------|------------------|------|------|---------------------|
| Рисовая | 86 | 81 | 0,41 | 0,08 | 0,58 | 0,20 | 0,06 | 80–90 |
| Пшеничная | 86 | 82 | 0,45 | 0,07 | 0,64 | 0,21 | 0,07 | 80–90 |
| Ржаная | 86 | 82 | 0,34 | 0,07 | 0,52 | 0,33 | 0,05 | 100–110 |
| Ячменная | 86 | 82 | 0,50 | 0,18 | 0,94 | 0,28 | 0,05 | 70–80 |
| Овсяная | 86 | 80 | 0,42 | 0,13 | 1,12 | 0,24 | 0,07 | 80–90 |
| Кукурузная | 86 | 82 | 0,46 | 0,16 | 1,26 | 0,32 | 0,14 | 60–80 |
| Рапсовая | 85 | 80 | 0,53 | 0,11 | 0,85 | 0,81 | 0,16 | 60–70 |
| Зернобобовых | 86 | 80 | 1,29 | 0,16 | 1,07 | 0,91 | 0,16 | 20–25 |

Традиционными способами подготовки соломы к использованию на удобрение являются получение подстилочного навоза, а также производство компостов, где солома служит одним из компонентов и хорошим влагопоглощающим материалом для бесподстилочного навоза и помета. Эффективным способом использования соломы является ее непосредственное применение на удобрение без отчуждения из агроценоза. Для этого используют солому рапса и других крестоцветных культур (горчица, сурепица, редька мас-

личная), солому гречихи, кукурузы, люпина, кормовых бобов, сои, которые в чистом виде практически не используются на корм и подстилку. Для удобрения рекомендуется также солома пшеницы, тритикале, ржи, а также излишки соломы ячменя, проса, овса и зернобобовых – гороха, вики, пелюшки.

Во всех видах соломы, кроме зерновых бобовых культур, широкое отношение углерода к азоту. В прямой зависимости от соотношения С:N находится скорость разложения соломы. Чем уже это соотношение, тем быстрее минерализуется солома. При внесении соломы в чистом виде в первый год наблюдается некоторое снижение урожая в результате дополнительного потребления азота почвы микрофлорой, разлагающей солому. Для исключения этого нежелательного явления на 1 т соломы вносят от 3,5 до 15 кг азота.

Ценность соломы как органического удобрения обусловлена высоким содержанием в ней органического вещества. Из применяемых в настоящее время удобрений солома зерновых культур содержит наибольшее количество органического вещества. По содержанию углерода солома в 3,5–4,0 раза превосходит подстилочный навоз, что является чрезвычайно важным в регулировании баланса органического вещества почвы.

Наряду с соломой в качестве дополнительного источника органического вещества может использоваться ботва картофеля, сахарной свеклы и кормовых корнеплодов. Средний химический состав ботвы при влажности 80 % приведен в таблице 69. После уборки товарной части урожая ботва подвяливается, равномерно распределяется по полю и заделывается в почву.

Таблица 69 – Содержание элементов питания растений в ботве сельскохозяйственных культур

| Культура | Влажность, % | Содержание, кг/т | | | | | |
|-----------------|--------------|-----------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----|-----|
| | | органическое вещество | N _{общ} | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO |
| Сахарная свекла | 80 | 120 | 3,5 | 1,0 | 5,0 | 1,0 | 1,0 |
| Кормовая свекла | 80 | 120 | 4,0 | 1,0 | 6,0 | 2,0 | 1,0 |
| Картофель | 80 | 120 | 2,0 | 0,5 | 4,0 | 1,5 | 1,0 |

Общее количество соломы или ботвы определяется по валовому сбору товарной продукции, умноженному на соответствующий коэффициент. Соотношение *основная продукция – побочная продукция* зависит от видового и сортового состава культур, величины урожая, почвенных и погодных особенностей, условий питания и т.д. и может изменяться в довольно широких пределах. Приняты следующие коэффициенты пересчета зерна и семян в солому, корне- и клубнеплодов в ботву: озимые зерновые и зернобобовые культуры, кукуруза, просо – 1,2; яровые зерновые культуры и гречиха – 1,0; рапс и другие крестоцветные культуры – 3,0; сахарная свекла – 0,5; картофель – 0,2; кормовые корнеплоды – 0,25.

Количество соломы для непосредственного применения на удобрения определяется по результатам баланса, т. е. по разнице между общим выходом соломы и потребностью в соломе на корм животным, на подстилку, для приготовления компостов, укрытия буртов, для хозяйственных нужд населения.

6.2.5. Сапропель

Сапропель – осадки пресноводных водоемов, образующиеся из отмерших растительных и животных организмов, минеральных веществ биогеохимического происхождения и привнесенных минеральных компонентов, имеющие зольность не более 85 %. Органическое вещество сапропеля состоит не только из образований самого озера, но и пополняется за счет поступлений с водосбора в виде коллоидных растворов. Накопление минеральных веществ происходит также за счет выпадения из раствора солей под влиянием геохимических процессов и в результате жизнедеятельности водных организмов. В итоге сапропель обогащается, помимо органического вещества, кальцием, фосфором, серой, микроэлементами и биологически активными веществами.

Сапропель добывают земснарядами с намыванием пульпы в водоотстойники, где после промораживания и следующего осушения он превращается в сыпучую массу влажностью около 80 %. В сухом сапропеле содержится 30–50 % органического вещества, 20–30 % углекислого кальция и магния (табл. 70). Содержит 1,3–4,5 % азота, 0,2–0,45 % фосфора, 0,3–2,1 % калия, pH – 5,7–7,1. Усвояемость элементов питания растениями составляет, % N – 30–40, P₂O₅ – 80–90, K₂O – 0–30.

Таблица 70 – Агрохимическая характеристика сапропеля

| Сапропель | Влажность, % | pH | Зольность, % | Содержание, % сухой массы | | | | |
|-----------------------|--------------|---------|--------------|---------------------------|-------------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | | | N | P ₂ O ₅ | CaO | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ |
| Органический | 9,3 | 3,2–8,2 | 20,5 | 2,9 | 0,18 | 2,1 | 1,7 | 0,18 |
| Органо-глинистый | 89,5 | 3,0–8,0 | 46,5 | 2,1 | 0,24 | 2,6 | 3,4 | 0,24 |
| Органо-известковистый | 84,7 | 6,0–8,5 | 45,8 | 1,8 | 0,45 | 18,2 | 1,8 | 0,45 |
| Известковистый | 73,2 | 6,6–8,5 | 56,1 | 1,3 | 0,18 | 36,2 | 1,7 | 0,18 |

По зольности сапропели разделяют на *малозольные* – до 30 %, *среднезольные* – 30–50 %, с *повышенной зольностью* – 50–70 % и *высокозольные* – 70–85 % золы. При содержании золы свыше 85 % отложения называют *илом*. Если оксида кальция больше 30 %, сапропели называют *карбонатными*, а если количество оксида кремния составляет 50 % – *кремнеземистыми*. В состав сухого вещества сапропеля входят микроэлементы: 200–1000 мг/кг марганца, 10–400 – цинка, 10–200 – бора, 2–60 – меди, 2–20 – молибдена, 2–15 мг/кг кобальта.

Для производства сапропелевых удобрений используется органический, органо-кремнеземистый и органо-известковистый сапропель.

Сапропелевые удобрения на основе органического или смешанного сапропеля в чистом виде рекомендуется применять при возделывании картофеля, кукурузы, кормовых корнеплодов, однолетних и многолетних трав, а также при коренном улучшении и перезалужении сенокосов и пастбищ. В среднем 1 т сапропелевых удобрений равноценна 0,6–0,8 т подстилочного навоза или торфонавозных компостов. Целесообразнее использовать органические, органо-кремнеземистые и органо-известковистые виды сапропелевых удобрений на почвах легкого гранулометрического состава.

Сапропель как удобрение используют в норме 30–40 т/га под зерновые культуры и 50–100 т/га – под пропашные. Применение сапропеля повы-

шает урожай культур, улучшает водно-физические и физико-химические свойства почв. Сапропель после внесения в почву уменьшает поступление радионуклидов и тяжелых элементов в растения. Целесообразнее применять сапропель на лёгких по гранулометрическому составу почвах. Его заделывают в почву через 5–7 суток после внесения.

Сапропель может применяться также для приготовления различных удобрительных смесей и компостов, мелиорантов, сапропелевых субстратов, растительных грунтов, а также для кормления животных в качестве ингредиента комбикормов, различных белково-витаминно-минеральных добавок и премиксов, т. е. обогатительных смесей биологически активных веществ.

6.2.6. Зелёные удобрения

Зеленое удобрение – это свежая растительная масса, запахиваемая в почву для обогащения ее органическим веществом, азотом и другими элементами питания. Часто этот прием называют сидерацией, а растения, выращиваемые на удобрение, – сидератами. Сидераты являются неисчерпаемым, постоянно возобновляемым источником обеспечения почв органическим веществом, а за счет бобовых сидератов – и биологическим азотом. Для зеленого удобрения выращивают бобовые культуры: люпин, донник, горох, сераделлу и другие, которые в процессе азотфиксации накапливают значительное количество азота (150–200 кг/га) и органического вещества, которое равноценно 30–40 т/га навоза. Небобовые сидераты: рапс, горчицу, гречиху и другие выращивают для пополнения почвы органическим веществом и защиты от вымывания нитратов в осенний период.

Различают следующие три основные формы зеленого удобрения: полное, укосное и отавное. *Полное* – в почву запахивают всю вегетативную массу и корни растений; *укосное* – зеленую наземную массу для заправки перевозят на другой участок; *отавное* – запахивают отаву и стерневые остатки растений. Агроэкономически наиболее целесообразно отавное применение зеленого удобрения; зеленая масса в этом случае используется на корм животным.

На зеленое удобрение используются также две формы сидератов – в качестве самостоятельной и промежуточной культуры. Как самостоятельная культура, сидераты занимают поле весь вегетационный период. При промежуточном использовании сидеральные культуры высеваются между основными культурами. Промежуточные культуры в свою очередь подразделяются на следующие группы: подсевные, пожнивные, поукосные и озимые. Химический состав различных видов зеленого удобрения приведен в таблице 71.

Таблица 71 –Содержание биогенных элементов в зеленом удобрении

| Культура | Влажность, % | Содержание, кг/т | | | | | |
|---------------|--------------|-----------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----|-----|
| | | органическое вещество | N _{общ} | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO |
| Бобовые | 80 | 140 | 5,0 | 1,1 | 3,0 | 3,0 | 1,4 |
| Крестоцветные | 80 | 140 | 4,0 | 1,3 | 3,8 | 2,0 | 1,0 |
| Злаковые | 80 | 140 | 3,5 | 1,2 | 2,8 | 1,0 | 0,4 |
| Смесь | 80 | 140 | 4,2 | 1,2 | 3,2 | 2,0 | 1,0 |

В зеленой массе сидератов содержится столько азота, как и в навозе, но меньше фосфора и калия. Поэтому, запахивая сидераты, нужно вносить фосфорно-калийные удобрения. Коэффициент усвоения азота из зеленого удобрения в первый год использования вдвое выше, чем из навоза.

6.2.7. Компосты

Компост – органическое удобрение, полученное в процессе компостирования.

Компостирование – это биологический процесс минерализации и гумификации органических веществ.

Как правило, компост состоит из двух основных компонентов. Один из них (навоз, птичий помет, фекалии, жидкий навоз) богат элементами питания, микрофлорой и имеет значительное количество легкогидролизovaných азотистых соединений, другой (торф, солома, опилки, лигнин) – беден питательными веществами, но имеет высокую водопоглощающую способность и низкую степень разложения. В компостную смесь могут добавляться и минеральные компоненты.

Высококачественный компост представляет собой однородную, темную, рассыпчатую массу влажностью не более 75 %, с реакцией, близкой к нейтральной, и содержанием элементов питания в доступных для растений формах соединений. При приготовлении компостов в результате биотермических процессов погибают патогенные микроорганизмы и теряют жизнеспособность семена сорных растений, а само удобрение становится более концентрированным и биологически активным.

Компост готовят очаговым, послойным, площадочным, цеховым и другими способами возле животноводческих помещений на специально выделенных площадках или непосредственно на краю поля. Наибольшее распространение имеют компосты на основе торфа и лигнина.

Торфонавозные компосты получают перемешиванием торфа с навозом в различном соотношении в зависимости от влажности компостов (табл. 72)

Таблица 72 – Оптимальное соотношение торфа и бесподстилочного навоза для приготовления торфонавозных компостов (по массе)

| Влажность компоста, % | Влажность торфа, % | Влажность навоза, % | | | | |
|-----------------------|--------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 80 | 85 | 88 | 90 | 92 |
| 70 | 50 | 0,5:1 | 0,75:1 | 0,9:1 | 1:1 | 1,1:1 |
| | 55 | 0,7:1 | 1:1 | 1,2:1 | 1,3:1 | 1,5:1 |
| | 60 | 1:1 | 1,5:1 | 1,8:1 | 2:1 | 2,2:1 |
| 75 | 50 | 0,2:1 | 0,4:1 | 0,5:1 | 0,6:1 | 0,7:1 |
| | 55 | 0,25:1 | 0,5:1 | 0,65:1 | 0,75:1 | 0,85:1 |
| | 60 | 0,3:1 | 0,7:1 | 0,9:1 | 1:1 | 1,1:1 |

Химический состав торфонавозных и других видов компостов приведен в таблице 73.

Таблица 73 – Химический состав различных компостов

| Удобрение | Влаж-ность, % | Содержание, кг/т | | | | | | |
|---|---------------|------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|------|-----|-----------------|
| | | органи-ческое вещество | N _{общ} | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | SO ₄ |
| Торфонавозный компост 1:1 | 70 | 220 | 5,0 | 1,6 | 4,0 | 3,5 | 0,6 | 0,3 |
| Торфонавозный компост 1:2 | 70 | 220 | 5,5 | 1,8 | 4,5 | 4,0 | 0,8 | 0,4 |
| Торфонавозный компост 1:3 | 70 | 220 | 6,0 | 2,0 | 5,0 | 4,5 | 1,0 | 0,5 |
| Торфожижевый компост | 75 | 200 | 5,0 | 1,0 | 3,0 | 3,0 | 0,5 | 0,3 |
| Торфопомётный компост 1:1 | 70 | 250 | 10, | 8,0 | 3,0 | 9,0 | 3,0 | 1,5 |
| Торфопомётный компост 1:2 | 70 | 250 | 12,5 | 10,0 | 4,0 | 10,0 | 4,0 | 2,0 |
| Торфофекальный компост | 70 | 240 | 6,5 | 3,0 | 4,0 | 3,5 | 0,6 | 0,3 |
| Костра льна + навоз бесподстилочный | 72 | 200 | 4,7 | 2,0 | 7,3 | 4,0 | 0,8 | 0,3 |
| Лигнинонавозный компост с доломитовой мукой (1:1) | 60 | 220 | 5,3 | 2,8 | 6,8 | 7,0 | 3,5 | 10,0 |
| Лигнинонавозный компост с известковым молоком (1:1) | 62 | 220 | 6,2 | 2,4 | 8,0 | 10,0 | 2,5 | 12,0 |
| Лигнинопомётный компост (1:1) | 55 | 240 | 5,4 | 5,4 | 2,4 | 9,0 | 3,5 | 12,5 |
| Смешанный (сборный) компост | 70 | 200 | 5,0 | 2,0 | 4,5 | 4,0 | 0,8 | 0,4 |
| Компост с бытовыми отходами и осадком сточных вод | 70 | 200 | 6,0 | 2,0 | 1,5 | 3,0 | 1,0 | 3,0 |

Торфонавозные компосты готовят послойным, очаговым и площадочным способами. Для их изготовления используют все виды торфа влажностью 50–60 %. Торфонавозные компосты лучше готовить вблизи животноводческих ферм летом, поскольку зимой биологические процессы замедляются, компосты часто промерзают и их качество снижается.

Технология производства торфонавозных компостов простая. На одну часть массы навоза зимой надо брать не больше одной части торфа, а в весенне-летний период – до 3–4-х частей. К кислым торфам добавляют 2–5 % извести или мергеля. Компосты не уплотняют, чтобы лучше проникал в них воздух и интенсивнее происходили микробиологические процессы.

Торфожижевые компосты готовят на основе торфа и навозной жижи. На каждую тонну уложенного торфа вносят около 3 т навозной жижи. Когда торф поглотит жижу, массу сгребают бульдозером в бурты и уплотняют.

При приготовлении *торфофекальных компостов* на 1 т торфа добавляют 0,5 т фекалий. Температура в компостируемой массе торфофекального компоста должна подняться до 60 °С для уничтожения патогенной микрофлоры.

ры. Поэтому торфофекальный компост уплотняют в буртах только после необходимого разогревания. Лучше вносить торфофекальные компосты на второй год после закладки; не рекомендуется их использовать под овощные культуры.

Торфопометные компосты готовят на птицефабрике или непосредственно в хозяйстве в соотношении 1:1 или 1:2. В качестве дополнительных компонентов могут использоваться опилки (3 части помета и 2 части опилок) и древесная кора (1,5 части коры на 1 часть помета). Для ускорения разложения компостов с использованием опилок и древесной коры в них добавляют навозную жижу или азотное удобрение (2 кг мочевины на 1 ц компостируемой массы). Компост созревает от трех месяцев до двух лет в зависимости от компонентов, температуры, влажности, условий аэрации.

Лигнинонавозные компосты получают компостированием лигнина с навозом. Лигнин – одно из самых распространенных в природе органических веществ; он входит в состав одревесневших клеток всех наземных растений. Гидролизный лигнин (отходы гидролизно-дрожжевой промышленности) представляет собой торфообразную органическую массу, содержащую зольные элементы, водорастворимые лигнокислоты, остаточные углеводы. Средний химический состав лигнина при естественной влажности 55–75 %, рН 3,2 и зольности – 8,8 %, следующий: общий углерод – 16,2 %, углерод гуминовых кислот – 1,6, углерод фульвокислот – 1,8, азот общий – 0,14, фосфор общий – 0,021, калий общий – 0,032, кальций общий – 0,25, сера общая – 0,38 %.

В чистом виде из-за высокой кислотности лигнин на почвах с кислой реакцией применять не рекомендуется. Для устранения кислотности лигнин нейтрализуют известковым раствором. Для ускорения созревания компосты с лигнином лучше готовить в весенне-летний период в небольших буртах высотой не более 1 м, равномерно перемешивая массу. В широких и низких буртах атмосферные осадки, проникая через толщу компоста, способствуют лучшему взаимодействию лигнина с нейтрализующими материалами и навозом.

Смешанные (сборные) компосты готовят из торфа, навоза, листьев, опилок, соломы, ботвы, растительных и древесных отходов и золы. Компост увлажняют жидкими органическими удобрениями и перемешивают. Созревает такой компост от 3 до 12 месяцев. В цветоводстве, а также при озеленении территорий и в лесопарковом хозяйстве применяют компосты на основе осадков сточных вод и бытовых отходов.

Вермикомпосты (биогумус, экогумус, биоудобрение) – получают на основе переработки органического субстрата червем. Это выделение в окружающую среду червями капролитов – биологического материала, который состоит из высокомолекулярных органических соединений, которые имеют циклическую структуру и алифатические цепи, не слеживается и не имеет запаха. В среднем состав вермикомпоста такой: рН = 6,5–7,2; влажность – 40–60 %; содержание сухого органического вещества – 40–60 %; гумуса – 10–12 %; азота общего – 0,9–3,0 %; P_2O_5 – 1,3–2,5 %; K_2O – 1,5–2,5 %; CaO – 4,5–8,0 %; MgO – 0,5–2,3 %; FeO – 0,2–2,5 %; Cu – 3,5–5,1 мг/кг; Mn – 60–80 мг/кг; Zn – 28–35 мг/кг.

Ценность вермикомпоста заключается в том, что он обогащает почву микрофлорой (сравнительно с навозом в 100 раз больше), содержит все необходимые элементы питания в доступной для растений форме, имеет близкую к нейтральной реакцию среды и не имеет патогенной микрофлоры. Элементы

питания находятся в органической форме и после внесения в почву минерализуются на доступные для растений соединения. Средние дозы вермикомпоста составляют 3–5 т/га.

Жидкий вермикомпост (риверм) изготавливают так: хорошо просеянный вермикомпост увлажняют до 75 %. Через несколько часов смесь центрифугируют, вследствие чего она разделяется на темную жидкость и твердую фазу, которая содержит 65–80 % сухого вещества. В результате отстаивания жидкость разделяется на три части: в нижний выпадает осадок тяжелых частичек, над ним находится желто-коричневая жидкость, над которой – легкий коллоидный слой, подобный мази, который легко отделяется простым смыванием с поверхности. Все фракции можно использовать: коллоидную «пасту» для питания растений в условиях орошения, для декоративных и комнатных растений, для выращивания рассады. Жидкую фракцию после разбавления водой – для орошения, осадок – как добавку в почву тепличных хозяйств. Паста вермикомпоста имеет такой состав: сухого вещества – 33 %; органического – 29 %; N – 0,95 % мг/кг; P₂O₅ – 0,12 %; K₂O – 0,12 %; Ca – 224,5; Mg – 104; C – 26,4; Mo – 1,32 мг/кг; pH – 7,35. Жидкая фаза вермикомпоста имеет pH 7,47 и содержит: сухого вещества – 0,3 %; N – 0,69; P₂O₅ – 0,13; K₂O – 0,32 %; Co-0,076 мг/100мл.

Используют риверм для удобрения зерновых, овощных культур, клубне- и корнеплодов [6,9,14].

6.3. Химические мелиоранты

6.3.1. Известковые материалы

Коренной агрохимический прием нейтрализации повышенной кислотности почв – *известкование*, т. е. внесение в почву веществ, нейтрализующих ее повышенную кислотность. Их применение нейтрализует минеральные и органические кислоты в почвенном растворе и вытесняет ионы водорода из поглощающего комплекса, что приводит к устранению обменной и значительному снижению гидролитической кислотности почвы. При этом изменяется катионный состав почвенного поглощающего комплекса вследствие замены ионов водорода и алюминия на катионы кальция и магния, что приводит к повышению степени насыщенности почв основаниями и увеличению емкости поглощения. После внесения извести хорошие агрохимические свойства почвы и ее структуры сохраняются в течение ряда лет. Это создает благоприятные условия для мобилизации элементов минерального питания растений, возрастания микробиологической активности почвы: усиливается деятельность аммонификаторов, нитрификаторов, свободноживущих азотфиксирующих бактерий. Известкование способствует размножению клубеньковых бактерий и лучшему снабжению растения-хозяина азотом. Повышается эффективность применяемых в агроценозах бактериальных препаратов. На кислых почвах они практически не работают.

Д.Н. Прянишников так оценивает роль известкования почвы в изменении ее агрохимических свойств: «Из всех сторон многообразного действия извести на почву наиболее важной является устранение избыточной кислотности, борьба с которой и является обычно главным поводом к применению известкования».

Известкование позволяет предотвратить декарбонизацию пахотного слоя почвы, улучшает ее физические, водно-физические, физико-химические

свойства и микробиологическую активность, создает благоприятные условия для высокоэффективного использования агрохимических средств, роста количества и качества урожая сельскохозяйственных культур. Средние прибавки от этого агроприема составляют: зерновых и зернобобовых (зерно) – 2–5 ц/га, сахарной свеклы (корнеплоды) – 40–50, картофеля (клубни) – 15, клевера (сено) – 10–15, кукурузы (зеленая масса) – 50–75, соломы льна – 3, семян льна – 1, столовой свеклы и капусты – 30–80 ц/га.

Известковые материалы, применяемые в качестве мелиоранта, добываются из залежей, т. к. природа сама устроила «известковые кладовые». Некоторые известковые материалы являются отходами различных промышленных производств. Известковые материалы делятся на: 1) твердые известковые породы, требующие размола или обжига; 2) мягкие известковые породы, не требующие размола; 3) отходы промышленности, богатые известью. Все известковые материалы по характеру производства делят на три группы: 1) промышленного производства (известковая и доломитовая мука), 2) отходы промышленности (цементная пыль, доменный шлак сланцевая зола) и 3) местные (мел-рухляк, мергель, гажа). Известковые материалы могут быть пылевидными (известковая мука промышленного производства, цементная пыль, сланцевая зола циклонная) и слабопылящими (дефекат, известковый туф, мергель, природная доломитовая мука). Характеристика известковых материалов приводится в таблице 74.

Известковые материалы по агроэкологической эффективности существенно не различаются. Экономически следует предпочитать те, которые удобнее для предприятия и более дешевы. Технология известкования описана А.М. Артишиным и Л.М. Державиным (1984). Ниже приводим ее в кратком их изложении.

Научной основой для определения потребности почв в известковании являются: 1) прямая или сопряженная связь между кислотностью почвы и эффективностью известкования; 2) установленные в соответствии с физиологическими особенностями растений градации реакции среды, являющиеся оптимальными для их произрастания. Основываясь на этих научных положениях, разработаны методы определения потребности почв в известковании, в которых в качестве индикаторов берутся либо сами растения, либо результаты лабораторных методов, проверенные путем сопоставления с поведением растений в природных условиях. В соответствии с этим методы определения нуждаемости почв в известковании делятся на следующие четыре группы: 1) метод наблюдения за ростом дикорастущей и культурной растительности; 2) биологические экспериментальные методы – полевые опыты с растениями и микробиологические; 3) метод визуальной оценки морфологических признаков почвы; 4) агрохимические методы определения степени нуждаемости почв в известковании.

По степени токсичности все известковые материалы можно условно разделить на три группы.

К первой группе относятся следующие пылящие известковые материалы: известковая мука тонкого помола с частичками менее 1 мм в диаметре, жженая известь, шлаковая мука, сланцевая зола, пыль печей цементных заводов.

Ко второй группе относятся все слабопылящие известковые материалы, а также известковые материалы первой группы, но грубого помола.

К третьей группе относятся дефекат, известковый туф, мергель, гажа, торфотуф. Все известковые материалы поставляют без тары [3,4,12].

Таблица 74 – Характеристика известковых материалов

| Известковый материал | Способ получения (приготовления) | Влажность, % | Состав, % на сухое вещество | | | Форма извести в удобрении | Действие | Оценка мелиоранта и особенности его применения |
|---|--|--------------|--|---|-----------------------|--|--|---|
| | | | окись кальция (CaO) + окись магния (MgO) | общее содержание CaO + MgO в пересчете на CaCO ₃ | примеси | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Известняк молотый (известковая мука), сорт 2-й | Размол твердых известняков на молотковых мельницах | ≤ 4 | 42–56 | 85–100 | 0–15 (глина, песок) | CaCO ₃ | Сравнительно медленное, особенно у кристаллических твердых известняков | Основное известкование. Применяют для известкования кислых почв под различные культуры. Действует тем сильнее, чем тоньше размол |
| Известняк молотый (известковая мука пылевидная), сорт 1-й | То же, но на шаровых мельницах | ≤ 1,5 | 42–56 | 85–100 | 0–15 (глина, песок) | CaCO ₃ | Действует сильнее предыдущего | Как и предыдущее, но предназначено для рассева пневматическим методом (цементовозами) |
| Известняк молотый доломитизированный и доломит | Размол | < 8 | 39–54 | 85–108 | 0–15 (глина, песок) | CaCO ₃ + MgCO ₃ | Несколько медленнее, чем молотый известняк | Рекомендуется в севооборотах с бобовыми, картофелем, льном, кормовыми корнеплодами и на сильнооподзоленных почвах. Не слеживается |
| Мергель | Выемка из природных залежей | - | 14–42 | 25–75 | 25–75 (глина, песок) | CaCO ₃ иногда MgCO ₃ | Медленное | Применяют под все культуры |
| Мел | Выемка и размол | < 12 | До 56 | 90–100 | 0–10 SiO ₂ | CaCO ₃ | Действует быстрее молотого известняка | Ценно для известкования легких почв. Ценное известковое удобрение в тонкоразмолотом виде. Слеживается слабо |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|------|-------|-------------------------|---------------------------|---|--|---|
| Туф известковый (ключевая известь) | Добывается из залежей по берегам рек, ручьев и ключей | <50 | 42–54 | 75–96 реже меньше | 5–25 (глина, песок) | CaCO ₃ | Действует быстрее молотого известняка, но не медленнее, чем жженая известь | Не требующий размола известковый материал; иногда необходимо лишь отсеивать более крупные твердые агрегаты или измельчать их. Не слеживается. Предварительно подсушивается в штабелях |
| Гажа (озерная известь) | Добывается из залежей на месте древних усохших замкнутых водоемов | < 50 | 48–56 | 80–100 | 0–20 (глина, песок) | CaCO ₃ | Действует быстрее, чем известковый туф | Ценный высокоэффективный материал, почти целиком состоящий из мелких частиц (0,25 мм). Предварительно подсушивается в штабелях |
| Торфотуф и торфогая | Добывается из залежей в низинных торфяниках | < 80 | 6–28 | 10–50 | 50 и более (торф) | CaCO ₃ + поглощенный Ca | – | Особенно ценны для известкования кислых, бедных гумусом почв, расположенных вблизи залежей торфотуфов. Не слеживается. Заблаговременно укладывается в штабеля без обезвоживания. |
| Доломитовая мука | Добывается из природных рыхлых залежей | < 16 | < 52 | 95–109 | 1,5–4 (глина, песок) | CaCO ₃ до 56%, MgCO ₃ до 42% | Действует медленнее, чем известковый туф | Высокоэффективный, не требующий размола материал. В остальном, как молотый доломит. Не слеживается |
| Известь жженая негашеная (комовая или молотая обожженная известь) | Обжиг твердых известняков; перед употреблением гасится, а молотая применяется непосредственно | | < 100 | <178 | Мало | CaO | Очень сильно- и быстродействующий известковый материал | Негашеная известь используется в размолотом виде; комовая – перед внесением гасится до получения пушенки |
| Известь жженая гашеная (пушенка) | Гасится водой или присыпается сырой землей | | < 76 | < 135 | Мало | Ca(OH) ₂ | Действие быстрое и сильное | Быстродействующий известковый материал. Особенно ценен для известкования тяжелых глинистых почв. Менее пригоден для легких почв, бедных органическим веществом |

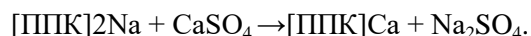
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------------------------|--|---------|-------|-------|---|---|---|---|
| Зола сланцевая циклонная | При сжигании горючего сланца в топках на заводах и электростанциях в тонкомолотом виде | < 1,0 | 40–45 | 65–80 | 2–3,6 MgO, 1–2 K ₂ O, 0,5–1,2 P ₂ O ₅ , 3–7 SO ₃ , до 31 SiO ₂ и микроэлементы | В форме окиси и карбонатов и в виде силикатов Ca, K, Na | Действие быстрое и усиливающееся на 2–3-й год; тонкий пылевидный порошок <0,25 мм | Ценное удобрение, пригодное для непосредственного внесения под все культуры, в том числе под картофель, лен. Содержит некоторые питательные вещества и микроэлементы, сильно пылит. При смачивании цементируется. |
| Зола торфяная | Остаток после сжигания торфа | - | 8–15 | 14–27 | 1,7 MgO, 1,2 K ₂ O, 1,1 P ₂ O ₅ , 30 SiO ₂ , 22 R ₂ O ₃ , органическое вещество | Главным образом в виде силикатов и отчасти карбонатов | Действие слабое из-за малого содержания оснований | Сравнительно малоэффективное удобрение. Применяется для известкования близко расположенных полей |
| Зола сланцевая колосниковая | При сжигании в кусках | < 10–15 | 40–45 | 65–80 | 1,7 MgO, 1,2 K ₂ O, 1,1 P ₂ O ₅ , 30 SiO ₂ , 22 R ₂ O ₃ , органическое вещество | Главным образом в виде силикатов и отчасти карбонатов | В молотом виде высокоэффективно, как и циклонная сланцевая зола | Для использования требует размола или отсеивания комков |
| Белитовая мука (шлам) | Отход алюминиевого производства | 10–15 | 40–50 | 80–90 | 1,5 MgO, до 30 SiO ₂ , 0,04–1,2 MnO ₂ , 1,2 K ₂ O и микроэлементы | | Действие аналогично сланцевой золе | В виде мелкозернистой сыпучей массы. Цементируется слабо |
| Цементная пыль | Отход цементных заводов из холодных камер | 0–2 | 46–58 | < 86 | До 1,0 MgO, 15,5 SiO ₂ , 2,4 SO ₃ , различное количество K ₂ O | CaO, Ca(OH) ₂ и в виде силикатов | Быстро- и сильнодействующий мелиорант | Тонкий пылевидный порошок (меньше 0,5 мм – 95%), при смачивании цементируется. Пригоден под все культуры, в том числе под картофель, лен |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|--------------------------------------|---------|-------------|--------|---|--|---|--|
| Дефекат (дефекционная грязь) | Отход свеклосахарного производства | < 40–50 | Около 40–50 | < 70 | Немного SO ₃ , 0,3–0,5 N, 1–2 P ₂ O ₅ , 0,6 – 0,9 K ₂ O, до 1 5 органического вещества- | CaCO ₃ с примесью Ca(OH) ₂ | Хороший известковый мелиорант. Положительно действует и на слабокислых почвах | По эффективности выше туфа и даже пушенки. До внесения должен проветриться и просохнуть. Пригоден под все культуры |
| Подзол и отзол | Отход кожевенных производств | < 40 | < 60 | < 107 | 0,6–1,5 N, 50 органического вещества, может содержать Cl и Na | Главным образом в форме Ca(OH) ₂ | Действие достаточно сильное | Нуждается в подсушивании, иногда измельчении. Предварительно следует проветрить для обезвреживания сернистых соединений. Вносится в небольших дозах и за долго до посева |
| Известковый отход целлюлозного производства | Отход целлюлозно-бумажных комбинатов | < 40 | < 56 | 98-100 | Случайные примеси глинистых частиц | CaCO ₃ | Действие, аналогичное гаше и молотому известняку | Нуждается только в подсушивании, после чего он легко рассыпается. Состоит из частиц меньше 0,01 мм |
| Известь газовая | Отход газовых заводов | 3–5 | < 70 | – | До 20 CaSO ₄ , CaS и CaSO ₃ | Главным образом Ca(OH) ₂ | Сильнодействующий известковый мелиорант | Перед употреблением должно вылежаться на воздухе |
| Известь содовая | Отход содовых заводов | < 50 | < 50 | – | До 10 Cl, 3–4 SO ₃ , 4–5 CaSiO ₃ | Большая часть Ca(OH) ₂ | Применять следует осторожно, заблаговременно до посева | Требует просушивания и длительного проветривания |
| Известковые мыловаренные отходы | Отход мыловаренного производства | < 50 | < 50 | – | – | 25% Ca(OH) ₂ 75% CaCO ₃ | – | Нуждается в просушивании |

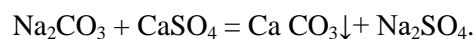
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------------------------|---|---|-----------|---------|---|---|--|--|
| Дунитовая мука | Хвосты при обогащении платиносодержащих пород | – | 40–50 MgO | 100–110 | Мало CaO | Силикат магния | Нейтрализующая способность слабее, чем у молотого известняка | Состоит из частиц меньше 0,15 мм и не нуждается в измельчении. Особенно ценна при освоении болот |
| Нефелиновая мука | Хвосты при обогащении апатитового концентрата | – | 8–10 | – | 10–13 Na ₂ O, 5–6 K ₂ O, 2–4 P ₂ O ₅ | Алюмосиликат K, Na, Ca | Нейтрализующая способность слабее, чем у молотого известняка | Тонкий тяжелый порошок. Эффективен на торфяных почвах, бедных калием |
| Шлак мартеновский | Отход при выплавке чугуна из руд | – | 40–50 | - | 0,1–0,2 P ₂ O ₅ , 6–12 MnO, 0,1–0,5 S, 15–20 SiO ₂ | В виде силиката Ca | Нейтрализующее действие умеренное | Нуждается в измельчении (< 0,8 мм – 100%) |
| Шлак доменный | То же | – | 50–55 | 90–95 | 13–14 MgO, 30–40 SiO ₂ , 6–7 Al ₂ O ₃ , 0,3 MnO | То же | То же | Требуется размола глыбистого и гранулированного материала |
| Шлак белый электроплавильный | Отход при плавке стали | – | 50–68 | < 140 | 6–15 MgO, 0,8 MnO, 15–26 SiO ₂ , 0,2–0,3 P ₂ O ₅ , | Силикаты Ca и Mg–CaO, MgO | Нейтрализующее действие значительное | Требуется размола, по эффективности не уступает известковой муке |
| Шлак магниевого литья | Отход магниевого литья | – | | < 80 | 20 KCl, 33 SiO ₂ , 3–7 R ₂ O ₃ и микроэлементы | CaO, MgO, CaCl ₂ , MgCl ₂ | Калийно-магниевое известковое удобрение | Требуется гашения водой, при этом рассыпается в порошок |

6.3.2. Гипсосодержащие материалы

Гипсованием называется внесение в почву гипса для улучшения физико-химических, физических и биологических свойств солонцеватых почв, содержащих в избытке поглощенный натрий. В зависимости от содержания поглощенного натрия почвы подразделяют на несолонцеватые (не более 3–5 % поглощенного натрия), солонцеватые (10–20 %) и солонцы (более 20 %). Теоретической основой гипсования солонцов является их способность обменивать натрий почвенного поглощающего комплекса на кальций мелиоранта:



Одновременно устраняется щелочность почвенного раствора:



При образовании в почвенном растворе небольшого количества Na_2SO_4 он не оказывает вредного действия на растения. Однако при гипсовании солонцов, содержащих более 20 % натрия от емкости катионного обмена, в почвенном растворе появляется большое количество Na_2SO_4 , и его необходимо удалять из почвы орошением.

Внесенный в солонцовую почву гипс устраняет ее щелочную реакцию. Замена обменно-поглощенного натрия кальцием сопровождается коагуляцией почвенных коллоидов; образующиеся продукты разложения остатков биоценоза в присутствии кальция склеивают почвенные частицы, поэтому почва приобретает прочную комковатую структуру. Улучшаются физические и водно-физические свойства почвы, ее воздушный режим, облегчается механическая обработка. Устраняя щелочность и улучшая физические, водно-физические и физико-химические свойства почвы, ее воздушный и солевой режимы, гипсование создает благоприятные условия для жизнедеятельности почвенной микрофлоры. Оно способствует повышению численности почвенных микроорганизмов, в т. ч. азотобактера, нитрифицирующих, целлюлозоразрушающих и других микроорганизмов в пахотном слое солонца. Это в свою очередь положительно влияет на содержание доступных растениям форм соединений биогенных элементов.

Для гипсования используют природные залежи гипса и других минералов, а также отходы промышленности. Из них наиболее широко в качестве химического мелиоранта используют гипс молотый и фосфогипс (табл. 75).

По своим характеристикам фосфогипс подразделяется на два класса, которые, имея одинаковую долю основного вещества ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), различаются по гранулометрическому составу и содержанию влаги (табл. 76).

Следует отметить, что фосфогипс сорта 2 отличается менее благоприятными агрофизическими и химическими свойствами. Содержание макро- и микроэлементов в фосфогипсе, представлено в таблице 77.

Фосфогипс обладает хорошими агрофизическими свойствами (не слеживается, сыпуч, не гигроскопичен), позволяющими использовать его в качестве химического мелиоранта. Вместе с тем этот продукт обладает рядом отрицательных свойств, которые затрудняют его механизированное применение: при влажности выше 20 % он не сыпуч, при длительной транспортировке приобретает свойство разжижаться. Кроме того, фосфогипс может содержать вредные для растений соединения фтора. Поэтому технические условия на фосфогипс-дигидрат ограничивают содержание в нем влаги и водорастворимых соединений фтора (не более 0,3 % в пересчете на фтор).

Таблица 75 – Гипсосодержащие материалы

| Наименование известковых и гипсосодержащих материалов | Содержание действующего вещества, %, в пересчёте на CaCO ₃ | Влажность, % | Физическое состояние | Упаковка, расфасовка, транспортировка |
|---|---|--------------|-----------------------------|--|
| Сыромолотый гипс | В пересчёте на CaSO ₄ | | | |
| | Класс А – 85,0 | 5,0 | Порошок светло-серого цвета | Транспортируют навалом всеми видами транспорта |
| | Класс Б – 70,0 | 5,0 | Порошок светло-серого цвета | Транспортируют навалом всеми видами транспорта |
| Фосфогипс | При выработке фосфатных удобрений из апатита – 92,0 | 8–15 | Тёмно-серый порошок | Транспортируют навалом всеми видами транспорта |
| | При выработке фосфатных удобрений из фосфоритов Каратау – 80,0 | 8–15 | | Транспортируют навалом всеми видами транспорта |

Таблица 76 – Агрохимическая характеристика фосфогипса

| Показатель | Значение | |
|--|--|----------------|
| | 1-й сорт | 2-й сорт |
| Массовая доля CaSO ₄ ·2H ₂ O в пересчете на сухой дигидрат, не менее | ≥92 | ≥2 |
| Массовая доля гигроскопической воды на момент отгрузки | ≤6 | ≤20 |
| Массовая доля водорастворимых фтористых соединений, в пересчете на фтор, не более | ≤0,4 | ≤0,3 |
| Массовая доля частиц (комков) размером: | | |
| – более 10 мм* | нет | нет |
| – от 5 мм до 10 мм | ≤1 | ≤20 |
| – более 1 мм | ≤6 | не нормируется |
| Массовая доля кадмия, мышьяка, ртути, свинца и других токсичных элементов | должна выдерживать требования безопасности и охраны окружающей среды | |

*При расчете норм фосфогипса его частицы крупнее 10 мм следует считать недейтельными или балластом.

Таблица 77 – Химический состав фосфогипса

| Показатель | Содержание, % воздушно-сухой массы | Нормативные документы на методы испытаний |
|---|---------------------------------------|--|
| MgO | 0,025 | ПНД Ф* 16.1.42-04 |
| SiO ₂ | 0,98 | ПНД Ф 16.1.42-04 |
| P общ.(по P ₂ O ₅) | 2,00 | ПНД Ф 16.1.42-04 |
| S общая | 21,5 | ПНД Ф 16.1.42-04 |
| K ₂ O | <0,001 | ПНД Ф 16.1.42-04м |
| CaO | 37,12 | ПНД Ф 16.1.42-04 |
| TiO ₂ | 0,007 | ПНД Ф 16.1.42-04 |
| V | <0,001 | ПНД Ф 16.1.42-04 |
| Cr | <0,001 | ПНД Ф 16.1.42-04 |
| Mn | 0,001 | ПНД Ф 16.1.42-04 |
| Ni | 0,0002 | ПНД Ф 16.1.42-04 |
| Cu | 0,0008 | ПНД Ф 16.1.42-04 |
| Zn | 0,0003 | ПНД Ф 16.1.42-04 |
| Y | 0,0014 | ПНД Ф 16.1.42-04 |
| Zr | 0,0075 | ПНД Ф 16.1.42-04 |
| La | 0,02 | ПНД Ф 16.1.42-04 |
| Ce | 0,046 | ПНД Ф 16.1.42-04 |

ПНД Ф – Природоохранные нормативные документы федеральные

Для химической мелиорации солонцов можно применять также *сернокислое железо, серу, серную кислоту* – отходы промышленности, действующие на солонцовых почвах так же, как гипс, только не обогащающие почву кальцием. Не менее эффективны дефека́т и хлористый кальций [8,11,13].

6.4 Регламенты применения агрохимических средств

6.4.1. Производственный контроль за применением удобрений

Эффективность и экологическая безопасность применения удобрений в значительной степени зависят от соблюдения регламентов по их применению (транспортировка, хранение, складская переработка, внесение) Так, неравномерность поверхностного внесения минеральных удобрений центробежными машинами в производственных условиях достигает 60–80 % и более, что в 2–3 раза выше агротехнических требований. Это приводит к снижению прибавок урожая от азотных удобрений на 40–50, фосфорных – соответственно на 15–20 %, калийных и сложных – на 36–40 %, увеличению затрат и потерь при уборке урожая полеглих хлебов, к усилению пестроты почвенного плодородия, обострению экологической обстановки, несоблюдению гигиенических требований безопасности и пищевой ценности сельскохозяйственной продукции. Не соблюдаются также установленные регламенты при выполнении других работ по применению минеральных удобрений (тукосмешение, транспортировка и др.). Нарушаются регламенты применения органических и известковых удобрений.

Одной из основных причин низкого качества агрохимических работ является отсутствие надлежащего производственного контроля за соблюдением регламентов и агротехнических требований к качеству работ по применению удобрений.

Производственный контроль (авторский надзор) за применением удобрений должен осуществляться государственными центрами и станциями

агрохимической службы – разработчиками проектно-технологической документации и проектов землеустройства и агротехнологий с широким привлечением к этой работе специалистов хозяйств, механизаторов, фермеров.

Для обеспечения должного качества работ по применению удобрений, настройке агрегата на заданную дозу, оптимальную ширину захвата и других показателей следует проводить не только перед началом работ, но и периодически в полевых условиях во время их проведения. Некачественное внесение удобрений, особенно органических, и химических мелиорантов, как правило, исправить невозможно, что будет отрицательно сказываться на урожаях в течение нескольких лет. Поэтому контроль за соблюдением регламентов применения должен носить предупредительный характер, что позволит сельскохозяйственным товаропроизводителям подавать декларации для подтверждения соответствия пищевых продуктов требованиям нормативных документов о безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов.

6.4.2. Регламенты применения твердых непылящих минеральных удобрений и химических мелиорантов

Требования при транспортировке твердых минеральных удобрений:

– для определения сохранности удобрений при транспортировке проверяют наличие на вагоне пломб отправителя, их исправность, оттиски на них, состояние вагона и других транспортных средств, исправность тары, соответствие наименования груза и транспортной маркировки на нем данным, указанным в транспортном документе, наличие сертификата, соблюдение установленных правил перевозок, обеспечивающих предохранение от порчи и потерь;

– потери удобрений при транспортировке определяют взвешиванием на весах;

– при обнаружении нарушений требований стандартов по качеству удобрений условиям упаковки и маркировки, а также при несоответствии их массы и нарушении сроков поставки условиям договора оформляют соответствующие документы, руководствуясь действующими законами Российской Федерации, требованиями действующих правил и инструкций и соответствующей нормативной документацией.

Регламенты хранения твердых минеральных удобрений:

– удобрения хранят в специально построенных по типовым проектам складах в соответствии с нормативами их складирования и свойствами;

– при отсутствии в хозяйствах специальных складов допускается хранение минеральных удобрений в приспособленных помещениях при условии, если они имеют непротекающую крышу, тщательно заделанные щели, выводные каналы около стен, а при земляных полах – деревянный настил для устранения контакта удобрений с капиллярной влагой;

– минеральные удобрения, поставляемые в контейнерах и полиэтиленовых мешках, можно хранить в штабелях на открытых асфальтированных или бетонных площадках при отводе от них сточных и грунтовых вод;

– каждый вид удобрений размещают в отдельных отсеках, образуемых сборно-разборными или передвижными перегородками;

– каждый отсек должен иметь постоянный номер и этикетку с указанием наименования удобрений и процентного содержания питательных веществ;

– незатаренные удобрения хранят в буртах, высота которых определяется свойствами удобрений (табл. 78);

Таблица 78 – Предельная высота хранения удобрений на складе

| Удобрения | Упаковка | Предельная высота хранения |
|--------------------------------|----------|--|
| Аммиачная селитра | в мешках | штабель до 10 рядов (обязательно на деревянных поддонах) |
| Мочевина | в мешках | штабель до 15 рядов (на поддонах) |
| Сульфат аммония | насыпью | бурты до 3,0 м |
| Суперфосфат двойной | насыпью | бурты до 3,0 м |
| Суперфосфат простой: | насыпью | бурты до 3,0 м |
| гранулированный | | |
| порошковидный | насыпью | бурты до 4 м |
| Сложные | в мешках | штабель до 20 рядов (на поддонах) |
| Хлористый калий, калийная соль | насыпью | бурты до 3,0 м |

– удобрения, затаренные в мешки, хранят в заводской таре на плоских или стоечных поддонах или на стеллажах. Мешки укладывают крест-накрест в штабеля, высота которых зависит от свойств удобрений;

– аммиачная селитра должна храниться в отдельно стоящих бесчердачных одноэтажных зданиях с огнестойкостью не ниже 1 степени;

– незатаренные и затаренные удобрения хранят отдельно;

– в складских помещениях относительная влажность воздуха не должна быть выше критической для наиболее гигроскопичных удобрений (табл. 79);

Таблица 79 – Критическая относительная влажность воздуха при хранении минеральных удобрений

| Удобрения | Критическая относительная влажность, % |
|-------------------|--|
| Сульфат аммония | 51–79 |
| Аммиачная селитра | 57–63 |
| Мочевина | 63–66 |
| Хлористый калий | 72–74 |
| Калийная соль | 72–74 |

– склады минеральных удобрений запрещается занимать другими материалами;

– в сухую погоду склады необходимо проветривать;

– полы складских помещений должны быть стойкими к агрессивной среде минеральных удобрений и обеспечивать отвод воды при влажной уборке;

– не допускается повреждение мешкотары и засорение ею удобрений;

– расстояние от складов для совместного хранения минеральных удобрений и пестицидов до жилых и общественных зданий и предприятий по переработке и хранению пищевых продуктов должно быть не менее 500 м, а до несвязанных с пребыванием людей объектов (за исключением предприятий по переработке и хранению пищевых продуктов) – 200 м;

– расстояние от складов для хранения только минеральных , удобрений до жилых и общественных зданий должно составлять не менее чем 200 м;

– запрещается размещение складов минеральных удобрений в водоохраных зонах (полосах) рек, озер и водохранилищ;

– в хозяйствах должен соблюдаться строгий учет использования удобрений по полям и культурам с указанием удобряемой площади, доз, форм, сроков и способов внесения;

– учет минеральных удобрений следует вести по каждому виду и форме как в физическом весе, так и в пересчете на действующее вещество.

Складская переработка удобрений включает в себя следующие операции:

- погрузку и выгрузку затаренных удобрений;
- растаривание затаренных удобрений;
- измельчение слежавшихся удобрений с последующим их просеиванием;
- смешивание удобрений с требуемым соотношением питательных веществ.

Агротехнические требования к выполнению погрузочно-разгрузочных операций с твердыми минеральными удобрениями:

- разрушение гранул удобрений при проведении погрузочно-разгрузочных операций не должно превышать 0,5 % общей массы удобрений;
- разрушение тары при погрузочно-разгрузочных операциях не допускается;
- при выполнении погрузочно-разгрузочных операций потери удобрений не допускаются;
- при загрузке склада и выполнении перегрузочных работ произвольное перемешивание отдельных видов удобрений не допускается.

Агротехнические требования к растариванию затаренных удобрений, измельчению слежавшихся туков с последующим их просеиванием:

- содержание частиц мешкотары в растаренных удобрениях не должно превышать более 0,03 % от общей массы мешкотары;
- при измельчении слежавшихся удобрений разрушение гранул меньше 1 мм не должно превышать 5 %, а наличие частиц размером более 5 мм не допускается;
- при измельчении слежавшихся удобрений потери их не должны превышать 0,5 %.

Агротехнические требования к качеству исходных компонентов удобрений при тукосмешивании:

- содержание гранул (или кристаллов) размером 2–3 мм должно составлять не менее 50 %, 3–4 мм – не менее 80 %, менее 1 мм – не более 1 %, весь продукт должен проходить через сито с диаметром 5 мм;
- статическая прочность гранул (или кристаллов) должна быть не менее 30–50 кгс/см²;
- динамическая прочность гранул (или кристаллов) должна составлять не менее 85–90 %;
- рассыпчатость удобрений после транспортировки и хранения их в течение всего гарантийного срока в насыпях высотой до 10–12 м должна составлять 100 %;
- влажность исходных компонентов тукосмеси не должна превышать, %: суперфосфата – 4,0, прессованного хлористого калия – 1,2, аммофоса – 1,0, аммиачной селитры – 0,3, карбамида – 0,2, сульфата аммония – 1,2;
- свободная кислотность суперфосфатов не должна быть более 1,0 % (в пересчете на P₂O₅).

Агротехнические требования к качеству твердых смешанных удобрений следующие:

- среднее отклонение исходных компонентов от заданного соотношения в отдельных пробах готовой смеси удобрений (берется 10 проб по 50 г) не должно превышать ±10 %;
- дозирующее устройство должно обеспечить подачу каждого компонента с отклонением не более 3 % от заданного количества;

- диаметр гранул в тукосмеси более 5 мм не допускается, а вес фракций менее 1 мм не должен превышать 5 % к общему весу тукосмеси;
- в зависимости от состава тукосмесей сроки их хранения в складских помещениях составляют 7–300 дней.

Требования к поверхностному внесению минеральных удобрений:

- неравномерность внесения по ширине захвата для машин с дисковыми распределяющими устройствами не должна превышать 22 %, а для машин со штанговыми и роторными распределяющими устройствами -15 %;
- отклонение фактической дозы от заданной не должно превышать ± 10 %;
- смежные проходы должны быть равными рабочей ширине захвата, что обеспечивает требуемое их перекрытие в стыковых проходах, которые не должны превышать 5 % ширины захвата агрегата;
- не должно быть просыпанных удобрений на поле и на пути следования агрегата;
- не должны допускаться огрехи;
- на поворотных полосах вносят ту же дозу удобрений, что и на основном поле;
- авиационное внесение твердых минеральных удобрений допускается только в случаях, когда из-за переувлажнения почвы и других причин нельзя использовать наземную технику;
- по агротехническим требованиям неравномерность внесения удобрений летательными аппаратами должна составлять не более 25 %, а отклонения фактической дозы туков от заданной не должно превышать ± 10 %.

Требования к внутрипочвенному внесению твердых минеральных удобрений.

- отклонение фактической дозы от заданной не должно превышать ± 10 %;
- нестабильность дозы по ходу движения не должна быть более ± 5 %;
- степень неравномерности распределения удобрений между отдельными сошниками машины не должна быть более 10 %;
- допустимым отклонением между основными лентами является 2,0 см, между стыковыми (от смежных проходов машины) – 10 см;
- отклонение фактической глубины заделки удобрений от заданной не должно быть более $\pm 1,5$ см (15–20 %);
- не менее 80 % удобрений должны находиться в трехсантиметровом слое почвы на заданной глубине внесения, а на поверхности почвы и в верхнем сантиметровом слое их масса не должна превышать 5 % фактической дозы;
- забивание тукозаделывающих рабочих органов растительными остатками и почвой не допускается;
- степень перекрытия смежных проходов агрегата не должна превышать 10 %;
- корневую подкормку зерновых культур и многолетних трав проводят, как правило, зерновыми сеялками поперек посевных рядков, а при перекрестном посеве – по диагонали посевных рядков, размещая ленты удобрений на глубине 2–5 см с интервалом 12–17 см, при этом количество вырванных с корнями растений не должно быть более 3 %;
- при междурядной подкормке пропашных культур удобрения вносят лентами на глубину 6–8 см.

6.4.3. Регламенты применения пылевидных минеральных удобрений и химических мелиорантов

Для хранения пылевидных удобрений и химических мелиорантов используются склады силосного типа, состоящие из 4–6 цилиндрических резервуаров-складов диаметром 6 м и вместимостью 500 т каждый. Высота склада достигает 16 м. Во избежание слеживаемости и образования уплотненных комьев пылевидные удобрения необходимо периодически перекачивать из нижней части силосной емкости в верхнюю.

От завода-поставщика пылевидные удобрения доставляют по железной дороге в цистернах-цементовозах типа С–825 грузоподъемностью 60 т и производительностью выгрузки до 120 т/ч или в вагонах типа «Хоппер» грузоемкостью 60–64 т.

Для доставки пылевидных удобрений водным путем используются специальные суда-цементовозы грузоподъемностью 2000 т, баржи-цементовозы грузоподъемностью 1200 т, а также суда общего назначения.

При применении пылевидных известковых материалов и фосфоритной муки необходимо соблюдать следующие агротехнические и технологические требования:

- пылевидные известковые материалы и удобрения, для транспортировки, хранения и внесения которых используют машины, оборудование, основанные на принципе пневмо- и аэрозольтранспорта, должны иметь влажность не более 1,5 %, в них не должны содержаться камни и другие посторонние предметы;

- потери удобрений при транспортировке и выгрузке не допускаются;

- в каждой складской емкости одновременно хранят только один вид удобрений;

- пыление и потери удобрений при перегрузке в транспортные машины и машины для внесения не допускаются;

- скорость движения агрегата при внесении удобрений должна быть постоянной и соответствовать той, при которой проводилась регулировка машин на заданную дозу;

- неравномерность распределения пылевидных удобрений по ширине захвата не должна превышать 30 %, разрывы смежных проходов агрегатов не допускаются, а перекрытие в смежных проходах не должно превышать 5 % от рабочей ширины захвата;

- отклонение фактической дозы от заданной не должно быть более ± 10 %;

- на поворотных полосах удобрения вносят в той же дозе, что и на основном поле.

6.4.4. Регламенты применения водного аммиака (аммиачной воды)

Водный аммиак (раствор аммиака в воде) замерзает при низких температурах: 20 %-ная аммиачная вода замерзает при -33°C , 25 %-ная – при -56°C . Поэтому, его хранение и перевозка возможны во многих районах страны. При нагревании из водного аммиака выделяется газообразный аммиак,

что требует герметичных резервуаров и коммуникаций при его транспортировании, хранении, сливах (наливах) цистерн и внесении.

Склады для хранения водного аммиака следует размещать на открытом, хорошо проветриваемом участке с подветренной стороны по отношению к жилым и общественным зданиям и населенным пунктам.

При внесении водного аммиака должны выполняться следующие агротехнические требования:

- отклонение фактической дозы от заданной не должно превышать $\pm 10\%$;
- отклонение доз внесения водного аммиака между отдельными сошниками (лапами) должно быть не более $\pm 15\%$;
- защитная зона при междурядной подкормке пропашных культур должна быть не менее 15 см;
- перекрытие в стыковых проходах должно соответствовать 5 % ширины захвата агрегата;
- при внесении водного аммиака на сенокосах и пастбищах площадь с поврежденной дерниной по отношению к обработанной площади не должна превышать 3 %;
- во избежание улетучивания аммиака из почвы глубина его заделки должна составлять не менее 10–12 см на тяжелых и 14–16 см на легких почвах

6.4.5. Регламенты применения жидкого (безводного) аммиака

Жидкий аммиак является сильнодействующим ядовитым, а при определенных условиях (при объемном содержании аммиака в воздухе от 15 до 28 %) – взрывоопасным веществом.

Жидкий аммиак хранят в специальных емкостях под давлением при заполнении не более 570 кг на 1 м³ внутреннего объема.

При хранении жидкого аммиака на складах должны выполняться следующие требования:

- работа на складах с жидким аммиаком разрешается только на исправном оборудовании, оснащенном всеми необходимыми контрольно-измерительными приборами и предохранительными устройствами;
- все оборудование, трубопроводы и сливно-наливные эстакады необходимо надежно защитить от статистического электричества;
- потери аммиака при заполнении емкости склада, хранении и сливе в транспортные машины не допускаются.

При транспортировке жидкого аммиака следует выполнять следующие требования:

- транспортную емкость необходимо оборудовать углекислотным (пенным) огнетушителем, красным флажком (впереди слева на корпусе цистерн), заземляющей цепочкой, а также бачком с водой вместимостью не менее 10 л;
- перед каждым заполнением остаточное давление не должно быть менее 0,05 МПа;
- перед выездом с места стоянки водитель (тракторист) должен провести контрольный осмотр автомобиля (трактора) и полуприцепа, проверить плотность закрытия вентелей и заглушек, показания манометра и уровень жидкости в цистерне, укладку и надежность крепления шлангов, убедиться в отсутствии утечки паров аммиака;
- в случае утечки аммиака из цистерны водитель (тракторист) должен вывезти машину в сторону от дороги по направлению ветра и принять необ-

ходимые меры по обеспечению безопасности на данном участке, снизить давление в цистерне по газовому трубопроводу, слить аммиак в исправную заправочную цистерну или доставить на склад;

– нельзя оставлять заполненную цистерну на уклонах и подъемах без присмотра.

При внесении безводного аммиака должны соблюдаться следующие агротехнические и технологические требования:

– внесение безводного аммиака можно проводить на всех типах почв с ровным рельефом и на склонах до 7°;

– на тяжелых по гранулометрическому составу почвах жидкий аммиак можно вносить в качестве основного удобрения осенью и весной, а в подкормку – весной и летом. На легких почвах осеннее внесение жидкого аммиака не рекомендуется из-за больших потерь азота;

– неравномерность внесения жидкого аммиака по ширине захвата и в направлении движения агрегата не должна превышать 10 %;

– допустимое отклонение фактической дозы от заданной не должно быть более ± 10 %;

– отклонение от заданной глубины внесения не должно превышать ± 2 см;

– глубина внесения жидкого аммиака на средне- и тяжелосуглинистых почвах должна быть не менее 10–12 см, а на песчаных и супесчаных – не менее 14–16 см;

– на плохо обработанных участках, переувлажненных или сухих почвах, а также после известкования глубину внесения увеличивают на 3–5 см;

– на сенокосах и пастбищах глубина внесения аммиака должна составлять на средне- и тяжелосуглинистых почвах 8–10 см, а на песчаных и супесчаных – 10–12 см;

– при вспашке внесение аммиака проводят на глубину пахотного слоя;

– потери аммиака при заправке, транспортировке, сливе и заглоблении питательных трубок рабочих органов не допускаются;

– потери аммиака при внесении его одновременно с культивацией или вспашкой не должны быть более 1–2 % от вносимой дозы, а из почвы через 2 ч после внесения – не более 0,2 %;

– для сокращения потерь аммиака из почвы ее механическую обработку нельзя проводить ранее, чем через сутки после внесения жидкого аммиака;

– расстояние между рабочими органами для внесения и заделки под культуры сплошного сева не должно превышать 35 см, а при подкормке культур оно должно соответствовать ширине междурядий;

– в процессе работы не допускается забивание рабочих органов растительными остатками;

– при переохлаждении рабочих органов и намерзании на них почвы и растительных остатков работу агрегата прекращают и очищают рабочие органы;

– во избежание загазованности рабочей зоны и потерь аммиака выключать насос-дозатор следует за 10–15 м до конца гона и только после этого, доехав до поворотной полосы, поднимать культиватор (плуг, приспособление);

– внесение жидкого аммиака в почву возможно при температуре воздуха не ниже 13°C и влажности почвы 20–40 %;

– в связи с высокой токсичностью аммиака и взрывоопасных аммиачно-воздушных смесей, а также содержанием его в емкостях, работающих под давлением, необходимо строго соблюдать технику безопасности при работе с жидким аммиаком;

- в случае утечки аммиака при нарушении герметичности или повреждении шлангов работы по внесению аммиака необходимо прекратить;
- при настройке агрегата для работы особое внимание уделяют установке на заданную дозу и глубину внесения жидкого аммиака;
- при внесении жидкого аммиака одновременно с культивацией удобряемое поле предварительно дискуют;
- основным способом движения агрегатов при внесении жидкого аммиака является челночный.

6.4.6. Регламенты применения жидких минеральных удобрений

Жидкие смеси удобрений готовят на основе производимых промышленностью базисных растворов жидких комплексных удобрений (ЖКУ) марок 10–34–0, 8–24–0 и смеси растворов карбамида и аммиачной селитры (КАС) путем добавления в требуемом количестве соответствующих компонентов. При необходимости с жидкими удобрениями, кроме азота, фосфора и калия, можно одновременно вносить магний, серу, макроэлементы, пестициды, регуляторы роста растений и другие компоненты.

Резервуары для хранения ЖКУ окрашивают в белый цвет для уменьшения нагрева, т. е. температура их хранения не должна превышать 35⁰С. При нагреве ЖКУ выше 35⁰С применяют их циркуляционное перемешивание.

К транспортировке ЖКУ предъявляют следующие агротехнические требования:

- транспортировку удобрений осуществляют при температуре воздуха выше температуры кристаллизации;

- потери удобрений при транспортировке, наливке и сливе не допускаются;
- остаток в цистерне после слива удобрений не должен быть более 1 %.

Технология жидкого тукосмешения предусматривает следующие операции:

- подготовка жидких исходных компонентов (базисный раствор ЖКУ, КАС, вода);
- подготовка твердых туков;
- подготовка стабилизирующих материалов;
- смешивание исходных компонентов;
- хранение и отпуск готовых смесей;
- суспендированная смесь не должна образовывать твердого осадка в течение одних суток (определяют визуально), а содержание каждого питательного вещества в смеси не должно превышать ±5 % от заданного количества, при отклонении от этих требований смесь из резервуаров возвращается в смеситель на доработку;
- жидкие смеси удобрений с пестицидами и регуляторами роста растений (баковые смеси) готовят, как правило, в хозяйствах перед их использованием непосредственно в баке опрыскивателя, на растворных узлах, а также в любых подходящих емкостях.

При использовании баковых смесей удобрений с пестицидами и регуляторами роста растений необходимо учитывать следующие требования:

- совпадение сроков применения компонентов смесей;
- физическая, химическая и биологическая совместимость компонентов;
- в качестве компонентов баковых смесей для определенной культуры используют только те пестициды и регуляторы роста, которые включены в список разрешенных препаратов для данной культуры;

- все смеси желателно применять в день приготовления;
- перемешивание смесей не прекращается в течение всего периода ее приготовления и при обработке растений.

При поверхностном внесении жидких удобрений наземной техникой должны соблюдаться следующие требования:

- неравномерность распределения по ходу движения и по ширине захвата должна быть не более 10 %;
- отклонение фактической дозы от заданной не должно превышать ± 10 %;
- поверхностное внесение жидких комплексных удобрений при скорости ветра более 10 м/с не допускается;
- разрывы между смежными проходами и необработанные участки поля не допускаются;
- перекрытие в стыковых проходах должно быть не более 5 % рабочей ширины захвата;
- на поворотных полосах удобрения должны быть внесены в той же дозе, что и на всей площади поля.

При внесении жидких комплексных минеральных удобрений самолетами и вертолетами должны соблюдаться следующие агротехнические требования:

- отклонения от заданной дозы внесения удобрений не должны превышать ± 10 %;
- неравномерность распределения жидких комплексных удобрений не должна превышать 25 %. Равномерное распределение ЖКУ по обрабатываемой площади достигается перекрытием смежных полос путем частичного наложения их друг на друга;
- рекомендуемая плотность покрытия зависит от способа расхода рабочей жидкости – обычное (до 300 л/га), малообъемное (75–100 л/га), ультрамалообъемное (до 5 л/га) и от характера действия пестицидов, входящих в баковые смеси, на растения (контактные, системные);
- при расходах жидкости 75–300 л/га густота покрытия на 80 % верхней и 60 % нижней листовой поверхности должна составлять не менее 30 капель/см², при 5 л/га – соответственно не менее 10 капель/см². Неравномерность отложения рабочей жидкости при малообъемном и обычном опрыскивании должна быть не более 25 %, при ультрамалообъемном – не более 40 %;
- для обеспечения прямолинейности полета и соблюдения требуемого перекрытия смежных полос, как и при авиарассеве твердых минеральных удобрений, организуется наземная сигнализация;
- для препаратов контактного действия плотность покрытия объекта должна составлять 50–70 капель/см², системных – 20–40 капель/см².

6.4.7. Регламенты применения минеральных удобрений и химических мелиорантов с поливной водой

Внесение минеральных удобрений с поливной водой (фертигацию) проводят до посева и в период вегетации растений при использовании ирригационных систем любого типа – орошение по бороздам, дождевание, через систему капельного орошения. Наибольшее распространение получило внесение минеральных удобрений с поливной водой при дождевании. Для этих целей используют хорошо растворимые в воде удобрения – мочевины, амми-

ачную селитру, аммофос, хлористый калий и серно-кислый калий, а также базисные растворы ЖКУ, дополненные при необходимости твердыми азотными и калийными удобрениями и микроэлементами.

При фертигации необходимо соблюдать следующие требования:

– предельно допустимые концентрации минеральных удобрений в воде при дождевании составляют: азотных – 0,5 %, фосфорных 2, калийных – 2–3 и сложных растворов – 0,5 %;

– мочевины можно применять в более высоких концентрациях в поливной воде: для зерновых – 5–10 %, люцерны и сахарной свеклы – 2–4, картофеля и капусты – 0,8–1,0, кукурузы и томатов – 0,4–0,6, моркови – 1,2–3,0, лука – 1,6–2,0, столовой свеклы – 1,5–2,0, огурцов – 0,3–0,4 %;

– вода, подаваемая для орошения, должна равномерно распределяться по поверхности поля и почвенным горизонтам в соответствии с размещением корневой системы орошаемых культур;

– неравномерность распределения минеральных удобрений по площади при внесении их с поливной водой многоопорными дождевальными машинами («Фрегат», «Волжанка», «Днепр») не должна превышать 20 %;

– механические повреждения сельскохозяйственных культур водным потоком и дождевальными каплями не допускаются;

– не допускаются образование луж и поверхностного стока, потери воды на глубинную фильтрацию и сбросы, вторичное засоление и заболачивание, разрушение структуры, уплотнение и эрозия почв;

– поливные нормы при орошении полевых культур дождеванием должны составлять в лесной зоне 200–300, лесостепной – 300–400, степной – 500–600 и в полупустынной – 600–700 м³/га;

– основное количество удобрений при фертигации подают с поливной водой при вегетационных поливах;

– применяемые для дозирования растворов в напорную сеть насосы, насосы-дозаторы и водоструйные насосы должны развивать давление, превышающее напор сети на 0,05–0,1 МПа;

– погрешность дозирования не должна превышать +5 %;

– минимальное время дозирования удобрений в дождевальную многоопорную машину должно составлять 10–15 мин, при меньшем времени дозирования повышается неравномерность их распределения по площади;

– минеральные удобрения следует вводить в дождевальную машину после увлажнения пахотного слоя почвы (во второй половине полива), что позволяет расположить их в основном в 40–сантиметровом слое почвы;

– во избежание дополнительного коррозионного воздействия на металлоконструкции в конце полива систему промывают чистой водой в течение 10–15 мин;

– для недопущения вторичного засоления орошаемых земель при орошении используется вода с общей минерализацией не более 25,0 мг-экв/л (1,5 г/л), а при более высокой минерализации воды в оросительную воду следует вносить химические мелиоранты в дозах 100–200 кг/га с каждым поливом;

– внесение химических мелиорантов с поливной водой проводят до посева при проведении влагозарядковых и дождевых поливов или с вегетационными поливами.

6.4.8. Контроль за соблюдением регламентов применения твердых органических удобрений

Подстилочный навоз следует хранить в прифермских или полевых навозохранилищах, а также на бетонированных площадках около ферм или в поле в штабелях. На бетонированных прифермских площадках и в поле подстилочный навоз рекомендуется хранить в уплотненных штабелях шириной 5–6 м и высотой 2,5–3 м.

Рыхлый (горячий) способ хранения навоза не рекомендуется в связи с большими потерями органического вещества и азота, более чем в 3 раза превышающими потери их при хранении в уплотненном состоянии. Не рекомендуется также внесение свежего подстилочного навоза. Подстилочный навоз рекомендуется вносить в полуперепревшем виде при наименьших потерях органического вещества.

В период хранения в буртах навоз 2–3 раза тщательно перемешивают и измельчают. Отдельные комки в нем не должны превышать 15 см.

Хранение навоза в мелких кучах недопустимо, т. к. это приводит к улетучиванию практически всего аммиачного азота, а другие питательные вещества вымываются талыми водами и дождями.

При транспортировке навоза его потери из транспортных средств не допускаются.

При компостировании в результате биотермических процессов дегельминтизация органических смесей, ликвидация болезнетворных микроорганизмов и уничтожение семян сорняков наиболее интенсивно происходят при температуре 53–56°C (в термофильном режиме), а накопление подвижных форм питательных веществ – при температуре 25–35°C (в мезофильном режиме). Поэтому процесс компостирования следует проводить в двух режимах: вначале термофильном, а затем – мезофильном. Срок созревания торфо-навозных компостов, закладываемых летом, составляет 2–3 месяца, а торфопометных – 1–2 месяца. При зимней закладке компостов срок их созревания возрастает до 3–4 месяцев. Оптимальная пористость смеси должна составлять 0,4–0,5. Для восстановления пористости и обеспечения одинаковых условий при прохождении биотермических процессов проводят перемешивание массы буртов при снижении температуры до 30°C. В созревшем компосте температура в бурте после его перемешивания существенно не повышается.

Максимальная влажность смесей компонентов для компостирования должна быть не более 70 %.

Степень неравномерности перемешивания компонентов смеси по коэффициенту вариации влажности не должна быть более 15 %, в противном случае не обеспечивается требуемая интенсивность тепловыведения, и повышаются потери азота.

Для нормального развития термофильной флоры реакция смеси должна быть близкой к нейтральной – рН 6,5–7,2. Поскольку рН навоза и помета находится в пределах 6,5–8,0, рН торфа должна быть не менее 5,5, в противном случае необходимо проводить его раскисление.

Для приготовления компостов можно использовать торф, обладающий следующими свойствами:

| | |
|--------------------|---------------|
| степень разложения | – ≥ 20 % |
| зольность | – ≥ 25 % |

| | |
|--|-----------|
| содержание влаги | – ≤ 60 % |
| размер частиц торфа и древесных остатков | – ≤ 60 мм |
| содержание древесных частиц | – ≤ 10 % |

По договоренности с хозяйствами допускается использование торфа зольностью до 35 %, а при наличии в нем вивианитов и карбонатов – до 40 %.

Готовые компосты должны соответствовать следующим агротехническим требованиям:

- иметь хорошую сыпучесть и мелкокомковатую структуру без содержания включений размером более 50 мм;
- в удобрениях должны отсутствовать яйца и личинки гельминтов, возбудители инфекционных заболеваний;
- иметь влажность в пределах 60–65 %, содержание органических веществ в готовом удобрении должно составлять не менее 70 % (по сухому веществу);
- отношение С:N в компостах не должно превышать 18–20:1;
- иметь нейтральную или слабощелочную реакцию, характеризующуюся величиной рН 6–8;
- не иметь острого неприятного запаха;
- количество жизнеспособных семян сорных растений в компостах не должно быть более 100 тыс/т.

По удобрительной ценности осадки сточных вод практически равноценны подстильному навозу. Однако из-за возможного наличия в них патогенной микрофлоры, яиц гельминтов, тяжелых элементов и других токсических веществ, их применение в качестве органического удобрения без предварительного обеззараживания и обезвреживания приводит к загрязнению окружающей среды и сельскохозяйственной продукции. Для обеззараживания осадков используют термические, химические и термомеханические методы.

Осадки сточных вод, используемые в качестве удобрения, должны удовлетворять следующим агроэкологическим требованиям:

- массовая доля органических веществ – не менее 20 % на сухое вещество;
- массовая доля общего азота (N) – не менее 0,6 %, фосфора (P₂O₅) – не менее 1,5 % на сухое вещество;
- бактерии группы кишечной палочки для I группы осадков – 100, для II группы – 1000 клеток/г осадка фактической влажности;
- патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, должны отсутствовать;
- яйца гельминтов и цисты кишечных патогенных простейших должны отсутствовать;
- допустимое валовое содержание тяжелых элементов и мышьяка в осадках составляет соответственно для I и II групп: РЬ – 250 и 500 мг/кг, Cd – 15 и 30, Ni – 200 и 400, Сг общ. – 500 и 1000, Zn – 1750 и 3500, Cu – 750 и 1500, Hg – 7,5 и 15, As – 10 и 20 мг/кг сухого вещества;
- перед повторным применением ОСВ должно быть проведено агрохимическое обследование почв на содержание загрязняющих почву химических соединений.

Твердые бытовые отходы (ТБО) по удобрительной ценности несколько уступают навозу среднего качества. В среднем в городском мусоре содержится (% в пересчете на сухое вещество): N – 0,6–0,7, P₂O₅ – 0,5–0,6 и K₂O – 0,8. В свежем мусоре могут быть возбудители различных инфекционных болезней и яйца гельминтов, поэтому его следует предварительно компостировать.

Солома зерновых культур, по данным разных авторов, содержит 85–86 % сухого вещества, 79–82 % органических веществ при соотношении С:N 60–85:1. Содержание азота составляет 0,45–0,60 % воздушно-сухой массы, P_2O_5 – 0,20–0,35, K_2O – 0,75–1,60, CaO – 0,26–0,38, MgO – 0,09–0,12, S – 0,039–0,173, золы – 3,48–4,86 %. Солома зернобобовых и крупяных культур, кукурузы, рапса характеризуется более высоким содержанием азота, кальция и магния и более низким отношением С:N (30–55:1) по сравнению с соломой зерновых колосовых культур. Наряду с макроэлементами солома содержит также микроэлементы. В 5 т соломы содержится приблизительно 25 г В, 15 – Cu, 150 – Mn, 2 – Mo, 200 – Zn, 0,5 г Co. Солома по содержанию сухого органического вещества значительно превосходит подстилочный навоз. Однако из-за высокого соотношения в соломе С:N при запахивании ее в почву происходит закрепление микроорганизмами азота почвы, пока указанное отношение не достигнет 20. В целях недопущения ухудшения азотного режима растений при использовании соломы в качестве органических удобрений и снижения урожайности в год действия рекомендуется вносить азотные минеральные удобрения из расчета 5–10 кг на 1 т соломы.

Сапропели представляют собой органо-минеральные отложения пресноводных озер и прудов, а также малых рек. Химический состав сапропелей зависит от условий их образования. Используемые в качестве местного удобрения сапропели должны содержать не более 60 % влаги, не менее 10 % органического вещества. Содержание общего азота, фосфора и калия должно составлять соответственно не менее 0,5, 1,0, 1,0 % на сухую массу, pH водной вытяжки – не менее 6,5.

Промышленные отходы, используемые в качестве органических удобрений, разделяют на три группы: требующие компостирования (каньга, шелуха семян, масличных культур, выжимки из винограда, винные осадки, отходы от пера и пуха и др.), требующие заблаговременного внесения в почву (мякоть и мезга, шерстяные отходы и др.) и пригодные в качестве удобрений без ограничений (мездра, роговая мука, роговая стружка, кровяная мука, рыбная мука и др.). Технология их применения, агротехнические требования к качеству работ и контроль за соблюдением регламентов их применения такие же, как для навоза и компостов на его основе.

На зеленое удобрение используют многолетний, желтый слабоалкалоидный (кормовой) и узколистный горький люпина, сераделлу, донник белый, пелюшку, чину посевную, горчицу белую, редьку масличную, рапс, сурепицу и др. Важнейшее условие повышения эффективности зеленого удобрения – правильное сочетание его с другими органическими и минеральными удобрениями и химическими мелиорантами.

При соблюдении агротехники сидеральные культуры дают высокие урожаи зеленой массы. Так, урожайность зеленой массы люпина на легких песчаных почвах достигает 35–40 т/га, что по содержанию азота эквивалентно 40 т навоза. По эффективности зеленое удобрение почти равноценно навозу. По сравнению с навозом сидераты более бедны фосфором и калием. По данным Новозыбковской опытной станции, в зеленой массе узколистного люпина содержится в среднем (% от сырой массы): N – 0,45, P_2O_5 – 0,12, K_2O – 0,17, CaO – 0,47, MgO – 0,12.

В день посева семена бобовых сидеральных культур обрабатывают препаратом клубеньковых бактерий – ризоторфином. Для ускорения набухания и прорастивания туговсхожих семян многолетнего люпина и донника их скарифицируют перед посевом. На кислых, бедных молибденом почвах семена обрабатывают молибденовыми удобрениями. На кислых, бедных фосфором почвах целесообразно вносить фосфоритную муку. Хлористые калийные удобрения из-за содержания в них большого количества хлора, отрицательно влияющего на развитие клубеньковых бактерий, менее эффективны. При недостаточном содержании в почве магния (менее 5 мг на 100 г почвы) следует вносить также магниевые удобрения (доломитовая мука, калимагнезия и др.). При обеспечении бобовых сидеральных культур зольными питательными веществами растения хорошо усваивают атмосферный азот и на азотные удобрения отзываются слабо.

Запахивают сидераты под озимые в такие сроки, чтобы всходы озимых были обеспечены водой и пищей. Узколистный люпин в средние по увлажнению годы запахивают на суглинистых почвах в фазу цветения – начала завязывания сизых бобов за 20–30 дней до посева озимых; на легких песчаных почвах – в начале образования блестящих бобов за 15 дней до посева озимых. В более увлажненные годы зеленую массу заделывают позднее, а в сухие – раньше указанных сроков.

Под яровые культуры (пшеница, овес, ячмень и др.) запахивают зеленые удобрения осенью. Под поздние яровые культуры (картофель и др.) сидераты запахивают весной за 1–2 дня до посева. Под коноплю и другие поздние яровые культуры, не выносящие из-за недостатка углеводов в прорастающих семенах избытка аммиака, образующегося в начальный период разложения зеленой массы, сидераты запахивают не менее чем за 12–15 дней до посева. Под яровые культуры сидераты заделывают на глубину пахотного слоя.

Агротехнические требования к качеству внесения твердых органических удобрений должны быть единые, независимо от технологии их применения:

- рабочая скорость движения агрегата при внесении удобрений должна составлять 7–12 км/ч;
- отклонение фактической дозы внесения от заданной – не более $\pm 10\%$;
- неравномерность распределения по ширине захвата – не более $\pm 25\%$;
- неустойчивость дозы внесения по длине прохода агрегата – не более $\pm 10\%$;
- огрехи и неудобренные участки не допускаются;
- не более чем через 2 ч распределенные по поверхности поля удобрения должны быть заделаны в почву на требуемую глубину почвообрабатывающими орудиями общего назначения (плуги, лущильники, дисковые бороны и др.) при соблюдении агротехнических требований, предъявляемых к обработке почвы (вспашка, лущение и т.д.);
- некачественное внесение органических удобрений исправить невозможно, оно будет отрицательно сказываться на урожаях в течение нескольких лет. Поэтому контроль за качеством применения органических удобрений должен носить предупредительный характер по недопущению брака. В этих целях необходимо заблаговременно до начала работ качественно подготовить и правильно настроить машины для обеспечения заданной дозы внесения удобрений при выполнении указанных агротехнических требований.

6.4.9. Регламенты применения бесподстилочного навоза

Бесподстилочный навоз получают при содержании животных без подстилки и удалении навоза с помощью гидросмыва. Химический состав его зависит от технологии удаления (количества используемой для этой цели воды), хранения, способа содержания и типа кормления животных. При замене концентратов сочными кормами в навозе снижается содержание азота и фосфора и повышается содержание калия.

Перед использованием на удобрение бесподстилочный навоз обеззараживается на очистных сооружениях термической или химической обработкой. Наиболее эффективным методом обеззараживания является метановое брожение при температуре 56°C. Из химических средств для обеззараживания навоза применяют хлорную известь, формалин, формальдегид, ксилол. В карантинной емкости навоз выдерживают в течение 6–8 суток.

Для распределения бесподстилочного жидкого навоза по поверхности почвы используют жиже-разбрасыватели, жидкой фракции навоза и навозных стоков – дождевальные машины фронтального и кругового действия, а также дальнеструйные машины и агрегаты, работа которых возможна только при температуре воздуха не ниже –10°C и скорости ветра до 3 м/с.

При поверхностно-самотечном способе полива расход стоков должен составлять 0,25–2 л/с, а длина борозд не должна превышать 200 м, при этом сброс поливной жидкости в конце борозды не допускается. Поверхностно-самотечный способ полива можно применять при уклоне поверхности орошаемого участка 0,01–0,002. Сельскохозяйственные культуры сплошного сева орошают напуском по полосам и заполнением по чекам, пропашные – напуском и по проточным полосам. Длину поливных полос устанавливают с учетом уклона орошаемого участка и водопроницаемости почвы.

При поверхностном внесении жидких органических удобрений должны соблюдаться следующие агротехнические требования:

- неравномерность распределения по длине и рабочей ширине захвата не должна превышать $\pm 25\%$;
- перекрытие смежных проходов должно составлять 2–4 м, а по длине стыковых проходов – 2–7 м;
- стабильность дозы по всей длине рабочего хода агрегата $\pm 10\%$;
- независимо от технологии применения во избежание потери азота жидкие удобрения должны быть заделаны в почву не позднее, чем через 2 ч после внесения;
- глубина заделки удобрений должна быть не менее 8 см;
- повторное переворачивание пласта после заделки удобрений в почву не допускается;
- при загрузке машин жидкими удобрениями коэффициент заполнения должен быть 0,95–0,96;
- перелив заправленной емкости не допускается;
- влажность навозной массы при транспортировании ее к месту внесения и в полевые хранилища должна находиться в пределах 88–94 %, в ней не должно быть механических включений размером более 30 мм, а соломистых включений – длиной более 40 мм;
- отклонение проб жидких удобрений по влажности на различной глубине и в разных точках навозохранилища не должно превышать $\pm 25\%$, а по содержанию питательных веществ – не более $\pm 15\%$;

– перед внесением находящиеся в емкости удобрения должны тщательно перемешиваться в течение 2–5 мин.

При использовании трубопровода максимальный размер механических и твердых растительных включений в жидких удобрениях не должен превышать 10 мм, его влажность должна быть не менее 91 %.

Для внутрипочвенного внесения используется бесподстилочный навоз влажностью 92–97 %. Его вносят после карантинирования в хранилищах в течение 6 суток. При обнаружении возбудителей опасных заболеваний крупного рогатого скота и свиней удобрения обеззараживают или выдерживают в хранилище соответственно в течение 6 мес. и 12 мес. под контролем ветеринарной службы. Внутрипочвенное внесение жидких органических удобрений по сравнению с поверхностным в 7–10 раз снижает потери питательных веществ благодаря устранению поверхностного стока и потерь азота, повышает урожайность на 10–15 %, снижает загрязнение водоемов и атмосферного воздуха.

По агротехническим требованиям при внутрипочвенном внесении жидких органических удобрений должны соблюдаться следующие условия:

- глубина заделки удобрений должна быть не менее 15–18 см;
- для предотвращения стока жидких органических удобрений их вносят поперек склона на почвах, имеющих влажность не более 24–30 %;
- используют в качестве основного внесения и в подкормку пропашных кормовых культур (кормовые корнеплоды, картофель, кукуруза), а также сенокосов, пастбищ и многолетних трав второго и последующих годов пользования;
- внутрипочвенное внесение жидкого навоза при основной обработке осуществляют параллельно с отвальной вспашкой или безотвальной обработкой почвы под пласт или в борозду при обеспечении равномерной заделки удобрений на глубине обработки от 16 до 30 см;
- неравномерность подачи жидких органических удобрений по насадкам должна быть не более ± 25 %;
- отклонение фактической дозы от заданной должно быть не выше ± 10 %;
- отклонение фактической глубины внесения от заданной не должно превышать ± 2 –3 см;
- при внутрипочвенном внесении жидкие органические удобрения должны быть полностью заделаны в почву;
- площадь с поврежденной дерниной по отношению к обработанной площади не должна быть более 3 %, а поврежденных растений при подкормке пропашных культур – не более 2–4 %;
- дозу жидких органических удобрений под различные культуры устанавливают исходя из их биологических особенностей, плодородия почвы и содержания в удобрениях питательных веществ, при этом необходимо учитывать возможное загрязнение окружающей среды нитратами, фосфатами, гельминтами и возбудителями опасных заболеваний животных;
- агрегаты для внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений должны быть герметичны, не иметь подтеков удобрений при прекращении рабочих органов;
- не допускается использование жидких органических удобрений на территории первого и второго поясов санитарной зоны охраны источников водоснабжения и минеральных источников;

– под пропашные культуры жидкие органические удобрения вносят по центру междурядий или через ряд с постоянной дозой;

– в пробах бесподстилочного навоза, взятых в разных точках навозохранилища или из цистерны после перемешивания, неравномерность влажности по объему (отклонение содержания сухого вещества по объему) должна быть не более $\pm 25\%$, а содержание азота, фосфора и калия – не более $\pm 15\%$.

6.4.10 Технология работ по известкованию кислых почв и гипсованию солонцов

В зависимости от качества используемых химических мелиорантов различают технологию применения пылевидных известковых материалов и слабопылящих известковых и гипсосодержащих материалов. К машинам для внесения извести и гипса предъявляют высокие требования по распределению материала на почве. Поскольку химические мелиоранты действуют в течение нескольких лет, некачественное их внесение может быть причиной неравномерного развития сельскохозяйственных культур в течение продолжительного времени.

6.4.10.1. Агротехнические требования к качеству механизированных работ по известкованию

Эффективность известкования зависит от правильного выбора известкуемых площадей, норм внесения известковых удобрений и качества их распределения по полю. Нормы внесения известковых удобрений должны соответствовать заданию на выполнение механизированных работ. Отклонение фактической нормы известковых удобрений от заданной не должно превышать $\pm 10\%$ на любом участке обрабатываемого поля. Неравномерность распределения пылевидных известковых удобрений пневматическими машинами на рабочей ширине захвата и по ходу их движения должна быть не более $\pm 30\%$, для непьющих известковых удобрений, вносимых машинами с центробежными рассеивающими дисками, $\pm 25\%$. Перспективные машины должны обеспечивать рассев известковых удобрений с неравномерностью $\pm 25\%$

Смежные проходы машин по внесению удобрений должны быть равны рабочей ширине захвата (для пневматических машин не менее 10 м). Если расстояние между смежными проходами будет больше рабочей ширины, то при внесении известковых удобрений образуются огрехи. При расстоянии же между смежными проходами меньше, чем рабочая ширина захвата машины, на поле будут зоны с увеличенной нормой внесения известковых удобрений, что приведет к пестроте урожайности возделываемых культур.

Известкование пылевидными известковыми удобрениями не допускается при скорости ветра больше 5 м/с. Для обеспечения качественного распределения пылевидных известковых удобрений пневматические машины должны производить рассев их по направлению ветра.

Известкование почв в зимнее время и в периоды плохой проходимости машин по полям допускается только при условии сохранения постоянной рабочей скорости пневматических машин. Несоблюдение этого условия приводит к чрезмерной неравномерности нормы внесения известковых удобрений машиной в результате буксования ведущих колес.

При перевозке и хранении следует предотвращать возможность потерь, исключать повышение влажности пылевидных известковых удобрений более 1,5 %, Хранение пылевидных материалов в негерметичных складах и резервуарах с последующим их внесением пневматическими машинами не допускается.

На произвесткованных полях не должно быть остатков известковых удобрений в местах их хранения и погрузки в машины.

Для обеспечения бесперебойной работы пневматических машин и оборудования на складах силосного типа не допускается наличие твердых включений в пылевидных известковых удобрениях. В непылящих известковых удобрениях не должно быть камней, глыб и других посторонних предметов, которые могут нарушить рабочий процесс машин при внесении удобрений.

6.4.10.2. Агротехнические требования к качеству механизированных работ по гипсованию солонцов

Целесообразность мелиорации, ее вид, технология определяются агроклиматическими ресурсами, мелиоративным состоянием солонцовых территорий и задачами сельскохозяйственного производства. Для улучшения солонцов используют следующие приемы; химическая мелиорация (внесение химических веществ в почву); агротехнические мелиорации (а – мелиорация за счет внутрипочвенных запасов кальцийсодержащих соединений (самомелиорация), б – мелиорация без вовлечения внутрипочвенных запасов кальция); биологическая (фитомелиорация) мелиорация и сочетание нескольких видов мелиорации,

В первую очередь подлежат мелиорации солонцы пахотных угодий. Мелиорируют солонцы со степенью засоления не выше среднего. Подбор мелиоративного приема осуществляют с учетом содержания в почвах обменного натрия, степени засоления, глубины залегания карбонатов кальция и гипса, грунтовых вод, климатических условий, специфики сельскохозяйственного использования (пашня, возделывание овощных и плодовых культур, сенокосные угодья, пастбища).

Мелиорация солонцов включает не только мелиоративные приемы, но и комплекс послемелиоративных мероприятий, в т. ч. влагонакопительных. Солонцовые почвы в зависимости от их мелиоративных особенностей подразделяют на пять мелиоративно-технологических групп:

1 группа – солонцы и их комплексы, нуждающиеся в агротехнических мелиорациях. К этой группе относятся солонцы, расположенные в черноземной и каштановой зонах ($KU > 0,33$): солонцы остаточно-натриевые, не обладающие физико-химической солонцеватостью; слабосолонцеватые почвы нейтрального типа засоления при содержании солонцов в почвенном покрове более 30 %; солонцы мало- и средненатриевые в комплексе со слабосолонцеватыми и несолонцеватыми почвами, при содержании солонцов в почвенном покрове менее 10 %;

2 группа – солонцы и их комплексы, нуждающиеся в химической мелиорации. В группу входят солонцы черноземной, темно каштановой подзон ($KU > 0,4$), глубококарбонатные и глубокогипсовые с содержанием обменного натрия в ППК от 10 до 40 % с солонцеватыми и несолонцеватыми зональными почвами смешанного и содового химизма засоления с содержанием солонцов в почвенном покрове более 25–30 %;

3 группа – солонцы и их комплексы, нуждающиеся в самомелиорации за счет внутрипочвенных запасов карбонатов и гипса с помощью глубоких

мелиоративных обработок. К этой группе относятся солонцы, расположенные в черноземной и каштановой зонах ($KY > 0,33$), высококарбонатные и высокогипсовые, с содержанием обменного натрия в ППК от 10 до 40 % нейтрального типа засоления и их комплексы с солонцеватыми и зональными почвами при содержании солонцов в почвенном покрове не более 40 %;

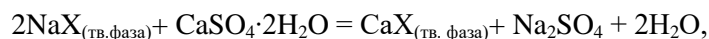
4 группа – солонцовые почвы и их комплексы, нуждающиеся в улучшении с помощью глубоких безотвальных обработок. В группу входят солонцы, расположенные в черноземной и каштановой зонах ($KY > 0,33$): средненатриевые, сильнозасоленные и их комплексы с содержанием солонцов более 30 %;

5 группа – солонцовые почвы и их комплексы, не подлежащие мелиорации. Это солонцы, содержащие в ППК солонцового горизонта более 40 % обменного натрия; солонцы автоморфные и полугидроморфные, с засолением выше сильного; солонцы гидроморфные с сильным засолением, с глубиной залегания грунтовых вод выше критического; солонцы в комплексе с мало развитыми и неполноразвитыми щелочистыми почвами (более 10 %), а также с солончаками (более 50 %).

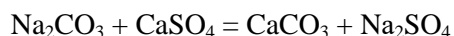
Метод химической мелиорации предусматривает внесение в солонцы кальцийсодержащих соединений (гипс, фосфогипс, смеси фосфогипса с пылевидной известью, мел, известняк, хлористый кальций), кислот или кислых форм мелиорантов (сера, сульфаты железа и алюминия, пирит), а также различных промышленных отходов (электролит травления стали, дефекаат – отход переработки сахарной свеклы и др.). Наибольшее распространение в качестве мелиорантов получили гипс и фосфогипс-дигидрат. Для гипсования солонцов и солонцеватых почв используют сыромолотый гипс, фосфогипс (отход при производстве фосфорной кислоты). Сыромолотый гипс содержит не менее 85 % (класс А) и 70 % (класс Б) гипса-дигидрата ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), фосфогипс соответственно не менее 92 %.

Химическая мелиорация используется в качестве основного приема в регионах с количеством выпадающих осадков $> 300-350$ мм в год для улучшения: содовых солонцов; солонцов нейтрального типа засоления с залеганием карбонатов и гипса глубже 40–50 см и с содержанием обменного натрия > 10 %; как вспомогательный прием для устранения корки и интенсификации процессов самомелиорации за счет внутрипочвенных запасов карбонатов; для борьбы с проявлениями вторичного осолонцевания при орошении.

При внесении гипса (фосфогипса) в почву происходят его растворение и реакции обмена с твердой фазой почв ($X_{(тв.фаза)}$) по уравнению:



При внесении гипса (фосфогипса) в солонцы, содержащие соду, часть его расходуется на нейтрализацию соды по уравнению:



Эффективность мелиорации солонцовых почв зависит от качества выполнения всех элементов технологического процесса, определения сроков действия химических мелиорантов, времени вспашек и повторного их проведения, качества проектно-сметной документации на мелиоративные работы, качества мелиорантов и орудий для обработки почв, выдержанности доз мелиорантов и заданной глубины обработки, своевременности проведения мелиоративных работ.

Химическую мелиорацию проводят в паровом поле в летне-осенний период. В случае возделывания бобовых или пропашных культур химическую мелиорацию можно проводить в середине ротации севооборота. Гипсование можно проводить под яровую пшеницу.

Мощность мелиорируемого слоя зависит от региональных особенностей солонцовых почв и от их дальнейшего использования. Для солонцов в пашне расчетный слой мелиорации 20–25 см. При гипсовании лугов и пастбищ доза гипса рассчитывается на слой почвы мощностью 10 см, на орошаемых участках – на слой 30 см. Гипсование солонцов и солонцеватых почв проводят сплошное или выборочное, но контурное, при котором гипс вносят только на солонцовые пятна полной дозой.

Перед внесением химических мелиорантов предварительно готовят поле. При внесении слабопылящих мелиорантов важно правильное размещение удобрений на поле. Разгрузка мелиоранта на поле допускается лишь при условии непродолжительного его хранения и тщательного удаления остатков мелиоранта

Слабопылящие мелиоранты вносят в почву по двум схемам: перевалочной и прямопочной, в зависимости от наличия машин, расстояния перевозки и дозы внесения. Гипсование непылящими мелиорантами в большинстве случаев проводят по перевалочной схеме: транспортирование мелиоранта самосвальными транспортными средствами, выгрузка гипса или извести на обочине или непосредственно на поле, погрузка в кузовные разбрасыватели и внесение ими мелиоранта в почву. Использование непылящих мелиорантов по прямопочной схеме ограничено. Ее применяют на полях, расположенных на небольших расстояниях от места хранения мелиоранта. Сыромолотый гипс и гипсосодержащие материалы вносят в почву разбросным способом. Эффективность гипсования зависит от тонины помола и равномерности его распределения по полю. В противном случае снижается эффективность всей мелиорации и создается пятнистость. Следует учитывать, что растворимость гипса, а отсюда и его мелиорирующее действие, связаны не только с размерами частиц, но и с увлажнением почвы. Этот важный вопрос является первоочередным в решении всей проблемы мелиорации солонцов.

При весеннем внесении гипса в паровое поле следует выровнять поверхность пашни, разрушить глыбы и крупные комья до мелкокомковатого состояния. В течение лета поле обрабатывается по системе черного пара.

При осеннем внесении мелиоранта под зяблевую вспашку и черный пар пашню следует оставлять на зиму в гребнистом состоянии, а весной провести культивацию.

Сплошному гипсованию подлежат те массивы солонцовых почв или почвенные комплексы, содержание солонцовых земель в которых более 30 %. Если доза фосфогипса превышает 10 т/га, то эффективнее перекрестное внесение мелиоранта. При таком способе добиваются лучшего его рассева. Гипс (фосфогипс) заделывается в почву корпусными луцильниками или плугами на глубину пахотного слоя с обязательным безотвальным (35–37 см) рыхлением солонцового горизонта. Такой элемент технологии рекомендуется включать в проекты мелиоративных работ.

Нежелательно внесение мелиорантов в почву на невыровненной пашне и в период плохой проходимости техники. Поля должны быть загипсованы и обработаны полностью, включая края и поворотные полосы. На участках не должны оставаться кучи фосфогипса.

На пахотных землях, где солонцовые почвы в комплексах занимают менее 30 % площади, необходимо вносить фосфогипс дифференцированными нормами разбрасывателем 1-РМГ-4. На пятна солонцов, отмеченные кольщиками, разбрасывают соответствующее количество фосфогипса, затем заделывают мелиорант в почву луцильниками с боронами.

В засушливой зоне на луговых солонцах, характеризующихся глубоким залеганием карбонатов кальция, целесообразно использовать фосфогипс, действие которого особенно эффективно на фоне глубокого безотвального рыхления.

Вносить фосфогипс в почву следует на полях, где уровень грунтовых вод расположен не выше 1,6 м и где среднегодовое количество осадков превышает 400 мм. Химическую мелиорацию на этих почвах необходимо проводить только в системе черного пара. Доза фосфогипса (в зависимости от содержания натрия) вносится поверхностно осенью и заделывается луцильниками на глубину 10–12 см. Затем проводится глубокое (50–55 см) безотвальное рыхление плантажными плугами без отвалов или ПЧ-4,5. Ранней весной поверхность пашни выравнивается дисковыми луцильниками и обрабатывается по системе ухода за паром. Осенью высевают озимые зерновые или многолетние травы.

Для внесения фосфогипса используют разбрасыватели удобрений типов МВУ-6, МВУ-8, МВУ-12, машины МХА-7, КСА-3. Мелиорант вносится равномерно по всей мелиорируемой площади. Для туковых сеялок неравномерность не должна превышать $\pm 15\%$, для разбрасывателей – не более $\pm 10\%$. Контроль за нормой внесения осуществляют путем учета высеянного количества мелиоранта после прохода агрегата. Для этих целей используют металлические противни размером 0,5x0,5 м или специальные полиэтиленовые полосы с ячейками размером 0,5x0,5 м, а также брезент или полиэтиленовую пленку, которые укладывают по ширине захвата разбрасывателя. Степень неравномерности внесения мелиоранта не должна быть более $\pm 25\%$ заданной нормы. При этом неустойчивость фактической нормы внесения должна быть не более $\pm 10\%$ от заданной. Движение машин при внесении мелиорантов должно происходить поперек направления господствующих ветров и совпадать с направлением предшествующей вспашки. Глубина внесения мелиоранта зависит от мощности подсолонцеватого горизонта. Гипс при внесении необходимо по возможности немедленно запахивать в почву, т. к. в сухую ветреную погоду он сносится с поля, а в дождливую – быстро образует прочную корку. Запахивают мелиорант плугами без предплужников, так достигается интенсивное перемешивание материала с почвой.

На целинных корковых и мелких солонцах, а также на полях после отвальной обработки применяют плантажную или послонную вспашки. На солонцах средних и глубоких, целинных и распаханых фосфогипс заделывают обычными плугами с почвоуглубителями типа стоек СибИМЭ, трехъярусными плугами с отнятыми отвалами 2 и 3 корпусов, а также солонцовыми рыхлителями РС-1,5 и РСН-2,9. В том случае, если при обработке поля на поверхность выворачивается значительная часть солонцового горизонта, дозу фосфогипса делят на две части и вносят поровну – одну часть до основной обработки и вторую после вспашки с последующей культивацией.

При сплошном внесении мелиоранта в зависимости от расстояния и технических средств применяются несколько технологических схем работы: прямо-

точная, с перевалкой и с перегрузкой. При радиусе работы до 3 км от склада используют прямоточную схему, при которой транспортировка и внесение мелиоранта производится одним и тем же трактором-разбрасывателем кузовного типа. При перевалочном способе мелиорант доставляется различными средствами в поле, складывается там, а затем грузится в разбрасыватели и вносится в почву. Бурты мелиоранта объемом не более 500 т размещают на ровных, повышенных, утрамбованных участках. В отличие от гипса, который при увлажнении быстро образует комки и цементируется в глыбы, фосфогипс-дигидрат не теряет первоначальную сыпучесть при увлажнении и последующем высыхании, замерзании и оттаивании. Поэтому фосфогипс можно буртовать в поле без укрытия. При перегрузочном способе внесения мелиорант перевозится на поля автомобильными заправщиками, которые заправляют разбрасыватели. Действие гипса и фосфогипса наиболее полно проявляется при внесении его с навозом (40–60 т/га) и минеральными удобрениями. Вначале вносят мелиорант и минеральные удобрения, затем разбрасывают навоз и в тот же день пашут.

Последствие химической мелиорации солонцов составляет 5–10 лет и более в зависимости от доз гипса и режима увлажнения мелиорированных почв [8,10,11].

Вопросы для самоконтроля

1. Опишите свойства наиболее распространённых минеральных удобрений (внешний вид, химическая формула, содержание действующего вещества, сущность технологий производства, превращение в почве, способы применения):
 - аммонийная селитра;
 - сульфат аммония;
 - карбамид;
 - суперфосфат простой;
 - суперфосфат двойной;
 - осаждённый фосфат;
 - фосфоритная мука;
 - хлористый калий;
 - калийная соль.
2. Регламенты и экологические ограничения при использовании удобрений.
3. Изложите потребность в удобрениях в зависимости от культур и почв.
4. Назовите наиболее распространённые формы, дозы и способы применения удобрений:
 - борные;
 - кобальтовые;
 - молибденовые;
 - марганцевые;
 - медные;
 - цинковые.
5. Характеристика комплексных удобрений, их преимущества и недостатки:
 - аммофос;
 - диаммофос;
 - нитроаммофос;
 - нитроаммофоска;
 - нитрофос;
 - нитрофоска;
 - жидкие комплексные удобрения.

6. В чём заключается особая роль органических удобрений в сельском хозяйстве?
7. Опишите содержание элементов питания в органических удобрениях; их подготовку, хранение и внесение:
 - подстилочный навоз;
 - бесподстилочный навоз;
 - птичий помёт;
 - торф;
 - солома;
 - зелёное удобрение.
8. Экологические требования к подготовке и применению органических удобрений.
9. Как влияет известкование на плодородие почв?
10. Роль известкования в системе природоохранных мероприятий.
11. Какие удобрения применяются в известковании? Приведите их характеристику.
12. В чём сущность гипсования почв?
13. Агрохимические и агроэкологические требования при гипсовании почв.
14. Какие удобрения применяются при гипсовании и их характеристика.

Литература

1. Агрохимия / Под ред. В.Г.Минеева. – М.: Агрохимэкодружество, 2017. – 854 с.
2. Кидин В.В. Агрохимия / В.В. Кидин, С.П. Торшин. – М.: Проспект, 2016. – 608 с.
3. Козловский Е.В. Известкование почв / Е.В. Козловский, А.Н. Небольсин, Ю.В. Алексеев, П.А. Чуриков. – Л.: Колос, 1983. – 286с.
4. Куркаев В.Т. Агрохимия / В.Т. Куркаев, А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП "Адыгея", 2000. – 552 с.
5. Либих Ю. Химия в приложении к земледелию и физиологии / Ю. Либих. – М. – Л.: Сельхозгиз, 1936. – 407 с.
6. Марчук И.У. Удобрения и их использование / И.У. Марчук, А.В. Савчук, Е.А. Филонов, В.И. Макаренко, В.Е. Розстальный. – М.: ЕврХим, 2011. – 350 с.
7. Петербургский А.В. Агрохимия и успехи современного земледелия / А.В. Петербургский. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1989. – 221 с.
8. Подколзин А.И. Солонцовые почвы Ставрополя, их свойства и приёмы улучшения / А.И. Подколзин, С.В. Беликова, А.В. Бурлай. – Ставрополь: Став. кн. изд-во, 2001. – 320 с.
9. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. М.: Изд-во АН СССР: т.1, 1951. – 595 с.; т.2, 1953. – 492 с.; т.3, 1952. – 633 с.; т.4, 1955. – 596 с.
10. Рекомендации по проектированию интегрированного применения средств химизации в ресурсосберегающих технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия / Под ред. А.Л. Иванова и Л.М. Державина. – М.: Росинформагротех, 2010. – 464 с.
11. Справочник агрохимика / Под ред. В.В. Лапа. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 390 с.
12. Шеуджен А.Х. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: Афиша, 2006. – 1075 с.
13. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 5. Прикладная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: Полиграф-Юг, 2017. – 860 с.
14. Ягодин Б.А. Агрохимия / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. – М.: Колос, 2002. – 584 с.

7. ФИЗИОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УДОБРЕНИЙ

Буде хотим об удобрении земель основательно рассуждать, то надобно нам во внутренность земли и самых тех вещей вникнуть, которые ее удабривают, также рассмотреть, что именно удабривает землю и поспешествует лучшему урожаю хлеба. Прилежные естествоиспытатели подадут нам к тому руководство.

А.Т. Болотов, 1770

Главная роль в повышении сбора высококачественной продукции принадлежит приемам рационального использования почвенного плодородия и удобрений.

Г.П. Гамзиков, 1989

Характерной особенностью наступившего XXI в. является сужение, вследствие роста народонаселения, урбанизации и активной техногенной деятельности человека, жизненного пространства, в т. ч. земельного фонда. Это еще больше обострило продовольственную проблему на планете. Для ее решения необходимо повысить продуктивность сельскохозяйственных культур. Одним из путей достижения этой цели является оптимизация питания растений путем совершенствования системы удобрения. Эта задача должна быть реализована одновременно с повышением коэффициента использования растениями элементов питания из удобрений. В этой ситуации важное значение приобретают внесение в почву цеолитов, применение бактериальных препаратов, ингибиторов нитрификации, регуляторов роста растений, а также широкое использование таких агрохимических приемов как дефолиация, десикация и сеникация.

7.1. Цеолиты, бактериальные препараты и регуляторы роста растений

7.1.1. Цеолиты

Цеолиты улучшают свойства почвы: они сорбируют ионы аммония и калия, сохраняют влагу, предотвращают заболевания корней растений, служат источником микроэлементов.

А.А. Ермолов, 1987

Цеолиты относятся к группе щелочных и щелочноземельных алюмосиликатов, преимущественно кальция и натрия, реже калия и бария. Их насчитывается около 40 видов: амицит, баррерит, бикитаит, брүстерит, гармотом, гарронит, гейландит, гмелинит, гоннардит, дакиардит, жисмондин, каулсит, клиноптилолит, левин, ломонтит, мацит, мезолит, мерлиноит, морденит, натролит, оффретит, паулингит, силикалит, сколецит, стеллерит, стильбит, томсонит, феррьерит, филлиписит, фожазит, шабазит, эдингтонит, эпистильбит, эрионит, югаваралит.

Цеолиты найдены в осадочных, вулканических и метаморфических породах во многих районах Земного шара. Они образуются при умеренных тем-

пературах и давлениях и имеют ограниченное поле стабильности, в связи с чем редко встречаются в породах древнее мезозойских. Наиболее широко распространены цеолиты в осадочных породах (морденит, клиноптилолит, филлипсит, шабазит, эрионит), где их протяженность и мощность может достигать несколько километров. Цеолиты встречаются во многих литических и полевошпатовых песчаниках в ассоциации с обломочными породами палеозойского и миоценового возраста. Цеолиты с хорошо развитыми кристаллическими агрегатами найдены в полостях и пустотах изверженных вулканических пород, в основном в базальтах. Судя по всему, они являются результатом позднего отложения из флюидов, которые проникли в базальты после их кристаллизации. Метаморфические цеолиты образуются в основном за счет высокотемпературных вулканических стекол, ферромагнитных минералов и диагенетических цеолитов, которые могут присутствовать в первичных осадочных породах. Обнаруживают цеолиты и в морских илах, что свидетельствует об их образовании в водной среде при наличии соответствующих условий для синтеза из растворов. Это не единственный путь возникновения цеолитов, а может быть, и не главный. В илах находят также гейландит (клиноптилолит), но он имеет терригенное¹ происхождение и с поверхности суши смывается в водоемы. При этом в илах он сосредоточен в наиболее мелкой фракции (<2 мкм). Обнаружены цеолиты также в пресноводных и соленых озерах, лагунах. Возможно также образование цеолитов в результате взаимодействия поровых растворов.

В настоящее время известно около 1000 месторождений тех или иных разновидностей цеолитов более чем в 40 странах мира. Вулканогенно-осадочные месторождения цеолитов, имеющие промышленное значение, впервые стали разрабатываться в США и Японии в середине 50-х гг. XX столетия. Богатые месторождения этих минералов обнаружены во Франции, Болгарии, Венгрии и многих странах африканского континента. На территории Российской Федерации и стран ближнего зарубежья потенциальные ресурсы цеолитов составляют несколько миллиардов тонн; разведанных запасов – более 1 млрд. 804 млн. т. Залегают они в основном в Закарпатье (Сокирницы, Водичи, Липча), Кемеровской области (р. Пегас), Приморском и Хабаровском краях (Чугуевское, Середочное и Угольное месторождения), на Сахалине (Лютюгское), Камчатке (Ягоднинское), в Туве, Якутии и Бурятии. На Северном Кавказе также широко распространены цеолитсодержащие породы, являющиеся сырьем многоцелевого использования. Наиболее изученными, перспективными и доступными являются цеолитсодержащие образования палеогена, которые прослеживаются с запада на восток (более 300 км) вдоль северных предгорий Кавказа. Большие залежи цеолитов встречаются вблизи г. Хадьженска и в Крымском районе Краснодарского края. Представление о химическом составе природных цеолитов дают данные таблицы 80 (Яковлев Е.Н., Нагорнова Л.М., Завойская О.А., Булычева Г.П.1990).

Основным критерием, положенным в основу классификации цеолитов, служат структурные характеристики, связанные с морфологией кристаллов. Согласно этой классификации, цеолиты делятся на три основные груп-

¹ Терригенное – (от лат. terra – земля и греч. genes – рожденный) – обломочные составные части осадочных горных пород.

пы: 1) трехмерные каркасные структуры типа филлипсита и шабазита; 2) волокнистые структуры, образованные цепями тетраэдров, слабо связанных между собой в продольном направлении, – например, натролит; 3) пластинчатые структуры, образованные тетраэдрами, сильно связанными в одной плоскости и слабо – в перпендикулярном направлении, – например, гейландит, клиноптилолит. Существует и другая классификация цеолитов, основанная на топологии каркаса. В данном случае каждый каркас изображается в виде отдельных структурных единиц, например, колец тетраэдров. Далее эти конструкции группируются так, чтобы образовать легко идентифицируемые полиэдры или «блоки» структуры. Эта классификация представляет интерес с точки зрения промышленного использования цеолитов.

Таблица 80 – Содержание главных оксидов в цеолитах, %

| Тип цеолитовых руд | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | K ₂ O | CaO | MgO | Na ₂ O |
|--------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|-------------------|
| Клиноптилолит | 68,8 | 12,0 | 2,80 | 3,4 | 2,10 | 0,95 | 1,59 |
| Морденит | 71,8 | 12,7 | 1,47 | 5,8 | 1,43 | 0,34 | 1,88 |
| Гейландит | 70,1 | 10,6 | 1,70 | 6,0 | 3,30 | 0,80 | 4,40 |

Термин «цеолиты» известен в научной литературе с середины XIX в. Так, Дж. Уэй в 1850 г. писал, что поглощение катионов почвами осуществляется за счет перегноя и цеолитов. Под последними автор понимал компонент почвы, растворимый в соляной кислоте. Природу поглощения он объяснял химической реакцией между твердой фазой почвы и солевым раствором. Несколько позднее Ван Беммелен (1876) объяснял поглощение катионов присутствием в почве полуразложившихся останков организмов, гумуса, гидроксидов железа, коллоидной кремнекислоты и аморфных цеолитоподобных силикатов. В свою очередь, К.К. Гедройц (1935) считал, что главными носителями поглощательной способности почв являются органические, органоминеральные и минеральные коллоиды. Последние он называл цеолитной частью почв. Из вышесказанного не вполне ясно, что же понималось первоначально под термином «цеолиты»: отдельные минералы или часть неорганических компонентов почв. Впервые ясность в этот вопрос внес К.Д. Глинка (1906), который называл цеолитами индивидуальные минералы определенного химического состава. По своей химической природе они представляют собой кристаллические алюмосиликаты каркасного строения.

Цеолиты состоят из алюмоокислородного каркаса, содержащего пустоты и каналы, в которых расположены катионы щелочных и щелочноземельных металлов и молекулы воды. При осторожном нагревании «цеолитовую воду» можно полностью удалить без нарушения структуры минералов. В этом состоит коренное отличие цеолитов от минералов, содержащих конституционную воду, выделение которой возможно лишь при разрушении всей структуры. При нагревании цеолиты вспучиваются. Легкость, с которой вода выходит из цеолитов даже при незначительном нагревании, определила название этого минерала: от греч. *zeo* – «кипеть» + *litos* – «камень». Катионы и вода, связанные с каркасом, могут быть частично или полностью замещены или удалены в процессе ионного обмена и дегидратации. После удаления воды минерал стано-

вится как микропористая «губка» с объемом пор до 50 %. Это и создает высокую емкость катионного обмена, что предопределяет особую ценность этого минерала для обеспечения длительного питания растений. У различных цеолитов обменная емкость катионов достигает 1–5 ммоль-эк/г массы. Второе весьма важное свойство цеолитов – их селективность в отношении к катионам. Обмен катионов происходит с выраженной избирательностью к крупным катионам NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Mg^{2+} . Отмечается также их постоянная избирательность к Na^+ . На цеолитах осаждаются остатки пестицидов, спирты, сероводород и ионы тяжелых элементов. Последнее особенно важно для сельскохозяйственной рекультивации земель вдоль автомагистралей с интенсивным движением, где содержание меди, цинка, свинца значительно превышает ПДК.

В целом цеолиты после насыщения NH_4^+ можно рассматривать, как комплексное удобрение длительного действия, включающие помимо азота K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и многие микроэлементы самого цеолита. Осаждение иона аммония в каналах предотвращает его нитрификацию и снижает потери азота из внесенных удобрений и почвы. Велика роль цеолита и как пролонгатора минеральных и органических удобрений. Поглощая внесенные в почву химические элементы, он предохраняет их от вымывания и затем постепенно возвращает в почвенный раствор.

Молекулярно-ситовые и каталитические свойства цеолитов определяют широкие возможности использования их для повышения плодородия почв и продуктивности тепличных субстратов, а также для улучшения экологической обстановки окружающей среды. Особенно эффективно использование цеолитсодержащих субстратов в тепличном хозяйстве. С агрономической и производственной точек зрения цеолитовые субстраты отличаются хорошими физическими свойствами, длительностью эксплуатации, отсутствием сорняков, стерильностью и хорошим эстетическим видом. У тепличных растений формируется мощная корневая система, наблюдается более быстрое развитие и плодоношение. Причем, такие субстраты можно использовать на территориях, не пригодных для земледелия.

Весьма эффективным является применение цеолитов в орошаемом земледелии, в частности, в рисоводстве. Являясь активным сорбентом аммонийного азота, они обеспечивают его временную консервацию в почве и сокращение потерь с фильтрационными и сбросными водами. Согласно нашим данным, полученным в лабораторном опыте, внесение азотного удобрения в количестве, соответствующем полевой норме 120 кг/га, вместе с увеличением в почве подвижных его форм вызывало и повышение потерь (табл. 81). В сбросных водах количество аммонийного азота возрастало в 4,2 раза, а нитратного — в 1,5 раза по сравнению с вариантом без удобрений. Внесение цеолита (Ц) в количестве 50 % от массы азотного удобрения способствовало снижению потерь азота со сбросными водами. При использовании цеолита, измельченного до 0,5–1,0 мм, в сбросных водах было обнаружено 3,02 мг/л аммонийного азота и 19,1 мг/л — нитратного; до 1–2 мм — соответственно 2,91 и 18,75 мг/л. Внесение мелиоранта с частицами более крупного размера было менее эффективно.

Увеличение нормы цеолита в 2 раза (100 % к физической массе азотного удобрения) способствует достоверному снижению потерь аммонийного азота: его количество в сбросных водах составляло 2,64 мг/л при использовании цеоли-

та, размолотой до частиц 0,5–1,0 мм, 2,34 мг/л — 1-2 мм и 2,40 мг/л — до частиц размером 2–3 мм. Аналогичное влияние он оказывает и на потери нитратного азота. Исключение составил цеолит с частицами 0,5–1,0 мм. В этом варианте не было отмечено достоверного уменьшения его количества в сбросных водах по сравнению с вариантом N₁₂₀ + Ц 50 %. Частицы 1–2 и 2–3 мм способствовали снижению содержания нитратов в сбросных водах до 17,70 и 17,80 мг/л соответственно. Повышение нормы цеолита до 150 % от массы азотного удобрения уменьшает потери аммонийного и нитратного азота со сбросными водами по сравнению с нормой в 100 % от массы азотного удобрения, но незначительно.

Таблица 81 – Содержание азота в сбросных и фильтрационных водах рисовых оросительных систем при внесении цеолита, мг/л

| Цеолиты | N–NH ₄ | | | N–NO ₃ | | |
|----------------------------|---|------|------|-------------------|-------|-------|
| | размер частиц цеолитсодержащей породы, мм | | | | | |
| | 0,5–1 | 1–2 | 2–3 | 0,5–1 | 1–2 | 2–3 |
| Сбросные воды | | | | | | |
| Без удобрений | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 14,3 | 14,3 | 14,3 |
| N ₁₂₀ | 3,64 | 3,64 | 3,64 | 21,13 | 21,13 | 21,13 |
| N ₁₂₀ +Ц 50 % | 3,02 | 2,91 | 2,99 | 19,1 | 18,75 | 19,00 |
| N ₁₂₀ + Ц 100 % | 2,64 | 2,34 | 2,40 | 18,80 | 17,70 | 17,80 |
| N ₁₂₀ + Ц 150 % | 2,61 | 2,31 | 2,36 | 18,15 | 17,12 | 17,24 |
| Фильтрационные воды | | | | | | |
| Без удобрений | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 15,06 | 15,06 | 15,06 |
| N ₁₂₀ | 3,80 | 3,80 | 3,80 | 23,05 | 23,05 | 23,05 |
| N ₁₂₀ +Ц 50 % | 3,20 | 3,00 | 3,10 | 20,20 | 19,80 | 20,00 |
| N ₁₂₀ + Ц 100 % | 2,79 | 2,64 | 2,70 | 19,32 | 18,16 | 18,39 |
| N ₁₂₀ + Ц 150 % | 2,69 | 2,54 | 2,62 | 19,13 | 18,14 | 18,12 |

Внесение цеолита положительно сказывается и на сокращении потерь азота с фильтрационными водами. Существенных различий по количеству аммонийного азота между вариантами с мелиорантом не обнаружено. Однако, независимо от нормы цеолита, сокращение потерь азота по сравнению с вариантом N₁₂₀ было достоверным. Также не обнаружено значительных различий при использовании различных фракций цеолита. Вместе с тем, четко прослеживалась тенденция преимущества нормы в 100 % от массы азотного удобрения и тонины помола 1–2 мм. Цеолит способствует сокращению потерь нитратного азота с фильтрационными водами независимо от нормы и размера частиц. При размоле породы до 0,5–1,0 мм достоверных различий между нормами не обнаружено, хотя и отмечена тенденция в преимуществе варианта с внесением 100 % цеолита. При использовании цеолита с размером частиц 1–2 и 2–3 мм достоверно сокращаются потери нитратного азота в варианте N₁₂₀ + Ц 100 %, по сравнению с N₁₂₀, N₁₂₀ + Ц 50 % и N₁₂₀ + Ц 150 %. При внесении цеолита уменьшается содержание аммонийного и нитратного азота в дренажных водах соответственно на 30,5–35,7 % и 16,0–21,2 %. Использование его под рис позволяет вносить азотные удобрения за один прием и уменьшить их норму на 25–30 % без снижения урожайности.

Внесение цеолитов под рис положительно сказывается на содержании в растениях элементов минерального питания и повышает вынос их урожаем

основной и побочной продукции. Под их воздействием увеличиваются коэффициенты использования рисом азота на 6,2–24,6 %, фосфора 2,8–7,6 % и калия на 6,8–30,4 %. Включение цеолита в систему удобрения риса способствуют более интенсивному росту растений риса: у них увеличиваются высота стебля и длина корней, масса надземных и подземных органов, длина метелки и продуктивная кустистость. Цеолит усиливает фотосинтетическую деятельность растений в результате увеличения площади ассимиляционной поверхности листьев и обеспеченности их пластидными пигментами, повышения интенсивности и чистой продуктивности фотосинтеза.

Применение цеолитов способствует росту урожайности зерна риса на 5,0–5,7 ц/га. Увеличение урожая происходит в результате повышения продуктивности метелки за счет снижения пустозерности и возрастания выполненности зерновок. Внесение цеолитов под рис позволяет улучшить биохимические и технологические показатели качества зерна: содержание в зерне белка повышалось на 0,33–0,35 %; крахмала — 0,61–1,31; стекловидность — 0,5; выход крупы — на 1,5–2,0 %; трещиноватость снижалась на 0,5 %, пленчатость — 0,2–0,8, зольность на 0,18–20 %.

7.1.2. Бактериальные препараты

Бактериальные удобрения – препараты, в которых содержатся полезные почвенные микроорганизмы; при внесении бактериальных удобрений в почву в зоне корней растений создаются очаги этих микроорганизмов, что усиливает биохимические процессы в почве и улучшает корневое питание.

Л. Доросинский, 1969

Почва заселена огромным количеством микроорганизмов – бактериями, актиномицетами, грибами, водорослями, вирусами и бактериофагами. Общее число микроорганизмов в 1 г почвы доходит до десятков миллиардов, а их масса в 0–20 см ее слое составляет около 10 т/га. Микроорганизмам принадлежит ведущая роль в разложении растительных остатков, синтезе и деструкции гумуса, формировании фитосанитарного состояния почвы, накоплении в ней биологически активных веществ (регуляторы роста растений, а также соединения, подавляющие развитие патогенов), фиксации атмосферного азота. Во многих случаях все эти вещества микроорганизмы синтезируют для себя, однако, выделяя их в почву в процессе жизнедеятельности, предоставляют жизненно важные соединения для растений. Известны симбиотические взаимодействия, когда растения и бактерии образуют взаимовыгодное сообщество. Уровень потенциального и эффективного плодородия почвы в значительной мере обуславливается интенсивностью и направленностью перечисленных выше процессов, что, в свою очередь, регулируется численностью соответствующих микроорганизмов в почве. Для ее увеличения применяют бактериальные препараты, содержащие определенные виды полезных бактерий. В настоящее время выделены из естественных условий и созданы методами микробиологической селекции штаммы ассоциативных микроорганизмов землеудобрительных групп, которые, обитая в прикорневой зоне растений, способны повышать плодородие почвы за счет фикса-

ции атмосферного азота и увеличения усвояемости фосфора и других биогенных элементов, переводя их в доступные формы соединений. Рациональное сочетание биосредств различной направленности позволяет получать стабильные урожаи, обеспечивая при этом воспроизводство почвенного плодородия и улучшение фитосанитарного состояния почвы. Включение в агротехнологии микробиологических препаратов способствует:

- оздоровлению семян, повышению всхожести и более быстрому появлению всходов;
- улучшению микробоценоза почвы;
- ускорению трансформации остатков биоценоза;
- очищению почвы от загрязнителей и увеличению ее эффективности;
- повышению содержания в почве легкоусвояемых растениями форм элементов;
- повышению устойчивости растений к неблагоприятным внешним воздействиям;
- самопроизвольной регуляции температурного режима почвы;
- увеличению эффективности минеральных удобрений;
- повышению качества продуктов и увеличению урожайности;
- снижению риска заражения корней грибковыми заболеваниями и растений вредителями;
- восстановлению естественного плодородия почвы.

В связи со свойствами отдельных видов микроорганизмов и особенностями их культивирования технология изготовления бактериальных препаратов неодинакова. Однако, несмотря на все различия, действующим началом в них являются микроорганизмы, жизнедеятельность которых в почве способствует улучшению условий корневого питания растений. Общей целью производства этих препаратов является стремление накопить в них возможно большее количество жизнеспособных, активных бактерий. Второе требование – все бактериальные препараты должны сохранять свои свойства не менее чем 9–12 месяцев со дня их изготовления. Наконец, технология производства бактериальных препаратов должна быть как можно более простой, нетрудоемкой, а используемые материалы – дешевы и недефицитны. Наиболее распространенными бактериальными препаратами являются нитрагин, азотобактерин, фосфобактерин, силикатные бактерии, АМБ и цианобактерин (сине-зеленые водоросли).

Нитрагин – бактериальный препарат, содержащий активные расы клубеньковых бактерий – *Bacterium radicola*, которые живут на корнях бобовых растений и усваивают азот из воздуха, используя при этом поступающие к корням углеводы. Чистая культура клубеньковых бактерий была выделена М. Бейеринком в 1888 г., а в 1896 г. препарат нитрагин впервые получен в Германии. Клубеньковые бактерии – это граммотрицательные аэробные подвижные палочки размером 0,5–0,9×1,2–3,0 мкм. Каждой бобовой культуре соответствуют специфичные для нее клубеньковые бактерии, интенсивно поглощающий азот атмосферы. Поэтому в зависимости от культуры, под которую его используют, нитрагин должен содержать специфичные, высокой активности и вирулентности штаммы клубеньковых бактерий. *Под вирулентностью понимают способность бактерий проникать через корневые волоски внутрь корня бобового растения и вызывать образование клубеньков.* Ак-

тивность – способность клубеньковых бактерий в симбиозе с бобовыми растениями усваивать азот из атмосферы и снабжать им растения.

По специфичности выделяются следующие группы бактерий: 1-я – для клевера; 2-я – гороха, вики, чины, чечевицы, конских бобов; 3-я – люцерны, донника и пажитника; 4-я – люпина, сераделлы; 5-я – сои; 6-я – фасоли; 7-я – маша; 8-я – арахиса и вигны; 9-я – нута; 10-я – для эспарцета.

Прививку клубеньковых бактерий бобовым культурам называют **инокуляцией**. Проводят ее путем обработки нитрагином семян бобовых растений, которые, прорастая, взаимодействуют с клубеньковыми бактериями, проникающими в корни растений.

Выпускают нитрагин трех видов: почвенный, сухой (**ризобин**) и торфяной (**ризоторфин**). Почвенный нитрагин представляет собой культуру клубеньковых бактерий, выращенную в стерильной садовой почве. Стерильную почву, обычно в стеклянных сосудах, инокулируют жидкой культурой клубеньковых бактерий выращивают в термостате при температуре 28°C. В 1 г такого препарата должно содержаться не менее 300 млн. клеток. Более совершенна технология производства сухого нитрагина – порошка высушенных клеток бактерий рода *Rhizobium* в смеси с наполнителем (каолин, бентонит, мел). В 1 г такого порошка при влажности 5–7 % содержится не менее 10 млрд. жизнеспособных клеток бактерий. Исходную культуру клубеньковых бактерий выращивают на одной из агаризированных сред, например, содержащей (г/л): отвар гороха – 100, сахарозы – 15, агар – 20, рН 6,8–7,0. Для получения ризоторфина торф освобождают от корней, высушивают до 25–30 % влажности и размалывают так, чтобы размер частиц не превышал 0,1 мм. Размолотый торф увлажняют до 35–40 %, прибавляют CaCO₃ в таком количестве, чтобы довести рН до 6,8–7,0, и расфасовывают в тонкие полиэтиленовые пакеты по 100–500 г. Запаянные пакеты с торфом стерилизуют радиационным способом с использованием мощных гамма-установок. В пакеты со стерильным торфом в стерильном автоматизированном боксе специальной иглой вносят жидкую посевную культуру в количестве 80 мм на каждые 250 г торфа. Норму засева выбирают так, чтобы исходный титр бактерий в инокулированном торфе составлял около 1 млрд. клеток на 1 г препарата влажностью 50–60 %. Содержание клеток клубеньковых бактерий в ризоторфе через 6 мес. после его изготовления должно быть не ниже 3–4 млрд. в 1 г препарата. Нитрагин может быть заводского или местного производства. Заводской нитрагин – почвенный субстрат, обогащенный нужным штаммом клубеньковых бактерий, расфасован в пакеты или бутылки. Местный, приготовленный в хозяйстве, нитрагин – порошок, полученный из корней бобовых культур после их высушивания и растирания. Для этого корни растений берут с поля, на котором урожай бобовых был самым высоким. Для многолетних бобовых следует отбирать корни растений 2–3 года жизни с большим количеством клубеньков. В 1 г порошка местного нитрагина содержится до 20 млн. клубеньковых бактерий.

Обработку семян нитрагином проводят в день посева в местах, защищенных от попадания солнечных лучей. Для этого гектарную норму препарата разбавляют чистой водой из расчета 1 л воды на каждые 140–180 кг крупных семян (горох, фасоль, люпин) и на 40–50 кг мелких семян (клевер, люцерна). Нитрагин тщательно размешивают в воде и, не давая жидкости отстаиваться, полученной почвенной болтушкой опрыскивают семена и тщательно

их перемешивают. После легкого подсушивания в течение 10–15 мин семена высевают. Нитрагин применяют для обработки семян именно того бобового растения, для которого он приготовлен. Это требование связано со специфичностью клубеньковых бактерий по отношению к растению-хозяину. Пакеты (бутыли) с нитрагином не следует открывать до момента его использования. Хранить его лучше всего в сухом помещении при температуре 0–10°C. Протравливание семян ядохимикатами необходимо проводить не позднее, чем за месяц до их инокуляции. Семена, не высеянные в день обработки бактериальным препаратом, на следующий день просушивают и вновь обрабатывают. Прибавка урожая от данного агроприема составляет 10–15 %.

Азотобактерин – бактериальный препарат, содержащий культуру азотобактера – *Azotobacter chroococcum* – микроорганизма, свободноживущего в почве и усваивающего атмосферный азот. Кроме того, азотобактерин выделяет витамины и ростовые вещества, оказывающие на растения стимулирующее действие, и обладает фунгистатическим действием, т. е. препятствует развитию грибов, тем самым предохраняя растения от заражения ими.

Азотобактерин применяется при выращивании любых сельскохозяйственных культур. Для использования в качестве удобрений изготавливается два вида азотобактерина: перегнойно-почвенный, или торфяной, и агаровый. В перегнойно-почвенном азотобактерине культура азотобактера сконцентрирована в богатой перегноем почве или некислом торфе, а в агаровом – в специальном плотном питательном студне – агаре. Перегнойно-почвенный азотобактерин вносят под зерновые, технические, кормовые и овощные культуры из расчета 3 кг/га, под картофель – 6 кг/га. Он вносится с посевным материалом, для чего перед посевом или посадкой семенной материал предварительно смачивают водой, затем посыпают азотобактерином и тщательно перемешивают. Агаровый азотобактерин для картофеля берут в количестве 2–3 бутылок, а для остальных культур – одной бутылки на 1 га. За день до посева в каждую бутылку наливают 150–200 мл воды и в течение суток взбалтывают не менее 5–6 раз. Перед обработкой посевного материала гектарную норму азотобактерина разбавляют в 10 л воды. При правильном применении азотобактерин повышает урожайность сельскохозяйственных культур на 10–13 %.

Азотовит. Входящие в состав азотовита бактерии относятся к группе азотфиксаторов. Именно с их помощью осуществляется переход азота атмосферы в связанное состояние. При обработке препаратом бактерии, входящие в его состав, начинают активно размножаться в почве, особенно в непосредственной близости от корневой системы. При этом их численность возрастает в десятки тысяч раз, и они начинают активно фиксировать атмосферный азот, используя его в процессе своей жизнедеятельности. За один вегетационный период бактерии азотовита способны накопить до 80 кг азота на 1 га в пересчете на действующее вещество. Таким образом, способность бактерий к азотфиксации позволяет обеспечить растения азотом.

Помимо фиксации атмосферного азота, бактерии азотовита выделяют в почву биологически активные вещества (БАВ), в частности, гетероауксины. БАВ стимулируют развитие корневой и проводящей систем у растений, повышают стрессоустойчивость, оказывают положительное влияние на образование продуктивных побегов у злаков и клубнеобразование у картофеля. Бак-

терии азотовита также синтезируют целый спектр витаминов, которые усваиваются и накапливаются в растениях, стимулируя их развитие и повышая качество продукции. А защитный эффект препарата достигается за счёт того, что бактерии, входящие в его состав, способны вырабатывать антибиотики, подавляющие деятельность патогенной микрофлоры (корневая гниль, парша, ризоктониоз, ржавчина, мучнистая роса). В данном случае, естественный в природе механизм борьбы грибов и бактерий, а также механизм межвидовой борьбы бактерий, может быть использован на благо человека.

Фосфобактерин – препарат, содержащий спорозонодную бактерию *Bacillus megaterium var. phospaticum*, способную минерализовать фосфор органических соединений. Выпускается в сухом и жидком виде. Сухой фосфобактерин содержит споры бактерий в смеси с каолином. На 1 га посева берут 250 г порошковидного фосфобактерина. Для приведения бактерий в активное состояние гектарную норму препарата разводят в 2,5–3,0 л теплой воды, взбалтывают и оставляют на 2–3 ч при комнатной температуре, периодически перемешивая. Этим количеством обрабатывают 150–200 кг семян зерновых культур. Разбавление исходного препарата для обработки семян других культур изменяется с таким расчетом, чтобы 250 г сухого препарата в растворенном виде были нанесены на гектарную норму семян. Жидкий фосфобактерин вносят в количестве 40 мл/га для картофеля и 20 мл/га для зерновых культур. В почве бактерии препарата переходят на развивающуюся корневую систему растений. Здесь их размножение и биохимическая деятельность вызывают разложение органических соединений фосфора, что улучшает питание растений. Фосфобактерин усиливает рост растений на 8–10 % и повышает урожайность. Препарат наиболее эффективен на черноземах и окультуренных почвах в зоне достаточного увлажнения.

Препарат АМБ – содержит микроорганизмы, разлагающие органические вещества и клетчатку с выделением аммиака и осуществляющие процесс нитрификации, фиксирующие атмосферный азот, а также мобилизующие фосфорную кислоту. Эта группа микроорганизмов способствует питанию растений азотом и зольными элементами. Свое название (АМБ) препарат получил от начальных букв названия группы – автохтонная микрофлора Б. В почве различают два основных сообщества микроорганизмов, жизнедеятельность которых имеет большое значение в повышении почвенного плодородия. Первое сообщество разлагает растительные остатки с образованием перегноя. В него входят грибы, ряд аэробных и анаэробных бактерий, в т. ч. и маслянокислые. Это сообщество микроорганизмов получило название автохтонной микрофлоры А. *Автохтонная* значит местная, т. е. в данном случае тесно связанная с условиями почвенной среды, присущая почве. Второе сообщество включает микроорганизмы, разлагающие перегной с образованием веществ минерального питания растений. Название этой группы микроорганизмов – автохтонная микрофлора Б (АМБ).

Препарат АМБ готовят на месте его использования из измельченного низинного торфа или торфяной почвы. На 1 т торфа прибавляют 1 ц мелко раздробленного известняка, 2 кг фосфоритной муки и 1 кг маточной культуры микроорганизмов. Компоненты смешивают, увлажняют и выдерживают в течение трех недель при температуре около 20°C, периодически перемешивая. Подготовленный препарат вносят под предпосевную обработку почв из расчета 0,5 т/га. Препарат рекомендуют применять прежде всего в закрытом грунте. Сложность изготовления препарата ограничивает широкое его использование.

Препараты «**силикатных**» бактерий – бактериальный препарат из «силикатных» бактерий, который представляет собой спорообразующую культуру – *Bacillus mucilaginosus siliceus*. Силикатные бактерии способны разрушать алюмосиликаты и переводить почвенный калий в усвояемую для питания растений форму. Разрушение алюмосиликатов происходит под влиянием кислот, выделяемых микроорганизмами. «Силикатные» бактерии лучше всего размножаются в условиях достаточной влажности, аэрации и близкой к нейтральной реакции среды. Кислые почвы не благоприятны для их развития. Препарат применяют путем бактериализации семян. В качестве бактериального удобрения приготавливают сухой споровый и агаровый препараты «силикатных» бактерий.

Микоплант (Mykoplant). Симбиоз растений и грибов существует миллионы лет. Более 90 % растений планеты вступают в симбиотические отношения с грибами. Микоризные эндогрибы проникают непосредственно в корень растения и образуют «грибницу» (мицелий), которая помогает корням укреплять иммунитет, бороться с возбудителями различных заболеваний, поглощать воду и элементы питания из почвы. С помощью гриба растение использует ресурсы почвы на полную мощность. Один корень с такой задачей не справился бы; без поддержки грибов растениям приходится направлять дополнительные резервы на увеличение корневой системы, вместо того, чтобы увеличивать наземную часть. Микориза улучшает качество почвы, аэрацию, пористость, а объем общей поглощающей поверхности корня растения многократно увеличивается. Микоризообразующие грибы снабжают растения элементами питания и влагой, получая взамен углеводы и растительные витамины, которые продуцируются зелеными растениями с помощью фотосинтеза. Микоризообразующие грибы значительно превосходят растения по способности извлекать из почвы минеральные вещества и влагу. Помимо этого, микоризация обеспечивает надежную защиту корней растений от патогенных микроорганизмов, а также повышает устойчивость растений к обезвоживанию, что особенно важно для выращивания культур в засушливых районах. У растений отмечается более быстрый рост, значительное увеличение биомассы, урожая и качества продукции. Грибы не только помогают растениям, но и меняют структуру почвы. Они вырабатывают в громадных количествах вещество, которое называется гломалин².

В настоящее время существует только один препарат, содержащий споры микообразующих грибов – «Микоплант» (Mykoplant). В его состав входят споры гриба эндомикориза (семья Гломус): *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*, *Glomus clarura*, *Glomus monosporus*, *Glomus deserticola*, *Glomus brasilianum*, *Glomus aggregatum*, *Gigaspora margarita*, *Glomus etunicatum*, *Glomus fasciculatum*. В качестве носителя гриба применяются гранулы обожженной глины размером 2–4 мм. Препарат вносится только один раз из расчета 1–5 м³/га. При выращивании деревьев и кустарников микоплант необходимо вносить непосредственно в посадочную яму.

² Гломалин – это гликопротеин, который обильно продуцируется на гифах и в спорах микоризообразующих грибов в почве и корнях растений. Будучи гликопротеином, гломалин запасает углерод в виде протеинов и углеводов (в особенности, глюкозу). Содержит от 30 до 40 % углерода и формирует маленькие комки почвы. Эти гранулы разрыхляют почву и связывают в ней углерод, увеличивая содержание кислорода и влаги.

Азолла – водный папоротник, живущий в симбиозе с сине-зеленой водорослью *Anabaena azolla*, способный фиксировать атмосферный азот. Азолла быстро размножается и обогащает рисовые поля азотом. Впервые она была использована вьетнамской крестьянкой Ба-Хен. Эффект от применения азоллы был так велик, что после смерти этой крестьянки ее обожествили, и в деревне, где она жила, построили пагоду в честь «богини Азоллы». Для практического применения азоллу размножают в небольших водоемах, откуда переносят на залитые водой рисовые поля. С наступлением жаркой погоды, примерно в фазу кущения риса, зеленый ковер из размножившегося папоротника отмирает и растительная масса минерализуется. Азолла накапливает за вегетационный период около 120 кг/га азота, часть которого используется в текущем году. Помимо этого, продуцируется большое количество органического вещества, удобряющего почву. Во время вегетации азолла создает благоприятные условия для развития и роста риса.

В странах Юго-Восточной Азии иногда азоллу культивируют в течение трех недель в чеках, залитых на 3–5 см водой, перед посевом риса. За этот период ее масса достигает 10 т/га, в которой содержится около 20–25 кг азота. Папоротник запахивают и затем проводят посев риса.

Активит-МБ – высокоэффективный биологически активный комплекс. Предназначен он для корневой и некорневой подкормки плодовых, овощных культур, а также декоративных и комнатных растений. Способствует ускоренному росту и созреванию плодов при использовании его в небольших нормах.

Активит-МБ обеспечивает ускоренное прорастание семян, рост растений и созревание плодов. Препарат активизирует процесс фиксации атмосферного азота почвенными микроорганизмами, что значительно сокращает потребность в азотных удобрениях. В отличие от традиционных удобрений и минеральных добавок, он эффективно действует в минимальных дозах.

В состав препарата входит активизирующий клеточные процессы комплекс экологически безопасных компонентов, включающий биохимические активные вещества и микроэлементы.

Байкал ЭМ 1 – препарат состоит из комплекса микроорганизмов, которые обеспечивают питание растений и оздоровление почвы.

Применяется для приготовления компостов, замачивания семян и опрыскивания растений в период их роста. При поливе цветов раствором препарата Байкал ЭМ 1 (1:2000) они лучше цветут, увеличиваются в размере. При применении этого препарата происходит оздоровление почвы и повышается обеспеченность подвижными элементами питания.

Зимой с помощью Байкала ЭМ 1 в обычном ведре из кухонных отходов можно получить до 300 кг биогумуса, который в десять раз эффективнее навоза.

Возрождение – биоудобрение, предназначенное для выращивания, овощных и декоративных культур. Живые микроорганизмы, входящие в его состав, позволяют получить хорошие результаты на различных почвах и за короткий период восстановить их плодородие. Молочнокислые бактерии вырабатывают молочную кислоту, которая является сильным стерилизатором и подавляет развитие *Fusarium*, ослабляющих растения и способствующих развитию нематод. Дрожжи, входящие в состав препарата, участвуют в разложе-

нии органических соединений, выделяя полезные для роста растения вещества, а также гормоны и ферменты, которые ускоряют деление клеток корней растений. Поэтому при посадке и пересадке растения легко приспосабливаются к новым условиям и хорошо приживаются. Актиномицеты расщепляют в растительных остатках сложные соединения. Они вырабатывают антимикробный материал, который подавляет вредные грибы и бактерии. Поэтому, применяя биоудобрение Возрождение, за 1–2 месяца можно избавиться от разнообразных грибковых гнилей. Грибы типа *Aspergillus* и *Penicillium* быстро разлагают органические вещества, устраняют неприятные запахи, предотвращают отложение яиц насекомых-вредителей и развитие их личинок. Кроме того, биоудобрение значительно упрощает приготовление компоста, улучшая его качество и снижая срок компостирования до двух месяцев.

Планта. В основе производства Планта лежит биоферментный процесс переработки куриного помета личинками мухи, имеющей суперактивный метаболитизм. Полное комплексное усвоение питательных веществ в Планте стимулируется сложной комбинацией биоферментов. Улучшая обмен веществ внутри растительного организма, Планта ускоряет его рост и развитие, способствует более интенсивному окислительно-восстановительному процессу в клетке растений. Сложная композиция биоферментов способствует тому, что Планта гармонично сочетает свойства биоудобрения и биостимулятора роста. Способствует повышению урожайности и поддержанию иммунитета растительных организмов.

7.1.3. Регуляторы роста растений и поликомпонентные удобрения

*Клетка должна не только поддерживать собственную целостность, но и функционировать согласованно с другими клетками организма растения, поэтому между клетками происходит обмен информацией. Одна группа клеток при этом становится «отправителем» сигнала, а другая воспринимает его. Если сигнал химической природы, молекулу с сигнальной функцией называют **первичным мессенджером** (от англ. message – послание)... Среди обширного списка первичных мессенджеров можно выделить гормоны растений.*

В.В. Чуб, 2005

В числе факторов, обеспечивающих жизнедеятельность растений, не последнюю роль играют гормоны. Являясь посредниками в физиологических процессах, они преобразуют специфические сигналы окружающей среды в биохимическую информацию. *Гормоны растений или фитогормоны (греч. *hormon* – побуждающий, вызывающий) – низкомолекулярные органические соединения, с помощью которых осуществляется взаимодействие клеток, тканей и органов, необходимые в малых количествах для запуска и регуляции физиологических и морфологических программ онтогенеза растений.*

Гормоны, образующиеся в клетках растения, называют *эндогенными*, а используемые человеком для обработки растения или его органов – *экзогенными*.

Потребность растения в гормонах обычно чрезвычайно мала – порядка 10^{-13} – 10^{-5} моль/л, и в большинстве случаев они синтезируются в достаточных

количества самим растением из аминокислот и органических кислот, т. е. из продуктов фотосинтеза и дыхания. Гормоны образуются в отдельных частях растения, но распространяются по всему организму, составляя своеобразное единое гормональное поле. Под их действием происходит общая стимуляция обмена веществ. Местом действия гормонов могут быть: а) ферменты и ферментные системы; б) белки, липиды, нуклеиновые кислоты, участвующие в молекулярной организации структур цитоплазмы и ядра; в) информационные и транспортные рибонуклеиновые кислоты; г) дезоксирибонуклеиновая кислота. Эффект, или «глубина», воздействия зависит от того, на что и в какой мере влияет то или иное физиологически активное вещество. В одних случаях это действие ограничивается лишь временным изменением интенсивности каких-либо ферментативных реакций, в других – оно проявляется в устойчивом отклонении физиолого-биохимических процессов, в третьих – в морфологических процессах, затрагивающих соматическую сферу организма, наконец, в четвертых, – в наследственных морфологических изменениях. К числу наиболее активных и изученных соединений гормонального действия растительного происхождения относятся ауксины, гиббереллины, цитокинины, абсцизовая кислота, брассиностероиды и эндогенный этилен.

У растений, в отличие от животных, нет желез, секретирующих гормоны. *Ауксины* (ИУК) образуются преимущественно в зонах с высокой меристематической активностью: в апексах стеблей, в формирующихся семенах, откуда они передвигаются в базипетальном направлении, попадая в боковые побеги и листья. *Гиббереллины* (ГК) и *абсцизовая кислота* (АБК) синтезируются в основном в листьях и оттуда транспортируются вверх и вниз по стеблю. Кроме того, АБК образуется в корневом чехлике. Местом образования *цитокининов* (ЦК) являются корни, откуда они передвигаются вверх по стеблю в акропетальном направлении.

Ауксины – соединения преимущественно индольной природы. Они инициируют деление клеток и специфически влияют на скорость их растяжения, а также регулируют формирование проводящих пучков, обуславливают явления фото- и геотропизма у растений, связанные с несимметричностью их распределения. Активация растяжения клеток связана со стимулированной ауксином секрецией протонов в клеточную стенку. Возникающая при этом повышенная концентрация ионов H^+ вызывает более активное ферментативное расщепление поперечных связей, соединяющих между собой целлюлозные микрофибриллы. Среди других свойств ауксина следует отметить его способность вызывать партенокарпию, задерживать опадание листьев и завязей, активировать корнеобразование у черенков. Ткани, обогащенные ауксином, обладают аттрагирующим действием – способны притягивать питательные вещества. Кроме ростовых эффектов, ауксин обеспечивает корреляционное взаимодействие между органами растущего растения.

Гиббереллины – фитогормоны, преимущественно производные флуоренового ряда. Эти гормоны стимулируют деление и растяжение клеток апикальных³ и интеркалярных меристем⁴. Под их влиянием удлиняются листья,

³ Апикальный – верхушечный, расположенный ближе к морфологически верхнему концу того или иного органа или образования.

⁴ Интеркалярная меристема – образовательная ткань, расположенная не на верхушке органа, а между постоянными тканями.

цветки и соцветия. Гиббереллины усиливают рост стеблей значительно сильнее, чем ауксины, но в отличие от них, практически не влияют на рост корней. Они играют важную роль в процессах прорастания семян и перехода длиннодневных растений к цветению, способствуют образованию партенокарпических плодов и способны смещать пол растений в мужскую сторону. Влияние гиббереллинов на метаболизм растения связано, прежде всего, с их участием в нуклеиновом обмене. Под действием гиббереллинов индуцируется синтез матричных РНК, которые кодируют образование большинства гидrolитических ферментов, прежде всего α -амилазы.

Цитокинины – фитогормоны, преимущественно производные пуринов. Они стимулируют цитогенез, прорастание семян, а также способствуют дифференциации почек. Кроме того, цитокинины обладают способностью задерживать процессы старения растительных организмов и поддерживать нормальный обмен веществ у пожелтевших листьев, а также вызывать их вторичное позеленение. Большую роль они играют в мобилизации (притягивании) элементов питания к местам своей локализации: плодам, семенам, клубням. Цитокинины освобождают боковые почки от апикального доминирования, вызываемого ауксином, и стимулируют их рост. На молекулярном уровне цитокинины в комплексе со специфическим белковым рецептором усиливают активность РНК-полимеразы и матричную активность хроматина; при этом увеличиваются количество полирибосом и синтез белков. Цитокинины причастны к синтезу фермента нитратредуктазы, а также к транспорту ионов H^+ , K^+ , Ca^{2+} .

Абсцизины – естественные ингибиторы терпеноидной природы. Эти фитогормоны задерживают рост в фазе деления и растяжения клеток, не проявляя токсического действия даже в высоких концентрациях. Они индуцируют наступление состояния покоя у растений, ускоряют опадание листьев и плодов, тормозят рост coleoptилей, задерживают прорастание семян. Абсцизины, сдерживая избыточный рост стебля, направляют метаболиты на формирование фотосинтетического аппарата, иными словами, координируют ростовой процесс. Одна из наиболее важных функций абсцизинов – их участие в механизмах ответа на стресс путем регулирования устьичных движений. Абсцизовая кислота быстро накапливается в тканях при действии на растения неблагоприятных факторов внешней среды, особенно при водном дефиците, вызывая быстрое закрытие устьиц, что снижает транспирацию и сокращает энергетические затраты. На молекулярном уровне абсцизины могут ингибировать синтез ДНК, РНК и белков, а также снижать функциональную активность H^+ -помпы, что может иметь многообразные последствия.

Этилен – специфический гормон, синтезируемый во всех органах растения из метионина. Он вносит вклад в регуляцию роста и развития растений. В частности, этилен участвует в поддержании апикального изгиба у выращенных в темноте проростков, вызывает *эпинастию*⁵ у листьев и лепестков, поэтому его используют для ускорения раскрытия цветков и опускания листьев, что уменьшает транспирацию. Этилен непосредственно отвечает за контролируемое ауксином подавление роста латеральных почек у расте-

⁵ Эпинастия – это быстрый рост верхней стороны органа, в результате которого лист или лепесток изгибается книзу.

ний, обнаруживающих апикальное доминирование. Он тормозит деление клеток и удлинение проростков, изменяет направление роста клеток с продольного на поперечное, что приводит к уменьшению длины и утолщению стебля. Этилен, способствуя старению тканей, ускоряет опадание листьев, увядание цветков и созревание плодов. Этот гормон увеличивает период покоя семян и клубней, способствует смещению пола растений в женскую сторону, а также играет роль медиатора гормонального комплекса в процессах корреляционных взаимодействий в растении. Этилен тормозит полярный транспорт ауксина и способствует образованию его конъюгатов. Кроме того, он регулирует реакцию на стресс в растениях. На молекулярном уровне этилен повышает проницаемость клеточных мембран и скорость синтеза белка.

Брассиностероиды – гормоны, поддерживающие в норме иммунную систему растения, особенно в стрессовых ситуациях, таких как понижение температуры, заморозки, затопление, засуха, болезни, действие пестицидов, засоление почвы. Стероиды входят в класс терпеноидов, к которым относятся гиббереллины и абсцизовая кислота. Брассиностероиды содержатся в каждой растительной клетке, но их природный уровень в изменившейся экологической ситуации часто оказывается недостаточно высоким для поддержания иммунитета и нормального развития в течение всей вегетации растений.

Таким образом, действие вышеперечисленных гормонов на обмен веществ растительного организма специфично: гиббереллины участвуют в *транскрипции*⁶, цитокинины – в *трансляции*⁷, ауксины – в изменении проницаемости мембран, абсцизины ингибируют ионный транспорт и связанные с ним процессы роста клеток, этилен выступает в качестве «разрешающего» фактора роста, контролируя баланс в системе стимуляторы–ингибиторы, брассиностероиды контролируют деление и элонгацию клеток, дифференциацию ксилемы, прорастание семян, вегетативный рост и апикальное доминирование, ризогенез, цветение, опадание листьев и цветков, созревание.

Регуляторы роста растений позволяют усиливать или ослаблять признаки и свойства растений в пределах нормы реакции генотипа. Вследствие этого они являются составной частью комплексной химизации растениеводства. С помощью регуляторов роста компенсируются недостатки сортов и гибридов культурных растений, поэтому они не имеют универсального значения и не могут заменить другие факторы формирования урожая. В связи с этим чрезвычайно важно точно знать механизм их действия на физиолого-биохимическом, молекулярном и генетическом уровнях. Его выяснение позволило синтезировать соответствующие препараты, которые нашли применение в растениеводстве. Современное сельское хозяйство не может обойтись без применения экологически безопасных, генетически безвредных регуляторов роста растений.

Фитогормоны – ауксины, гиббереллины, цитокинины, этилен, брассиностероиды и абсцизины непосредственно не получили экономического значимого практического распространения. Однако идея их использования в качестве экзогенных регуляторов роста и развития растений привела, в конечном итоге, к со-

⁶ Транскрипция – перенос информации о нуклеотидной последовательности ДНК на информационную РНК в процессе синтеза белков.

⁷ Трансляция – процесс перевода последовательности нуклеотидов информационной РНК в последовательность аминокислот синтезируемого полипептида.

зданию синтетических препаратов аналогичного действия. К настоящему времени обнаружено свыше 5 тыс. соединений, обладающих регуляторным действием, но в мировой практике используется лишь около 50. Это свидетельствует о том, что их широкое производственное применение только начинается.

К наиболее распространенным промышленным регуляторам роста растений относятся арил- и арилоксиалифатические карбоновые кислоты и их производные четвертичные соли аммония и фосфорные производные индола, пиридазина, пиримидина, пиразола. «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации» на 2016 г. включает следующие регуляторы роста:

- (индолил-3) уксусная кислота;
- 1-метилциклопропен
- 1-метилциклопропен+адамantan;
- 1Н-индолил-3-этановой кислоты;
- 1-триаконтанол+24-эпибрасинолида;
- 1-этилсилатран;
- 2,6-диметилпиридин-N-оксид + продукты метаболизма симбионтного гриба *Cylindrocarpon magnusianum*;
- 24-эпибрасинолид;
- 2-хлорэтилфосфоновая кислота;
- 3-индолилуксусная кислота + α -аланин + α -глутаминовая кислота;
- 4(индол-3ил) масляная кислота;
- 4-хлорфеноксиуксусная кислота;
- *Acremonium lichenicola* симбионтного гриба продукты метаболизма;
- L-аланин + L-глутаминовая кислота;
- *Pseudomonas fluorescens*, штаммы 7 Г, 7Г2К, 17-2;
- α -аминоглутаровая кислота + α -аминоуксусная кислота;
- Аммоний диметилфосфорнокислый диметилди (2-гидроксиэтил);
- Арахидоновая кислота;
- Ацетиленовый спирт;
- Гиббереллиновых кислот натриевые соли;
- Гидроксикоричная кислота;
- Гидрофильный диоксид кремния + сульфат меди + сульфат цинка + сульфат марганца + борная кислота;
- Гидрофобный диоксид кремния + сульфат меди + сульфат цинка + сульфат марганца + борная кислота;
- Грибов-эндофитов женьшеня продукт метаболизма;
- Гуминовых кислот калиевые соли;
- Гуминовых кислот натриевые соли;
- Дигидрокверцетин;
- Калиевая соль (индолил-3) уксусной кислоты;
- Коллоидное серебро+полигексаметиленбигуанид гидрохлорида;
- Лактат хитозана;

- Малеиновый гидразид (калиевая соль);
- Меламиновая соль бис(оксиметил) фосфиновой кислоты;
- Многокомпонентный комплекс ростовых веществ – продуктов метаболизма микромицета, штамм *Cylindrocarpon magnusianum*;
- Ортокрезоксиуксусной кислоты триэтаноламмониевая соль;
- Ортокрезоксиуксусной кислоты триэтаноламмониевая соль + 1-хлорметилсилатран;
- Ортокрезоксиуксусной кислоты триэтаноламмониевая соль + магний азотнокислый + калий азотнокислый + монокалийфосфат + хелат железа + хелат марганца + хелат цинка + хелат меди + кислота борная + аммоний молибденовокислый;
- Пара-нитрофенолят натрия+орто-нитрофенолят натрия + 5–нитрогваяколят натрия;
- Поли-бета-гидроксимасляная кислота + магний сернокислый + калий фосфорнокислый + калий азотнокислый + карбамид;
- Полидиаллилдиметиламмоний хлорид;
- Полиэтиленоксиды+гуминовые кислоты натриевых солей;
- Прогексадион кальция;
- Прогексадион кальция+мепикват-хлорид;
- Продукты метаболизма эндофитного гриба *Mycelium radialis* var. *Ledum*, штамм НЖ–13;
- Сахароза;
- Сукцинат хитозаний глутаминия;
- Тиаметоксам;
- Тринексапак-этил;
- Тритерпеновые кислоты;
- Флавоноиды ели;
- Хлормекватхлорид;
- Хлорпрофам;
- Этефон.

Регуляторы роста наиболее успешно используются в плодоводстве и садоводстве, а также для борьбы с полеганием посевов зерновых культур, предотвращения прорастания клубней, корнеплодов и луковиц во время их хранения, борьбы с сорной растительностью.

Для эффективного применения регуляторов роста растений необходимо соблюдать следующие условия:

- 1) положительный эффект может быть достигнут только в том случае, если в растении или в его отдельных органах не хватает эндогенных фитогормонов;
- 2) клетки, ткани и органы должны быть восприимчивы к фитогормонам;
- 3) строго выдерживать рекомендуемую норму, т. к. при передозировке наблюдается ингибирующий эффект;
- 4) необходимо достаточное снабжение растений водой и элементами питания, т. к. регуляторы роста растений не могут их заменить. По мнению М.Х. Чайлахана (1976), они повышают «аппетит» растения и поэтому стимулируют ростовые процессы.

Регуляторы роста растений используют для:

- 1) стимуляции укоренения черенков;
- 2) получения партенокарпических, т. е. бессемянных плодов;
- 3) повышения производства бессемянных сортов винограда;
- 4) прореживания цветков и завязей у плодовых культур;
- 5) уничтожения сорняков;
- 6) торможения удлинения стебля;
- 7) регуляции покоя;
- 8) ускорения созревания плодов.

Из регуляторов роста ауксиновой природы в сельском хозяйстве получили наибольшее применение 1-нафтилуксусная кислота (1-НУК), индометил-3-масляная кислота (ИМК), 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д), 2,4,5-трихлорфеноксиуксусная кислота (2,4,5-Т), 2-нафтоксиуксусная кислота (2-НОУК), 4-хлорфеноксиуксусная кислота (4Х), гидразид малеиновая кислота (ГМК), 2-метил-4-хлорфеноуксусная кислота (2М-4Х) и 2,4-дихлорфеноксималяная кислота (2,4-ДМ). 1-НУК и ИМК успешно применяются в садоводстве для укоренения черенков, повышения приживаемости саженцев на новом месте и восстановления корневой системы у пересаженных кустарников и деревьев. Для лучшего укоренения черенки погружают на 12–24 ч в водный раствор, содержащий 50–70 мл/л препарата. 2-НОУК и 4-Х нашли применение в овощеводстве для получения бессемянных плодов и стимуляции плодообразования. Для этого в период цветения растения опрыскиваются водным раствором названных препаратов из расчета 40–50 мл/л. 1-НУК и 2,4-Д успешно применяют в садоводстве для снижения предуборочного опадания плодов. Это достигается путем обработки кроны деревьев в период образования плодов 0,0001–0,001 % водным раствором этих препаратов. 1-НУК и ГМК широко используют для задержки прорастания клубней, корнеплодов и луковиц при хранении. Клубни картофеля перед закладкой на хранение обрабатывают 2–3 % метиловым эфиром 1-НУК, смешанным с тщательно растертой глиной. Расход препарата на 1 т картофеля составляет 50–100 г. Более технологичным и эффективным для этих целей является ГМК, который применяется путем опрыскивания ботвы 0,2 % -ным водным раствором препарата за 2–3 недели до уборки урожая. Проникая в клубни, ГМК тормозит прорастание глазков в течение 8 месяцев при температуре хранения 10–15°C. ГМК способствует сохранению сахарозы в корнеплодах свеклы в буртах, тормозит прорастание моркови, лука и других овощных культур при их длительном хранении. Широкое практическое применение получил гиббереллин. Опрыскивание виноградных растений во время цветения водным раствором, содержащим 30–35 г/га гибберелловой кислоты, повышает урожайность бессемянных (кишмишных) сортов на 10–15 %. Этот препарат нашел применение и при выращивании цитрусовых. В частности, опрыскивание апельсиновых деревьев, когда плоды еще зеленые, водным раствором гиббереллина задерживает их созревание и улучшает механические свойства кожицы. Гиббереллин способствует выведению из состояния покоя свежесобранных клубней при вторичной летней посадке. Для этого разрезанные клубни на 30–60 мин погружают в водный раствор, содержащий 1–2 мг/л гибберелловой кислоты.

Поскольку гиббереллин способствует удлинению междоузлий и нарастанию вегетативной массы, его широко используют для повышения

продуктивности кормовых трав. Двукратное опрыскивание конопли водным раствором из расчета 20 г/га в фазе четырех пар листьев и спустя 15 дней увеличивает выход волокна на 8–12 %. Гибберелловая кислота высокоэффективна и на посевах риса. Обработка семян гибберелловой кислотой в наших опытах приводила к повышению их полевой всхожести и увеличению плотности продуктивного стеблестоя посевов риса (табл. 82).

Таблица 82 – Эффективность предпосевной обработки семян риса регуляторами роста

| Препарат | Энергия прорастания, % | Дружность прорастания, шт./сут. | Скорость прорастания, сут. | Всхожесть, % | | Урожайность зерна, ц/га |
|---------------|------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------|---------|-------------------------|
| | | | | лабораторная | полевая | |
| Контроль | 71,4 | 11,6 | 3,0 | 92,6 | 27,2 | 64,9 |
| Оксигумат | 81,6 | 14,8 | 2,9 | 94,0 | 33,8 | 71,0 |
| ГК* | 86,0 | 15,2 | 2,8 | 98,5 | 38,3 | 74,8 |
| ЯК* | 75,5 | 14,1 | 2,9 | 91,6 | 29,6 | 66,5 |
| Мивал | 76,0 | 13,0 | 2,9 | 95,0 | 32,7 | 68,5 |
| Карголин | 74,0 | 12,5 | 2,9 | 93,5 | 30,6 | 68,3 |
| Кротонолактон | 80,6 | 13,6 | 2,9 | 92,5 | 32,4 | 70,1 |
| Брассинолид | 78,6 | 14,5 | 2,9 | 92,6 | 36,8 | 73,2 |
| Квартазин | 78,4 | 14,8 | 2,9 | 92,8 | 31,4 | 69,9 |

Примечание: ГК – гибберелловая кислота, ЯК – янтарная кислота

Цитокинины нашли применение в культуре ткани. Они являются обязательным фактором, необходимым для каллусообразования, а также для индукции затем органогенеза и соматического эмбриогенеза. Цитокинины необходимы и для поддержания функциональной активности многих изолированных тканей и органов. Они могут быть использованы для снижения апикального доминирования и получения более кустистых форм растений, для торможения старения, повышения устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды, для индукции цветения и сдвига выраженности пола в женскую сторону.

Этилен рекомендован в качестве стимулятора созревания плодов и овощей. Для этого закончившие рост, но еще зеленые плоды помещают в камеры с температурой 20–22°C, в которые периодически подается этилен из расчета 0,2–1,0 л/м³ в зависимости от вида плодов. Помидоры при этом созревают не за 10–12 сут., как обычно, а за 5–6, лимоны и апельсины достигают полной спелости за 4–5 вместо 20–25 сут.

Из многочисленных известных регуляторов роста растений наибольшую ценность в сельскохозяйственном производстве имеют синтетические ингибиторы роста и, в первую очередь, ретарданты.

Ретарданты – синтетические вещества, тормозящие биосинтез гиббереллинов, подавляющие рост стебля и вегетативных побегов, придающие растению устойчивость к полеганию.

Ретарданты избирательно тормозят рост стебля, не оказывая отрицательного воздействия на физиолого-биохимические процессы, происходящие в растениях. Действие их основано на торможении деления клеток срединной и подверхушечной зон меристемы конуса нарастания, образующих стебель. На верхушечную зону меристемы, из которой развиваются листья и генеративные

органы, ретарданты не оказывают существенного влияния. Эти регуляторы роста тормозят рост клеток стебля в длину и усиливают их деление в поперечном направлении, в результате чего стебель становится более коротким и толстым. Одновременно, как показали наши исследования, усиливается развитие механических тканей: утолщаются клеточные стенки, увеличивается число сосудисто-волокнистых пучков (табл. 83). Одновременно с этим ретарданты способствуют росту корней, увеличению площади ассимиляционной поверхности листьев и содержания в них пластидных пигментов, а также повышению устойчивости растений к полеганию. Все это позволяет сделать растение более устойчивым к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды. Благодаря уплотнению стебля снижается риск заражения посевов болезнями.

Таблица 83 – Анатомические показатели стебля растений риса при внесении ретарданта сумадик

| Ретардант | Толщина кольца механической ткани, мк | Толщина выполненной части стебля, мк | Диаметр сосудисто-проводящих пучков, мк | Количество сосудисто-проводящих пучков, шт. |
|-----------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|---|
| Контроль | 39,2 | 1101,8 | 176,3 | 46,2 |
| Сумадик | 42,8 | 1152,4 | 188,7 | 50,8 |

Таким образом, ретарданты позволяют:

- уменьшить полегание посевов;
- вносить научно-обоснованные нормы удобрений под планируемый урожай;
- снизить риск возникновения листостебельных болезней и болезней колоса (метелки);
- повысить количество и качество урожая;
- ускорить и облегчить уборку.

В настоящее время синтезировано и изучено свыше тысячи химических соединений, обладающих ретардантными свойствами. Большинство из них относятся к четырем группам веществ, различающимся по химическому строению: 1) четвертичные ониевые соединения; 2) гидразинпроизводные; 3) триазолпроизводные; 4) этиленпродуцирующие. Среди ретардантов, созданных на основе четвертичных ониевых солей, наибольшее распространение получил хлорхолинхлорид (ССС). Из гидразинпроизводных препаратов практическое значение имеют 2,2-диметилгидразид янтарной кислоты и натриевая соль гидразид малеиновой кислоты. Этиленпродуцирующие препараты представлены 2-хлорэтилфосфоновой кислотой (2-ХЭФК) и ее солями. Из группы ретардантов, производных триазола, наибольшее распространение имеют пакробутразол и униказол. Морфологические проявления рострегулирующей активности всех ретардантов сходны, однако, имеются различия в механизме действия препаратов различных групп. Характерный *ретардантный эффект* препаратов из группы четвертичных ониевых солей обусловлен их способностью прерывать биосинтез гиббереллинов. Введением этих препаратов блокируются образование геранилгеранилпирофосфата и последующая циклизация его в энт-каурен, который у растений является одним из промежуточных звеньев

биосинтеза гиббереллинов. Триазолпроизводные препараты блокируют биосинтез гиббереллинов, препятствуя окислению энт-каурена в кауреновую кислоту. В отличие от вышеназванных ретардантов, этиленпродуцирующие препараты непосредственно не прерывают биосинтез гиббереллина, тем не менее, действие их связывают с антигиббереллиновым эффектом, который проявляется или при образовании гормон-рецепторного комплекса или на последующих этапах реализации гормональной активности гиббереллинов. Механизм действия гидразинпроизводных ретардантов также не связан с ингибированием биосинтеза гиббереллинов, а обусловлен подавлением их гормональной активности.

Из известных в нашей стране ретардантов наибольшее практическое значение имеет хлорхолинхлорид (ССС), известный под названием Тур. Этот ретардант дает хорошие результаты на посевах зерновых культур – пшеницы, овса, риса, ржи и ячменя. Для повышения устойчивости к полеганию названных культур хлорхолинхлорид вносят в период кушения – начала трубкования растений из расчета 3–12 кг/га. Данный агроприем не снижает качество зерна, но увеличивает урожай и уменьшает экономические затраты на уборку. Как показали наши исследования, высоким ретардантным эффектом и положительным влиянием на урожайность риса обладают препараты ориз и сумадик (табл. 84).

Таблица 84 – Урожайность риса при применении ретардантов

| Ретардант | Высота растения, см | Длина метелки, см | Устойчивость к полеганию, балл | Урожайность зерна, ц/га |
|-------------------|---------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Контроль | 118,5 | 17,1 | 2 | 52,6 |
| ССС, 10 кг/га | 112,3 | 17,3 | 4 | 56,9 |
| Ориз, 30 кг/га | 100,5 | 16,9 | 5 | 59,0 |
| Сумадик, 30 кг/га | 98,3 | 17,0 | 5 | 60,8 |

Способность ретардантов тормозить удлинение стебля используется и в других отраслях растениеводства. Так, обработка загущенных посевов рассады овощных культур 0,5 %-ным водным раствором хлорхолинхлорида предотвращает ее вытягивание, что способствует лучшей приживаемости пересаженных растений и повышению урожая. Обработка ретардантами плантаций гвоздики, пиона, хризантемы и других цветочных растений предотвращает чрезмерное удлинение цветоноса, вызванное недостатком света.

Круг применяемых регуляторов роста растений с каждым годом расширяется. Перед современным растениеводством стоит задача применения генетически и экологически безвредных регуляторов роста. Ниже приводим характеристики некоторых наиболее распространенных в растениеводстве регуляторов роста.

Аминофол NPK – антистрессовый препарат со свойствами иммунопротектора, содержащий макроэлементы (NPK) и аминокислоты:

| | | |
|-------------------------------|----------|----------|
| Состав: | w/w – % | w/v – % |
| Всего аминокислот | – 32,0 % | – 43,5 % |
| N всего | – 5,0 % | – 6,8 % |
| в т. ч. органический | – 5,0 % | – 6,8 % |
| P ₂ O ₅ | – 15,0 % | – 20,4 % |
| K ₂ O | – 10,0 % | – 13,6 % |

Применение Аминофола NPK помогает преодолевать не только стрессовые ситуации, стимулируя метаболизм, рост и развитие растений, но и повышает устойчивость ко многим заболеваниям, т. к. фосфор и калий присутствуют в форме фосфита калия, который обладает превентивным фунгицидным действием, стимулируя синтез фитоалексинов⁸.

Аминофол NPK эффективен в широком диапазоне температур, т. к. аминокислоты тирозин, аргинин, аланин, лизин, пролин, серин, треонин, валин и глютамин стимулируют рост растения, обеспечивая энергетическим резервом биологические процессы в стрессовых ситуациях, и являются хорошими транспортными агентами. Применение препарата существенно повышает урожай и качество продукции.

Инструкции по проведению некорневых подкормок:

– *плодовые культуры семечковые и цитрусовые*: 1,0–3,0 л/га, в фазе «розовый бутон», в начале образования завязи, в фазе плода «грецкий орех» и в фазе размера плода 5–6 см;

– *плодовые культуры косточковые*: 1,0–2,5 л/га, до наступления фазы цветения, в начале образования завязи и 1–3 раза в период роста плодов с интервалом 10–15 дней;

– *виноград*: 1,0 — 3,0 л/га, в фазе 3–5 листьев, в фазе начала цветения, в конце фазы цветения и 2–3 раза в период формирования и роста ягод;

– *земляника*: 1,0–3,0 л/га, осенью, в начале вегетации, в фазе бутонизации, в начале образования завязи и далее 2–3 раза с интервалом 15 дней;

– *овощные культуры*: 1,0–3,0 л/га, перед высадкой рассады, после высадки (или после 2 пары листьев) и далее 5–7 раз с интервалом 10–12 дней;

– *лиственные овощи и капуста*: 1,0–3,0 л/га, от 3-х листьев, 3–4 раза за сезон;

– *картофель*: 1,0–3,0 л/га, полные всходы, начало цветения, и далее 1–2 раза с интервалом 10–15 дней;

– *лук, чеснок*: 1,0–3,0 л/га, в фазе 3–5 листьев и далее 3–4 раза каждые 10–14 дней

– *зерновые культуры и кукуруза* 0,5–2,0 л/га, 2–3 раза от фазы кущения (3–5 лист у кукурузы);

– *зернобобовые культуры, лен, горчица, рапс, гречиха*: 0,5–1,5 л/га, подкормка 1–2 раза до наступления фазы цветения с интервалом 7–10 дней и после цветения;

– *свекла сахарная, подсолнечник*: 0,5–3,0 л/га, от 2-х пар листьев, и далее 1–2 раза.

При фертигации:

– *овощные, бахчевые и плодово-ягодные культуры*: 3–6 л/га, периодическая подкормка в течение вегетации; или ежедневное внесение из расчета 0,2–0,3 л/га.

Минимальный интервал между подкормками – 7 дней. Не совмещать подкормку с обработкой медьсодержащими фунгицидами.

Аминофол Плюс – антистрессовый препарат с высоким содержанием аминокислот. Помогает растениям преодолевать стрессовые ситуации, стимулирует метаболизм и усвоение элементов питания, что существенно повышает урожай и качество продукции. Ряд аминокислот, таких как тирозин,

⁸ Фитоалексины – защитные фенольные соединения, отсутствующие у здорового растения и образующиеся как ответная реакция на поражение возбудителем.

аргинин, аланин, лизин, пролин, серин, треонин, валин и глутамин стимулируют физиологические процессы роста растения, обеспечивая готовым энергетическим резервом биологические процессы в стрессовых ситуациях.

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|----------------------|----------|----------|
| Всего аминокислот | – 50,0 % | – 59,0 % |
| Азот (N) всего | – 8,9 % | – 10,5 % |
| в т. ч. органический | – 8,0 % | – 9,4 % |
| амидный | – 0,9 % | – 1,1 % |

Аминофол Плюс можно применять одновременно с некорневыми подкормками и обработкой пестицидами. При совмещении с листовыми подкормками он расширяет температурные границы их эффективности, повышает способность усвоения элементов питания, играя роль транспортного агента, т. к. те же аминокислоты являются хорошими хелаторами элементов питания. Аминофол Плюс, стимулируя обмен веществ, позволяет легко преодолевать гербицидный стресс культурному растению, в то время как сорные растения становятся более восприимчивыми к действию гербицида. Применяется путем некорневых подкормок и фертигации:

Некорневые подкормки:

– *свекла сахарная, свекла столовая, подсолнечник*: 0,5–3,0 л/га; в фазе 2-х пар листьев и далее 1–2 раза с интервалом 7–12 дней; расход рабочего раствора – 150–300 л/га;

– *зерновые культуры, кукуруза, сорго*: 0,5–2,0 л/га; 1–2 раза в период от начала кущения – до колошения (кукуруза от фазы 3–5 листьев); расход рабочего раствора – 150–300 л/га;

– *зернобобовые культуры, лен, горчица, рапс, гречиха*: 0,5–1,5 л/га; 1–2 раза до наступления фазы цветения с интервалом 7–10 дней и после цветения; расход рабочего раствора – 150–300 л/га;

– *плодовые культуры семечковые и цитрусовые*: 1,0–3,0 л/га; в фазе «розовый бутон», после опадения лепестков, в фазах плода «гречкий орех» и 6–7 см; расход рабочего раствора – 800–1000 л/га;

– *плодовые культуры косточковые*: 1,0–2,5 л/га; до наступления фазы цветения, после опадения лепестков и 1–3 раза в период роста плодов с интервалом 10–15 дней; расход рабочего раствора – 800–1000 л/га;

– *виноград*: 1,0–3,0 л/га; в фазе 3–5 листьев, в начале цветения, в конце цветения и 2–3 раза в период формирования и роста ягод; расход рабочего раствора – 800–1000 л/га;

– *земляника*: 1,0–3,0 л/га; осенью в конце вегетации, в начале вегетации, в фазе бутонизации, в начале образования завязей и далее 2–3 раза с интервалом 15–20 дней; расход рабочего раствора – 200–400 л/га;

– *огурец, патиссон, кабачок, дыня, тыква, арбуз, томаты, перец, баклажан*: 1,0–3,0 л/га; перед высадкой рассады (или в фазе 4–5 листьев), после высадки и далее 5–7 раз с интервалом 10–12 дней; расход рабочего раствора – 200–400 л/га;

– *картофель*: 1,0–3,0 л/га; в фазе полных всходов, в начале цветения и далее 1–2 раза с интервалом 10–15 дней; расход рабочего раствора – 200–400 л/га;

– *зеленные культуры, капуста*: 1,0–3,0 л/га; подкормка в фазе 3-х листьев и далее 2–4 раза с интервалом 10–15 дней; расход рабочего раствора – 200–400 л/га;

– *лук, чеснок*: 1,0–3,0 л/га; в фазе 3–5 листьев и далее 3–4 раза с интервалом 10–14 дней; расход рабочего раствора – 200–400 л/га;

– *все культуры*: 1,0–4,0 л/га; накануне и после ожидаемых заморозков, при недостатке или избытке влаги и других негативных факторах 2–4 раза с интервалом 7–10 дней; расход рабочего раствора – 200–1000 л/га.

Фертигация:

– *овощные, бахчевые, плодово-ягодные культуры*: 3,0–6,0 л/га, (концентрация – 0,01–0,1 %); в течение вегетационного периода; расход рабочего раствора – в зависимости от нормы полива;

– *овощные, бахчевые, плодово-ягодные культуры*: 0,2–0,3 л/га; капельный полив, ежедневное внесение; расход рабочего раствора – в зависимости от нормы полива.

Примечание: Не совмещать подкормку с обработкой медьсодержащими фунгицидами. Для повышения эффективности любых листовых подкормок применяется из расчета 0,5 л/га.

Бенефит ПЗ – в состав входят нуклеотиды, стимулирующие деление клеток, аминокислоты (глицин, аланин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты), активизирующие наиболее важные метаболические реакции (особенно, синтез протеина), витамины, кофакторы, необходимые для клеточного метаболизма:

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|--|----------|----------|
| Азот (N) общий | – 6,0 % | – 7,2 % |
| в т. ч. органический | – 3,0 % | – 3,6 % |
| амидный | – 3,0 % | – 3,6 % |
| Органическое вещество | – 17,2 % | – 20,6 % |
| Органический углерод (С) биологического происхождения | – 10,0 % | – 12,0 % |

Бенефит ПЗ стимулирует увеличение размера плода естественным путем, не снижая вкусовых и технологических качеств, скорость деления и образования новых клеток после образования завязи и в период активного роста плода. Применение на косточковых культурах, винограде, цитрусовых ускоряет вступление в период плодоношения. Некорневые подкормки проводят сразу после образования завязи:

– *плодовые косточковые*: 3,5–4,5 л/га; расход рабочего раствора не менее 800 л/га; 3 обработки каждые 7–10 дней.

– *киви*: 2,5–4,5 л/га; расход рабочего раствора не менее 800 л/га; 3 обработки каждые 7–10 дней.

– *виноград*: 3,5–4,5 л/га на 800 л/га воды; 3 обработки каждые 7–10 дней.

– *яблоня, груша*: 3,5–4,5 л/га; расход рабочего раствора не менее 800 л/га (эффективность препарата может быть снижена на сортах, обработанных гиббереллином в сочетании с цитокининами); 3 обработки каждые 7–10 дней.

– *цитрусовые культуры*: 3,5–4,5 л/га на не менее 800 л/га воды; 2 обработки каждые 7–10 дней.

– *тепличные культуры*: 300–400 мл/100 л; 2–3 обработки каждые 7–10 дней.

– *арбуз, дыня*: 3,5–4,5 л/га на не менее 500 л/га воды; 2–3 обработки каждые 7–10 дней.

– *овощные культуры*: 3,5–4,5 л/га на не менее 500 л/га воды; 2 обработки каждые 7–10 дней.

Применение Бенефит ПЗ с медьсодержащими препаратами может привести в фитотоксическому шоку.

Брассинолид – 100 %-ный кристаллический порошок; химическая форма $C_{28}H_{48}O_6$. Препарат хорошо растворим в этаноле, но не растворим в воде, малотоксичен, не обладает мутагенным действием. Брассинолид повышает устойчивость растений к гербицидам, а также холодо-, болезне- и солестойкость. Рекомендуется для предпосевной обработки семян и опрыскивания вегетирующих растений.

Вива – жидкий биостимулятор биологической активности растений и почвы: улучшает рост растения благодаря комплексному синергическому действию, которое он оказывает на растение и его корневую систему. Вива рекомендуется для регенерации активности микрофлоры после химической обработки почвы (например, после применения нематоцидов, почвенных гербицидов). В состав его входят протеины, пептиды, аминокислоты, полисахариды, гуминовые кислоты, витаминный комплекс, кальций, магний:

| Состав: | w/w – % ⁹ | w/v – % ¹⁰ |
|--|----------------------|-----------------------|
| Органические вещества | – 12,0 % | – 14,9 % |
| Протеины, пептиды, аминокислоты | – 12,5 % | – 15,5 % |
| Полисахариды | – 1,5 % | – 1,9 % |
| Гуминовые кислоты | – 2,7 % | – 3,4 % |
| Витаминный комплекс (В ₁ , В ₆ , РР, фолиевая кислота, инозитол) | – 0,18 % | – 0,22 % |
| Общий азот (N) | – 3,0 % | – 3,7 % |
| в т. ч. органический амидный | – 1,0 % – 2,0 % | – 1,2 % – 2,5 % |
| Оксид калия (K ₂ O) | – 8,0 % | – 9,9 % |
| Органический углерод (C) | – 8,0 % | – 9,9 % |
| Хелат железа Fe (EDDHSА) | – 0,02 % | – 0,03 % |

Применяется Вива, главным образом, путем фертигации – внесения с капельным поливом:

- *томаты, кабачок, дыня, баклажан, перец сладкий, огурец*: 20–40 л/га после высадки, в начале вегетативного роста, после образования завязи с интервалом 10–15 дней;
- *лиственные овощи*: 1–2 подкормки по 20–40 л/га;
- *земляника*: 20–40 л/га после высадки, в начале вегетативного роста, после образования плодов;
- *бобовые культуры*: 2–3 лист 40–50 л/га каждые 15–25 дней 40–50 л/га;
- *луковичные*: начало роста стебля 40–50 л/га, перед цветением – 40–50 л/га;
- *виноград, киви, плодовые-семечковые и цитрусовые культуры*: начало вегетации, цветение и образование завязи, после формирования плодов, 2–3 подкормки по 25–30 л/га;
- *плодовые-косточковые культуры*: 1–2 подкормки после формирования завязи по 25–30 л/га;
- *роза*: 60–70 л/га каждые 15–20 дней от начала вегетации;
- *гвоздика, хризантема, гербера*: 15–20 дней после высадки – 30–50 л/га перед цветением 30–50 л/га после первой срезки 30–50 л/г.

⁹ Массовый процент (масс.%) w/w — количество вещества в граммах в 1 кг продукта.

¹⁰ w/v — количество вещества в граммах в 1 л продукта.

Для листовых подкормок полевых культур вива применяется в дозах от 0,5 до 2 л/га, для развития корневой системы и стимуляции вегетативного роста в начальные фазы вегетации.

Гармония – стимулятор роста растений из торфа. Содержит биологически активные компоненты гумусового комплекса. Препарат производится в промышленных масштабах в виде темной густой жидкости в Нижегородской области фирмой «Стрелец». Механизм действия препарата заключается в стимулировании биохимических процессов в период прорастания семян, роста и развития растений. Способ применения препарата – предпосевная обработка семян, опрыскивание вегетирующих растений или сочетание обработки семян с последующим опрыскиванием растений. Целесообразно совместить его применение с некорневой подкормкой макро- и микроэлементами, обработкой посевов и семян пестицидами. Норма расхода препарата – 0,4–4,0 л/га; перед использованием разводят водой в соотношении 1:100 (1 %) или 1:1000 (0,1 %).

Гетероауксин – препарат, относящийся к группе природных регуляторов роста и развития растений. Служит для улучшения корнеобразования у рассады, луковиц, растений в период их вегетации. Обработка гетероауксином посадочного материала тюльпанов, гладиолусов, крокусов и некоторых других культур сокращает срок укоренения в два раза, что особенно важно при вегетативном размножении цветов. Обилие корней способствует более быстрому развитию побегов и листьев. Препарат производят в виде раствора, порошка или пасты. Рабочие растворы готовят непосредственно перед употреблением. Оптимальные концентрации: 50–200 мг действующего вещества на 1 л воды.

Гиббереллин – продукт микробного синтеза, содержащий до 80–85 % действующего вещества – гибберелловой кислоты, которая является фитогормоном, вырабатываемым всеми растениями. Представляет собой порошок белого цвета, хорошо растворимый в спирте, щелочах и слабее в воде. Для приготовления рабочих растворов 1 г препарата растворяют в 20 мл спирта, затем полученный раствор разбавляют до соответствующего объема водой. Вместо спирта можно использовать также 0,5 %-й водный аммиак (нашатырный спирт) или раствор кальцинированной соды такой же концентрации. Водные растворы гиббереллина теряют активность при длительном хранении и хранении в кислых и щелочных средах. Приготовленный раствор можно хранить не более 2 сут. в темном месте. Препарат оказывает специфическое действие на различные растения: усиливает рост побегов, плодов, регулирует процесс цветения, стимулирует прорастание стеблей и клубней. В связи с его высокой физиологической активностью для обработки семян и растений используют слабый раствор, содержащий от 1 до 200 мг гиббереллина на 1 л воды. Используют для обработки семян и опрыскивания вегетирующих растений.

Гибберсиб (50 %-ный водный раствор) применяется на томатах открытого и защищенного грунта. Способ применения – двух-, трехкратное опрыскивание растений в начале цветения первой-третьей кистей 0,005–0,0075 %-ным раствором для ускорения созревания плодов, увеличения урожайности.

Гидразидмалеиновая кислота (ГМК) – белое кристаллическое вещество, слабо растворимое в воде. В сельскохозяйственной практике применяются препараты, приготовленные на основе хорошо растворимых в воде его солей – диэтаноламиновой (ГМК–Д), 3-этаноламиновой (ГМК–Т), натриевой (ГМК–

Na) и аммониевой (ГМК–NH₄). ГМК–Д (МГ–Д) – концентрированный раствор ГМК в диэтаноламине, содержащий 30–33 % действующего вещества. ГМК–Т (МГ–Т) – раствор ГМК в 3-этаноламине, содержащий 30 % действующего вещества; вязкая темно-коричневая, жидкость почти без запаха. ГМК–Na (МГ–Na) – водный раствор белой кристаллической натриевой соли ГМК, содержит 40–80 % активного вещества. ГМК–NH₄ (МГ–А) – светло-коричневая, прозрачная жидкость содержит 20–25 % ГМК, pH 7–8. в его состав входит некоторое количество сульфата аммония, который не снижает активность препарата и в то же время служит удобрением. ГМК является системным регулятором, в зависимости от дозы действует как ингибитор или стимулятор роста растений, либо как гербицид сплошного действия. Его используют для улучшения прорастания семян и повышения лежкости клубней, корнеплодов, луковиц при хранении, а также для предотвращения чрезмерного роста побегов вегетирующих растений, для повышения урожая семян и сахаристости сахарной свеклы. Нормы расхода в среднем составляют 1,25–2,5 кг/га действующего вещества.

Гидрел (40 %-ный водный раствор) используется при возделывании продовольственного картофеля. Способ применения – опрыскивание клубней при закладке на хранение 0,5 %-ным раствором для предотвращения прорастания клубней. Реализация клубней спустя 5 месяцев после обработки. Препарат применяют также в открытом грунте на посевах огурца – разовое опрыскивание растений в фазе двух-трех настоящих листьев 0,025–0,03 %-ным раствором для ускорения начала плодоношения, повышения урожайности и томатов – опрыскивание растений при созревании 10–30 % плодов 0,1–0,25 %-ным раствором способствует дружному созреванию плодов и увеличению раннего урожая.

Иммуноцитифит – многоцелевой стимулятор защитных реакций, роста и развития растений. Предназначен для повышения устойчивости к болезням и неблагоприятным погодным условиям, ускорения роста и развития растений, созревания плодов, улучшения вкусовых и питательных качеств овощей и фруктов, снижения потерь урожая при хранении, увеличения урожайности на 20–30 %. Иммуноцитифит повышает болезнеустойчивость. Никаких отрицательных воздействий на растения не оказывает. Препарат не может вызывать отравлений, не нуждается в гигиенической регламентации условий труда при применении, транспортировке и хранении. Накопление его в объектах окружающей среды и возможность загрязнения грунтовых и поверхностных вод исключены. Препарат безопасен для пчел. Обезвреживание водного раствора препарата не требуется, остаток иммуноцитифита и упаковка утилизируются в местах сбора бытового мусора. Способ применения – обработка семян, опрыскивание растений. Иммуноцитифит поставляется фирмой изготовителем, как правило, в таблетках с инструкцией по применению, где указываются дозы, сроки и способы применения под конкретные культуры. Водный раствор иммуноцитифита необходимо использовать в день приготовления. Не обрабатывать во время дождя или перед ним и по росе. Нельзя применять в смеси с перманганатом калия. В случае возможной эпифитотийной¹¹ ситуации (теплой и влажной погоде), способствующей развитию

¹¹ Эпифитотия – массовое, обычно внезапно возникающее заболевание растений, вызываемое грибами, бактериями, вирусами.

грибковых и бактериальных заболеваний, необходимо обработать растения фунгицидом через 2 недели после последней обработки иммуноцитифитом.

Кампозан М (в. р.) применяется для предотвращения полегания посевов. Озимую рожь обрабатывают в фазе колошения 0,8–1,0 %-ным раствором препарата при наземном опрыскивании и 2,4–6 %-ным – при авиационном, а озимый ячмень – за 10 дней до начала колошения соответственно 0,23–0,5 % и 1,4–4 %-ным раствором. Высокоэффективное совмещение его с хлорхолинхлоридом. Способ применения – наземное и авиационное опрыскивание. Дозы препарата Кампозан М (в. р.) + хлорхолинхлорид (60 %-ный в. р.) – 1,5–2,0 + 3–3,3 л/га для озимой ржи в фазе выхода в трубку, 1–2 + 3–5 л/га – для озимой пшеницы в период от начала выхода в трубку до середины фазы трубкования, 1–2 + 3 л/га – для озимого ячменя за 10–12 дней до начала колошения.

Квартазин – 95 % кристаллический хорошо растворимый в воде порошок. Действующим веществом этого препарата является хлорид, диметил (2-хлорэтил) – гидрозиния. Препарат легко поглощается и быстро трансформируется в растениях. Рекомендуется для предпосевной обработки семян и опрыскивания вегетирующих растений.

Кендал – препарат для повышения эндогенной защиты растения.

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|---|----------|----------|
| Азот (N) всего: | – 3,5 % | – 4,5 % |
| в т. ч. органический | – 0,3 % | – 0,4 % |
| амидный | – 3,2 % | – 4,1 % |
| Калий (K ₂ O) | – 15,5 % | – 20,0 % |
| Органическое вещество (олигосахариды, глутатион и др.) | – 6,0 % | – 7,7 % |
| Органический углерод (C) | – 3,0 % | – 3,9 % |

Входящие в состав препарата органические вещества «включают» систему эндогенной защиты растения до фактической атаки патогенов, олигосахариды способствуют синтезу фитоалексинов (внутренних растительных антибиотиков), глутатион нейтрализует действие токсинов различных патогенов, калий способствует естественному повышению иммунитета. Кендал повышает иммунитет, устойчивость к действию патогенов и позволяет лучше преодолевать стрессы; укрепляя стенки клеток растения, способствует усилению естественных физических барьеров для патогенов. Его применение позволяет сократить или даже устранить фунгицидную нагрузку на растение и окружающую среду. Кендал не позволяет патогенам вырабатывать резистентность к этим препаратам. Инструкции по применению:

Некорневая подкормка:

– *фруктовые деревья, виноградники*: 2,5–3,0 л/га, обработки с интервалом 7–10 дней;

– *овощные культуры*: 1,5–2,0 л/га, обработки с интервалом 7–10 дней;

– *лиственные овощи*: 1,5–2,0 л/га, обработки с интервалом 7–10 дней;

– *цветочные культуры*: 1,5 – 2,0 л/га, обработки с интервалом 7–10 дней;

– *полевые культуры* 0,5 – 1,0 л/га, 1–3 обработки за сезон.

Фертигация:

– *овощные и плодовые культуры, виноград, цветочные культуры*: 8–12 л/га.

Локальное внесение:

– *деревья*: 3,5–4,0 л/гл (10 л питательного раствора на растение);

– *овощи*: 300–400 мл/гЛ (100–200 мл рабочего раствора на 1 растение).

При использовании кендала вместе с медь-, или кальцийсодержащими препаратами может возникнуть фитотоксический шок у наиболее чувствительных растений. Препарат имеет кислую реакцию, поэтому не рекомендуется совмещать его применение с препаратами, имеющими сильную щелочную реакцию.

Кротонолактон – жидкость красно-желтого цвета с 50 % содержанием действующего вещества – 2–бутен–4–олит–оксо–2,5–дигидрофуран. Растворим в воде, бензоле, этаноле, эфире. Рекомендуется для предпосевной обработки семян и опрыскивания вегетирующих растений.

Препараты компании «МАКСИКРОП» (сокращенно МС). Компания основана в Англии в 1952 г., и была первой в мире производящей экстракт из морских водорослей и отдельные активные фитоингредиенты. В 1999 г. произошло слияние «Максикроп» с норвежским производителем биостимуляторов – компанией «Алгея» («ALGЕА»), что привело к созданию альянса производящего агрохимические препараты на основе морской водоросли *Ascophyllum nodosum*. В настоящее время сотрудники компаний «Алгея» и «Максикроп» в составе «Валагро», используя опыт и научные исследования «Валагро», сырье и оборудование компании «Максикроп», были произведены инновационные препараты – МС лайн.

Линия Максикроп – **МС лайн** представлена препаратами направленного действия на основе активных фитоингредиентов. Линия МС представлена продуктами: **МС сет** и **МС крем**, применение которых позволяет получать урожай высокого качества.

МС сет – создан на основе фитогормонов и активных соединений. Содержит цитокинин, аминокислоты, бетаин, маннитол, альгиновую кислоту и микроэлементы – цинк и бор:

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|--------------------|----------|-----------|
| Zn (ЭДТА) | – 1,5 % | – 1,7 % |
| В | – 0,5 % | – 0,6 % |
| Карбогидраты | – 3,5 % | – 4,0 % |
| Цитокинин | – 0,06 % | – 0,07 % |
| Бетаин | – 0,01 % | – 0,011 % |
| Маннитол | – 0,50 % | – 0,6 % |
| Альгиновая кислота | – 1,00 % | – 1,1 % |

Потребность растения в компонентах препарата многократно возрастает в период цветения и завязывания плодов. Используют для стимуляции цветения, улучшения формирования и сохранения завязи, даже при неблагоприятных погодных условиях.

Инструкция по проведению некорневых подкормок:

– *овощные культуры*: 1,0–2,0 л/га, 2 обработки от начала цветения и до образования завязи;

– *полевые культуры*: 1,0–2,0 л/га, 1–2 обработки, перед цветением и после образования завязи;

– *плодовые и ягодные культуры*: 1,0–2,0 л/га, 2 обработки от начала конца цветения.

МС крем – антистрессовый препарат, наиболее насыщенная формуляция высококонцентрированных активных фитоингредиентов, содержащая

бетаин, цитокинин, ауксин и гиббереллин, аминокислоты и альгиновую кислоту, мезо- и микроэлементы:

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|--------------------|-----------|------------|
| Карбогидраты | – 7,0 % | – 7,42 % |
| Альгиновая кислота | – 4,0 % | – 4,24 % |
| Mn | – 1,5 % | – 1,59 % |
| MgO | – 1,0 % | – 1,06 % |
| Zn | – 0,5 % | – 0,53 % |
| Цитокинин | – 0,010 % | – 0,011 % |
| Бетаин | – 0,004 % | – 0,0042 % |
| Гиббереллин | – 0,003 % | – 0,0032 % |
| Ауксин | – 0,001 % | – 0,0011 % |

Состав специально разработан для преодоления стрессов (особенно низко- и высокотемпературных, а так же при химических ожогах и механических повреждениях), стимуляции метаболизма, ростовой и фотосинтетической активности, и других факторов, позволяющих восстановить и поддерживать высокий уровень продуктивности.

Инструкции по проведению некорневых подкормок:

– *овощные культуры*: 1,0–2,0 л/га, еженедельно, до выхода из стресса;
 – *полевые культуры*: 0,5–2 л/га, 1–3 обработки, при возникновении стрессовых ситуаций;

– *плодовые и ягодные культуры*: 2 л/га, каждые 7–10 дней, до выхода из стресса;

– *цветочные культуры*: 1,0–2,0 л/га, каждые 7–10 дней, до восстановления нормального роста.

Линия «**МАКСИФОЛ**» разработана для экстремальных условий ведения сельского хозяйства в России. Одним из основных компонентов каждого из семи препаратов, входящих в линейку «Максифол», является экстракт бурых морских водорослей – *Ascophyllum nodosum*, содержащий макро- и микроэлементы, карбогидраты, аминокислоты, антиоксиданты, альгиновую кислоту и натуральные фитогормоны: цитокинин, ауксин, гиббереллин и бетаин. Эти активные компоненты усиливают устойчивость растений к стрессам различной этиологии, способствуют повышению количественных и качественных параметров урожайности. Каждый препарат линейки «Максифол» дополнительно обогащен необходимыми мезо- и микроэлементами, потребность в которых многократно возрастает в определенные периоды вегетации. Препараты «*Максифол Динамикс*» и «*Максифол Рутфарм*» дополнительно обогащены свободными специфическими аминокислотами, повышающими эффективность действия этих продуктов.

Максифол Динамикс – антистрессант с высоким содержанием аминокислот:

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|-------------------------------------|----------|----------|
| Экстракт <i>Ascophyllum nodosum</i> | – 10,0 % | – 11,7 % |
| Всего аминокислот | – 28,0 % | – 32,8 % |
| N всего: | – 6,6 % | – 7,7 % |
| в т. ч. органический | – 4,5 % | – 5,3 % |
| амидный | – 2,1 % | – 2,4 % |
| K ₂ O | – 1,2 % | – 1,4 % |

Входящие в состав препарата *Максифол Динамикс* аминокислоты (тирозин, аргинин, аланин, лизин, пролин, серин, треонин, валин и глютамин) стимулируют рост растения, обеспечивая готовым энергетическим резервом биологические процессы в стрессовых ситуациях (заморозки, низкая или высокая температура, градобитие, химический ожог, осмотический стресс). При совмещении его с листовыми подкормками расширяет температурные границы их эффективности, повышает способность усвоения элементов питания, играя роль транспортного агента, т. к. аминокислоты являются хорошими хелаторами элементов питания.

Инструкции по проведению некорневых подкормок:

- *зерновые, зернобобовые культуры, кукуруза*: 1–3 раза в фазе полных всходах, 0,5–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 200–300 л/га;
- *технические культуры*: 1–3 раза в начальные фазы развития культуры, 1,0–3,0 л/га, расход рабочего раствора – 200–300 л/га;
- *плодово-ягодные культуры*: 2–4 раза в течение вегетации, 2,0–3,0 л/га, расход рабочего раствора – 800–1000 л/га;
- *овощные культуры (открытый грунт)*: 2–4 раза в течение вегетации, 2,0–3,0 л/га, расход рабочего раствора – 300–600 л/га;
- *овощные культуры (защищенный грунт)*: в течение вегетации каждые 10–15 дней, 1,0–2,5 л/га, расход рабочего раствора – 600–1000 л/га;
- *цветочно-декоративные культуры*: некорневая подкормка растений 2–3 раза в течение вегетации с интервалом 10–15 дней, 1,0–2,5 л/га, расход рабочего раствора – 300–1000 л/га;
- *все культуры*: 1,0–3,0 л/га, накануне и после ожидаемых заморозков, при недостатке или избытке влаги и других негативных факторах.

Совмещать подкормку с обработкой медьсодержащими фунгицидами недопустимо. Не комбинировать с обработками, где применяются минеральные масла. Минимальный интервал между листовыми подкормками – 7 дней.

Максифол Завязь – препарат для улучшения цветения и образования завязи, содержащий:

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|-------------------------------------|----------|----------|
| Zn (ЭДТА) | – 1,5 % | – 1,9 % |
| Mn (ЭДТА) | – 0,2 % | – 0,25 % |
| B | – 4,0 % | – 5,0 % |
| K ₂ O | – 1,2 % | – 1,5 % |
| Экстракт <i>Ascophyllum nodosum</i> | – 10,0 % | – 12,5 % |

Применяют путем некорневой подкормки:

- *свекла сахарная, столовая*: в фазу 5–6 пар листьев, через 20–25 дней после первой подкормки и за 15–20 дней до уборки, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–400 л/га;
- *рис*: перед цветением, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;
- *кукуруза, сорго*: перед цветением, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;
- *подсолнечник*: перед цветением, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;
- *зернобобовые культуры, лен, горчица, рапс, гречиха*: перед цветением, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;

– *плодово-ягодные культуры, виноград, цитрусовые*: 1–2 раза перед цветением и после образования завязей, 1,5–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 800–1000 л/га;

– *земляника*: 1–2 раза перед цветением и после образования завязей, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– *огурец, патиссон, кабачок, дыня, тыква, арбуз*: 1–2 раза перед цветением и после образования завязей, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– *томаты, перец, баклажан*: 1–2 раза перед цветением и после образования завязей,

1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– *картофель*: в фазе полных всходов, в фазе бутонизации и за 15 дней до уборки, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– *зеленные культуры, капуста*: в фазе 4–6 листьев и через 20–25 дней после первой подкормки, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– *лук, чеснок*: в начале формирования луковицы и за 12–15 дней до уборки, 1,5–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 150–300 л/га.

Максифол Качество – препарат для повышения качества плодов, содержащий:

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|-------------------------------------|----------|----------|
| Экстракт <i>Ascophyllum nodosum</i> | – 10,0 % | – 12,4 % |
| N всего: | – 2,5 % | – 3,1 % |
| в т. ч. нитратный | – 2,5 % | – 3,1 % |
| K ₂ O | – 1,2 % | – 1,5 % |
| CaO | – 5,0 % | – 6,2 % |
| B | – 0,2 % | – 0,25 % |
| Mn (ЭДТА) | – 0,4 % | – 0,5 % |

Применяется целенаправленно для улучшения процессов созревания, повышения количественных и качественных показателей урожайности. Улучшает окраску, текстуру и вкус плодов, повышает их лёжкость и транспортабельность.

Инструкции по проведению некорневых подкормок:

– *свекла сахарная, свекла столовая*: 1–2 раза в период роста корнеплода с интервалом 7–12 дней, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–400 л/га;

– *плодово-ягодные культуры, виноград, цитрусовые*: 2–3 раза в период роста плодов с интервалом 7–12 дней, 1,5–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 800–1000 л/га;

– *земляника*: 2–3 раза в период роста плодов с интервалом 7–12 дней, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– *огурец, патиссон, кабачок, дыня, тыква, арбуз*: 2–3 раза в период роста плодов с интервалом 7–12 дней, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– *томаты, перец, баклажан*: 2–3 раза в период роста плодов с интервалом 7–12 дней, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– *картофель*: 2–3 раза после цветения, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– *зеленные культуры, капуста*: 2–3 раза в период активного роста, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– лук, чеснок: 2–3 раза в период роста луковицы, 1,5–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 150–300 л/га.

Максифол Мега – препарат для роста плодов, содержащий:

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|-------------------------------------|----------|----------|
| Zn (ЭДТА) | – 2,0 % | – 2,5 % |
| Mn (ЭДТА) | – 1,5 % | – 1,9 % |
| Fe (ДТПА) | – 1,0 % | – 1,3 % |
| N всего: | – 4,6 % | – 5,8 % |
| в т. ч. амидный | – 4,6 % | – 5,8 % |
| K ₂ O | – 1,2 % | – 1,5 % |
| Экстракт <i>Ascophyllum nodosum</i> | – 10,0 % | – 12,7 % |

Инструкции по проведению некорневых подкормок:

– свекла: 1–2 раза в период роста корнеплода с интервалом 7–12 дней, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–400 л/га;

– зерновые культуры: в фазе флагового листа, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;

– кукуруза, сорго: в фазе 5–7 листьев, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;

– зернобобовые культуры, лен, горчица, рапс, гречиха: в фазе бутонизации, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;

– плодово-ягодные культуры, виноград, цитрусовые: 1–2 раза в период роста плодов с интервалом 7–12 дней, 1,5–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 800–1000 л/га;

– земляника: 1–2 раза в период роста плодов, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– огурец, патиссон, кабачок, дыня, тыква, арбуз: 1–2 раза в период роста плодов с интервалом 7–12 дней,

1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– томаты, перец, баклажан: 1–2 раза в период роста плодов с интервалом 7–12 дней, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– картофель: 1–2 раза после цветения, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– зеленные культуры, капуста: 2–3 раза в период активного роста, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– лук, чеснок: 2–3 раза в период роста луковицы, 1,5–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 150–300 л/га.

Максифол Рутфарм – препарат, содержащий экстракт водорослей *Ascophyllum nodosum*, аминокислоты, макро- и микроэлементы, разработанный для развития корневой системы растения. Препарат помогает растению пережить травмы при пересадке, а также неблагоприятные факторы: высокая температура, избыток влаги в воздухе и почве. Растения и семена, обработанные Максифол Рутфарм, быстро поглощают воду и элементы питания, тем самым иницируя более раннее прорастание, формирование мощной корневой системы, повышая фотосинтетическую активность и ускоряя созревание урожая. Кроме того, комплекс обогащен специальными аминокислотами (триптофан, аргинин, аспарагин, глутамин, фенилаланин, лизин, метионин и треонин), ко-

торые активизируют прорастание семян и стимулируют рост кончиков корней, повышают холодостойкость и устойчивость к засолению и стрессам.

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|---|----------|----------|
| Экстракт <i>Ascophyllum nodosum</i> | – 17,5 % | – 20,3 % |
| Свободные аминокислоты | – 12,0 % | – 13,9 % |
| Комплекс витаминов (В ₁ В ₆ , РР) | – 0,05 % | – 0,06 % |
| Калиевая соль индолилуксусной кислоты | – 0,25 % | – 0,29 % |
| Азот всего: | – 4,0 % | – 4,6 % |
| в т. ч. органический | – 1,9 % | – 2,2 % |
| амидный | – 2,1 % | – 2,4 % |
| К ₂ О | – 2,1 % | – 2,4 % |
| Zn (EDTA) | – 0,20 % | – 0,23 % |

Инструкции по применению:

Корневые подкормки (фертигация):

– *плодово-ягодные, декоративные культуры*: 0,2–0,3 л/100 л воды; расход рабочего раствора – в зависимости от нормы полива; в начале возобновления вегетации (или при посадке) и через 10–14 дней после первой подкормки;

– *овощные, цветочно-декоративные культуры*: 3,0–6,5 л/га (концентрация – 0,3–0,4 %); расход рабочего раствора – в зависимости от нормы полива; сразу после высадки рассады (или в фазе полных всходов) и через 7 дней после первой подкормки.

Овощные культуры без систем фертигации: – 300–400 мл/100 л воды. Полив питательным раствором под корень 0,3–0,5 л под растение, сразу после пересадки и через 7 дней. При использовании оборудованных рассадочных машин – 300–400 мл/100 л.

Обработка посевного материала:

– *зерновые, зернобобовые, технические, кормовые культуры*: 0,2–0,5 л/т семян, расход рабочего раствора – 8–10 л/т.

Обработку посевного материала зерновых, зернобобовых, технических и кормовых культур следует совмещать с протравливанием: 0,2–0,5 л/т Максифол Рутфарм (на 8–10 л воды) + 100–200 г/т АгроМикс (концентрированный комплекс хелатов микроэлементов).

Максифол Старт – препарат для стимуляции и восстановления вегетативного роста, содержащий:

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|-------------------------------------|----------|----------|
| Fe (ДТПА) | – 0,5 % | – 0,6 % |
| Zn (ЭДТА) | – 1,5 % | – 1,9 % |
| Mn (ЭДТА) | – 0,5 % | – 0,6 % |
| Mg ₂ O | – 1,0 % | – 1,3 % |
| К ₂ О | – 1,2 % | – 1,5 % |
| Экстракт <i>Ascophyllum nodosum</i> | – 10,0 % | – 12,7 % |
| N всего: | – 14,6 % | – 18,5 % |
| в т. ч. нитратный | – 0,7 % | – 0,9 % |
| амидный | – 13,9 % | – 17,6 % |

Применяется для некорневых подкормок:

– *свекла сахарная, свекла столовая*: в фазе 2-х пар листьев и далее 1–2 раза с интервалом 10–14 дней, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–400 л/га;

- *зерновые культуры*: в фазе начала кущения – выхода в трубку и в начале налива зерна, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;
- *кукуруза, сорго*: в фазе 3–5 листьев и далее 1–2 раза с интервалом 7–12 дней, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;
- *подсолнечник*: в фазе 2–3 пар листьев и далее 1–2 раза с интервалом 7–12 дней, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;
- *зернобобовые культуры, лен, горчица, рапс, гречиха*: до цветения и далее 1–2 раза с интервалом 7–12 дней, 1,0–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;
- *плодово-ягодные культуры, виноград, цитрусовые*: 1–2 раза до цветения, 1,5–2,0 л/га, расход рабочего раствора – 800–1000 л/га;
- *земляника*: в начале возобновления вегетации и в фазе бутонизации, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;
- *огурец, патиссон, кабачок, дыня, тыква, арбуз*: перед высадкой рассады (или в фазе 4–5 листьев) и через 7–12 дней после первой подкормки, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;
- *томаты, перец, баклажан*: через 7–10 дней после высадки рассады и после образования 6–го листа, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;
- *картофель*: в фазе полных всходов и через 7–12 дней после первой подкормки, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;
- *зеленные культуры, капуста*: в фазе 3–х листьев и через 7–12 дней после первой подкормки, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;
- *лук, чеснок*: в фазе 3–5 листьев и через 7–12 дней после первой подкормки, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 150–300 л/га.

Максифол Экстра – содержит макро- и микроэлементы, карбогидраты, аминокислоты, антиоксиданты, альгиновую кислоту и натуральные фитогормоны: цитокинин, ауксин, гиббереллин и бетаин.

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|-------------------------------------|----------|---------|
| Экстракт <i>Ascophyllum nodosum</i> | – 50,0 % | – 65 % |
| Н всего: | – 1,0 % | – 1,3 % |
| в т. ч. амидный | – 1,0 % | – 1,3 % |
| K ₂ O | – 6,0 % | – 7,8 % |

Активные компоненты препарата усиливают устойчивость растений к стрессам различной этиологии, способствуют повышению количественных и качественных параметров урожая. Повышает эффективность подкормок при добавлении к рабочему раствору из расчета 0,3–0,5 л/га.

Инструкции по проведению некорневых подкормок:

- *свекла сахарная и столовая*: в фазе 2–х пар листьев и далее 1–2 раза с интервалом 10–14 дней, 0,5–1,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–400 л/га;
- *зерновые культуры*: 2–3 раза в период от фазы начала кущения до фазы колошения, 0,5–1,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;
- *кукуруза, сорго*: в фазе 3–5 листьев и далее 1–2 раза с интервалом 7–12 дней, 0,5–1,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;
- *зернобобовые культуры, лен, горчица, рапс, гречиха*: в фазе бутонизации и далее 1–2 раза с интервалом 7–12 дней, 0,5–1,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;
- *подсолнечник*: в фазе 2–3 пары листьев и далее 1–2 раза с интервалом 7–12 дней, 0,5–1,0 л/га, расход рабочего раствора – 100–300 л/га;

– *плодово-ягодные культуры, виноград, цитрусовые*: до цветения, в период опадения лепестков – начало образования завязей и далее 2–3 раза в период роста плодов, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 800–1000 л/га;

– *земляника*: осенью (в конце периода вегетации), в начале возобновления вегетации, в фазе бутонизации, в начале образования завязей и далее 2–3 раза с интервалом 15–20 дней, 0,5–1,0 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– *огурец, патиссон, кабачок, дыня, тыква, арбуз*: перед высадкой рассады (или в фазе 4–5 листьев) и далее 5–7 раз с интервалом 10–12 дней, 0,5–1,0 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– *томаты, перец, баклажан*: через 7–10 дней после высадки рассады и далее 5–7 раз с интервалом 10–15 дней, 0,5–1,0 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– *картофель*: в фазе полных всходов, в начале цветения и далее 1–2 раза с интервалом 10–15 дней, 0,5–1,0 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– *зеленные культуры, капуста*: в фазе 3-х листьев и далее 2–4 раза с интервалом 10–15 дней, 0,5–1,0 л/га, расход рабочего раствора – 200–500 л/га;

– *лук, чеснок*: в фазе 3–5 листьев и далее 3–4 раза с интервалом 10–14 дней, 1,0–1,5 л/га, расход рабочего раствора – 150–300 л/га;

Фертигация:

– *овощные, цветочно-декоративные культуры (защищенный грунт)*: внесение с поливными водами каждые 7–14 дней, 0,5–1,0 л/га, расход рабочего раствора – в зависимости от нормы полива.

Не рекомендуется смешивать с высококислотными химикатами. Окислители и кислоты могут привести к деструкции.

Мегафол – антистрессовый препарат, произведенный из растительных аминокислот в сочетании с калием, бетаином, полисахаридами и прогормональными соединениями. Основные компоненты Мегафола получены путем энзимного гидролиза из высокопротеиновых растительных субстратов. Повышает урожай и качество продукции.

Аминокислоты и бетаин в сочетании с другими соединениями стимулируют рост растения, обеспечивая энергетическим резервом биологические процессы в стрессовых ситуациях. При совмещении с подкормками Мегафол расширяет температурные границы их эффективности, повышает способность усвоения элементов питания, играя роль транспортного агента и поверхностно-активного вещества. Он может использоваться со всеми пестицидами, повышая их эффективность и, стимулируя обмен веществ, позволяет растению легко преодолевать гербицидный стресс.

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|----------------------|----------|----------|
| Всего аминокислот | – 28,0 % | – 35,0 % |
| N всего: | – 3,0 % | – 3,8 % |
| в т. ч. органический | – 1,0 % | – 1,3 % |
| амидный | – 2,0 % | – 2,5 % |
| K ₂ O | – 8,0 % | – 10,0 % |
| Органический углерод | – 9,0 % | – 11,3 % |

Инструкция по проведению некорневых подкормок:

– *плодовые и ягодные культуры*: 2–3 л/га, перед цветением, завязью, формированием плода и во всех случаях вегетативных задержек и стрессов.

– *овощные культуры*: 2–3 л/га в открытом грунте. В защищенном грунте – 150–200 мл/г, применяя каждые 10–15 дней, после высадки.

– *зерновые, зернобобовые*: 0,5–2,0 л/га (кущение – выход в трубку + колошение, или стресс).

– *технические культуры*: 0,5–3,0 л/га.

Мегафол нельзя комбинировать с минеральными и белыми маслами (типа Корвет Ж). Комбинация Мегафола с медьсодержащими фунгицидами допустима только при применении на оливах, винограде, томатах и артишоках. Перед обработкой слив необходимо протестировать препарат на небольшом количестве деревьев каждого сорта. При комбинации с удобрениями ряда АгроМастер, Пантафид расход Мегафола целесообразно сократить до 0,5–1,0 л/га. Для выведения плодовых и ягодных культур из состояния ступора, связанного с сильными морозами (ситуация января 2006 г.), применяется Мегафол 2–3 л/га + Брексил Zn 1–2 кг/га + карбамид 2–3 кг/га. Для усиления действия Глифосата и Глифосината – 1 л/га.

Нефтяное ростовое вещество представляет собой натриевую соль нафтеновых кислот. Под воздействием препарата повышаются энергия прорастания и всхожесть семян, рост и продуктивность растений. Рекомендуются для обработки семян зерновых культур, которую проводят непосредственно перед севом 0,01 % водным раствором полусухим способом – 10 л рабочего раствора на 1 т посевного материала.

Ориз – 0,6 % гранулированный препарат. Обладает ретардантным эффектом на рисе. Действующее вещество пакробутразол. Ориз слабо токсичен для теплокровных. ЛД₅₀ препарата для крыс 1500 мг/кг. Препарат не воспламеняется, не взрывоопасен, не слеживается, не вызывает коррозии. Срок хранения ориза 2 года. На посевах риса ориз в дозе 30 кг/га применяют в фазе выхода растений в трубку.

Радифарм® – комплекс растительных экстрактов, содержащий полисахариды, стероид глюкозида, аминокислоты и бетаин, обогащенный витаминами и микроэлементами. Стимулирует развитие корневой системы растения. Радифарм помогает растению пережить травмы при пересадке, а также неблагоприятные влаготермические факторы среды. Растения, обработанные этим препаратом, быстро поглощают воду и элементы питания, тем самым иницируя более раннюю фотосинтетическую деятельность и укорачивая вегетационный период.

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|---|----------|----------|
| Всего органических веществ | – 30,0 % | – 36,0 % |
| Полисахариды | – 7,0 % | – 8,4 % |
| Стероиды глюкозидов (сапонины) | – 0,2 % | – 0,24 % |
| Протеиновые полипептиды | – 11,0 % | – 13,2 % |
| Свободные аминокислоты | – 1,0 % | – 1,2 % |
| Витаминный комплекс (В₁ , В₆ , В₁₂ , В₁₅ , В₁₇) | – 0,04 % | – 0,05 % |
| Азот (N) всего: | – 3,0 % | – 3,6 % |
| в т. ч. органический | – 1,0 % | – 1,2 % |
| амидный | – 2,0 % | – 2,4 % |
| Оксид калия (K ₂ O) | – 8,0 % | – 9,6 % |
| Органический углерод (C) | – 10,0 % | – 12,0 % |
| Хелат цинка Zn (EDTA) | – 0,10 % | – 0,12 % |

Применение:

– *овощные культуры: фертигация и гидропоника*: 500–650 мл/1000 м² почвы при высадке, через 7 дней: 300–400 мл/1000 м² почвы;

– *овощные культуры без систем фертигации*: 100–200 мл/100 л. Полив питательным раствором под корень 0,3–0,5 л под растение, сразу после пересадки Местный поверхностный полив через штангу, для развития корневой системы рассады (от образования 3-й пары листьев) и сразу после пересадки – 100–200 мл/100 л. При использовании оборудованных рассадопосадочных машин – 300–400 мл/100 л;

– *технические культуры*: 100–300 мл/100 л воды; наносить раствор на основание растения один раз при пересадке или сразу после нее;

– *цветочные культуры*: 500–600 мл/1000 м² почвы, через 7 дней: 300–400 мл/1000 м² почвы, либо 1,5–2,0 л/м³ воды;

– *горшочные растения или декоративные*: 2–3 применения каждые 7 дней после высадки, доза – 1,5–2,0 л/1000 л воды;

– *фруктовые и лесные деревья*: 200–300 мл/100 л, 2–4 л раствора под растение.

При совместном применении Радифарма 250 мл/100 л и Кендала 250 мл/100 л, за счет синергизма, существенно повышается эффективность подкормки, обеспечивается более быстрый выход из стресса и более высокая равномерность в развитии растений.

Обработка семян: при проведении протравливания семенного материала: 200–500 мл/т Радифарма (на 8–10 л воды) + 100–200 г/т АгроМикс (концентрированный комплекс хелатов микроэлементов).

Свит – раствор растительных моно-ди-три-полисахаридов и уроновых кислот в сочетании с мезо- и микроэлементами.

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|--------------------------|-----------|-----------|
| Моно-ди-три-полисахариды | – 25,0 %; | – 33,8 % |
| Уроновые кислоты | – 0,2 % | – 0,27 % |
| Оксид кальция СаО | – 10,0 % | – 13,5 %; |
| Оксид магния MgO | – 1,0 % | – 1,35 % |
| Бор, В | – 0,1 % | – 0,14 % |
| Цинк, Zn (EDTA) | – 0,01 % | – 0,014 % |

Ускоряет биохимические процессы созревания. При применении на последних стадиях налива плодов: улучшает их окраску; повышает концентрацию сахаров; укрепляет ткань плодов; повышает содержание сухих веществ; повышает лежкость и транспортабельность плодов; сокращает количество незрелых плодов при сборе урожая; позволяет получить более ранний урожай. Применение на цветочных культурах улучшает окраску и яркость бутона, повышает период сохранности после срезки.

Инструкция по применению для некорневых подкормок:

– *плодовые семечковые и косточковые*: 2,5–3,0 л/га при появлении окраски, 3,0 л/га за 20 дней до сбора урожая;

– *виноград*: 2,5–3,0 л/га при появлении окраски, 3,0 л/га за 20 дней до сбора урожая;

– *промышленные томаты на переработку*: 2,5–3,0 л/га при 40–60 % зрелых плодов;

– *столовые томаты, перец сладкий, баклажан*: 1,5–2,5 л/га перед созреванием и периодически каждые 10–15 дней по 2,0–2,5 л/га;

– *цветы (гвоздика, лилия, гербера, роза)*: 0,2–0,3 л/100 л, перед цветением 1–2 обработки;

- *арбуз, дыня*: 2,0–2,5 л/га начало роста плода и через каждые 10–15 дней;
- *цитрусовые культуры*: 3–4 л/га в конце роста плода и 3–4 л/га перед созреванием;
- *свекла сахарная*: 1,5–2,5 л/га в период роста корнеплода, 1–2 обработки;
- *ячмень пивоваренный*: 1,0–1,5 л/га начало налива зерна.

Расход рабочего раствора: плодовые культуры – 800–1000 л/га, полевые культуры – 200 л/га.

Силк – природный регулятор роста растений; выделен методом экстракции из хвои пихты сибирской *Abies Sibirica Ledb.* Действующим веществом являются тритерпеновые кислоты: химическая формула – $C_{30}H_{46-48}O_4$. Выпускается в нескольких препаративных формах – Силк ВЭ (50 г/л), Силк ТАБ (100 г/кг), Силк П (100 г/кг) и Силк Г (100 г/кг). Характеризуется четко выраженным ростстимулирующим иммунозащитным действием. Физиологическая активность тритерпеновых кислот проявляется в выведении семян из глубокого покоя и стимуляции их прорастания за счет инициации растяжения клеток в корне, coleoptиле, а затем в стеблях и листьях. Терпеноиды положительно воздействуют на фотосинтез, повышая фотохимическую активность хлоропластов и увеличивая интенсивность фотосинтетического фосфорилирования. Они также регулируют открывание устьиц. Силк стимулирует устойчивость растений к абиотическим стрессам и грибковым заболеваниям, что, вероятно, связано с ростом образования в клетках антистрессовых белков и других компонентов системы фитоиммунитета. Совмещается с гербицидами и фунгицидами. Начинает действовать через 4–6 сут. после применения. Не фитотоксичен, резистентности не наблюдается. Способ применения: обработка семян, опрыскивание вегетирующих растений.

Сумадик – 0,04 % гранулированный препарат. Обладает выраженным ретардантным эффектом на посевах риса. В фазе выхода растений в трубку, вносят из расчета 30 кг/га. Действующее вещество униканозол. Сумадик слабо токсичен для теплокровных. ЛД₅₀ препарата для крыс 2000 мг/кг. Препарат не воспламеняется, не взрывоопасен, не слеживается, не вызывает коррозии.

Фузикоцин ($C_{36}H_{56}O_{12}$) – метаболит фитопатогенного гриба *Fusicoccum amygdali Del.*, получивший широкую известность как регулятор роста растений. Выделен из фильтрата культуральной жидкости. Это – гликозид карботрициклического дитерпена. В концентрации 10^{-16} – 10^{-4} М фузикоцин стимулирует прорастание семян и рост растений, индуцирует корнеобразование черенков.

Хлорхолинхлорид. Химически чистый хлористый (2-хлорэтил)-триметиламмоний (ССС) – белое кристаллическое гигроскопическое вещество с температурой плавления +245 °С, молекулярной массой 158,1. Хорошо растворяется в воде, спирте и других полярных растворителях. В водных растворах СССР полностью диссоциирует с образованием ионов хлора и β-хлорэтилтриметиламмония. Действие хлорхолинхлорида и его аналогов проявляется главным образом в торможении растяжения клеток субапикальной меристемы. Препарат обладает заметным ретардантным эффектом. При обработке растений хлорхолинхлоридом полость стебля злаковых растений на уровне нижних междоузлий почти вся заполняется паренхимной тканью и возрастает количество сосудисто-волокнистых пучков. Повышение удельного веса механических тканей и обуславливает упрочнение соломины. Под действием препарата увеличивается содержание клетчатки и лигнина в солоmine. Опрыскивание хлор-

холинхлоридом посевов зерновых культур проводят в фазе выхода растений в трубку. Рекомендуемые нормы действующего вещества 4 кг/га для низкорослых сортов и 6–8 кг/га для высокорослых; количество воды – 100 л/га при использовании наземной аппаратуры и 25 л/га при авиаопрыскивании.

ХЭФК, ВР – водный раствор, содержащий 480 г/л этефона. Препарат быстро проникает в растение и ускоряет биосинтез этилена в растительных тканях. За счет накопления этилена стимулируется рост корневой системы и сдерживается рост стебля, что приводит к укорачиванию стебля и утолщению второго и третьего междоузлия, повышению количества продуктивных стеблей. Предназначен для применения в качестве регулятора роста растений, ретарданта на посевах зерновых и других сельскохозяйственных культур. Его применение предотвращает полегание зерновых культур, стимулирует рост и объем корневой системы, укрепляет стебель за счет сокращения длины междоузлий и увеличения диаметра стебля, повышает количество продуктивных стеблей, оказывает положительное влияние на урожай и его качество, создает благоприятные условия для уборки урожая. Влияние препарата проявляется в течение 7–10 дней с момента обработки. Период защитного действия – в течение вегетации или периода хранения после обработки (табл. 85).

Таблица 85 – Регламент применения препарата *ХЭФК, ВР*

| Культура | Цель обработки | Норма расхода, л/га | | Способ, время обработки, сроки выхода для ручных (механизированных) работ | Срок ожидания (кратность обработок) |
|--|---|---------------------|------------------|---|-------------------------------------|
| | | препарата | рабочей жидкости | | |
| Пшеница озимая и яровая, ячмень яровой, тритикале озимая и яровая, рожь озимая | повышение устойчивости посева к полеганию, ускорение созревания, повышение урожая, улучшение качества продукции | 0,5–1,0 | 300 | опрыскивание растений в конце фазы выхода в трубку, 1(1) | (1) |
| Томаты | ускорение созревания, повышение урожая плодов | 1,5 | 400 – 600 | | |
| Лук репчатый | повышение сохранности урожая, снижение прорастания, повышение устойчивости к болезням при хранении | 3,0–4,5 | 600 – 800 | опрыскивание растений за 21 день до уборки, 1(1) | 21(1) |

Технология применения. Рабочий раствор готовят непосредственно перед опрыскиванием. Бак опрыскивателя на 1/3 заполнить водой, залить полную дозу препарата, долить оставшееся количество воды и перемешать. Перемешивание продолжается и во время обработки посевов для обеспечения однородности рабочего раствора. Приготовление рабочего раствора и заправку опрыскивателя проводить на специальных площадках, которые в даль-

нейшем подвергнуть обезвреживанию. Для опрыскивания применяются серийно выпускаемые наземные штанговые опрыскиватели.

Препарат 3 класса опасности (вещество умеренно опасное), не фитотоксичен в рекомендуемых нормах, случаев возникновения резистентности для препарата не выявлено. Хранить препарат в предназначенном для хранения пестицидов помещении. Температурный интервал хранения от -10°C до +35°C.

Циркон – корнеобразователь, индуктор цветения, болезнеустойчивости, получен из растительного сырья. Применение препарата обеспечивает увеличение всхожести и ускорение прорастания семян, роста и развития растений; увеличение урожая и улучшение качества полученной продукции, снижение накопления тяжелых элементов; стимулирование плодо- и корнеобразования; защиту растений от заморозков, засухи, избытка влаги, недостатка освещенности, ускоряет начало цветения декоративных культур, повышает выход стандартной продукции. Использование циркона резко снижает степень поражения такими заболеваниями как: фитофтороз картофеля и томатов, парша картофеля и яблони, бактериоз и фузариоз овощных и цветочных культур, серая гниль земляники и, особенно мучнистая роса на розах и черной смородине. Препарат практически не опасен для человека, теплокровных животных, рыб, полезных насекомых, пчел (IV класс опасности), не накапливается в почвах, не загрязняет грунтовые и поверхностные воды, не фитотоксичен. Хранят его отдельно от пищевых продуктов при температуре не выше +25°C. Применяют при стрессовых условиях выращивания растений (пересадка, заморозки, болезни). Согласно рекомендациям фирмы-производителя, 1 мл циркона разводят в 10 л воды и равномерно опрыскивают растения (табл. 86).

Таблица 86 – Применения циркона на различных культурах

| Культура | Норма | Норма, способ и срок обработки |
|-----------|---|--|
| 1 | 2 | 3 |
| Картофель | 0,5 мл/л воды; расход 1 л/100 кг 0,33 мл/л воды; расход 3 л/100 м ² | Предпосевная обработка клубней Опрыскивание растений в фазе полных всходов и начала бутонизации |
| Огурец | 0,22 мл/200 мл воды; расход 200 мл/200 г 1 мл /10 л воды; расход 3 л/100 м ² | Замачивание семян на 8 ч Опрыскивание растений в фазе бутонизации |
| Томаты | 1,25 мл/100 г; расход 150 мл/100 г | Замачивание семян в течение 1 ч |
| Перец | 0,04–0,06 мл/100 мл воды; расход 100 мл/100 г 1 мл /10 л воды; расход 3 л/100 м ² | Замачивание семян на 2 ч Опрыскивание растений в фазе цветения |
| Капуста | 0,25 мл/10 л воды; расход 4 л/100 м ² | Опрыскивание растений в фазе завязывания кочана |
| Морковь | 0,13 мл/10 л воды; расход 3 л/100 м ² | Опрыскивание растений в фазе пучковой спелости (8–10 листьев) |

| 1 | 2 | 3 |
|------------|---|--|
| Горох | 0,04 мл/100 мл воды; расход 100 мл/кг 0,3 мл/10 л воды; расход 3,5 л/100 м ² | Предпосевная обработка семян Опрыскивание растений в фазе бутонизации |
| Яблоня | 0,1 мл/100 мл воды; расход 100 мл/20 черенков 1 мл /10 л воды; расход 5–10 л/дерево | Замачивание черенков на 18 ч Опрыскивание в фазе бутонизации |
| Черешня | 2,5 мл /10 л воды; расход 5–10 л/дерево | Опрыскивание в фазе бутонизации |
| Вишня | 0,5 мл/1 л воды; расход 100 мл/20 черенков 2,5 мл/10 л воды; расход 5–10 л/дерево | Замачивание черенков на 18 ч Опрыскивание в фазе бутонизации |
| Слива | 0,02 мл/100 мл воды; расход 100 мл/20 черенков | Замачивание черенков на 18 ч |
| Алыча | 2,5 мл/10 л воды. Расход 5–10 л/дерево | Опрыскивание в фазе бутонизации |
| Земляника | 0,3 мл/10 л воды; расход 3 л/100 м ² | Опрыскивание в фазе бутонизации |
| Смородина | 0,4 мл/10 л воды; расход 4 л/100 м ² | Опрыскивание в фазе бутонизации |
| Роза | 0,02 мл/100 мл воды; расход 100 мл/20 черенков 1–2 мл/10 л воды; расход 4 л/100 м ² | Замачивание черенков на 4 ч Опрыскивание в начале отрастания побегов |
| Хризантема | 1 мл /1 л воды; расход 1 л/30 м ² | Опрыскивание перед формированием бутонов |
| Груша | 0,05 мл/200 мл воды; расход 200 мл/40 черенков | Замачивание черенков на 18 ч |
| Туя, ель | 0,05 мл/100 мл воды; расход 100 мл/10 черенков | Замачивание черенков на 14 ч |

Эпин – препарат, относящийся к группе природных регуляторов роста растений. Повышает иммунитет у растений, сглаживает стресс от пересадки растения. Применяется как для замачивания семян и луковиц, так и для опрыскивания в фазе бутонизации и цветения растений (табл. 87).

Таблица 87 – Регламент применения эпина

| Культура | Норма | Назначение | Способ, срок обработки |
|-----------|---|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Картофель | 1 мл/0,25 л воды; расход – 0,25 л/50 кг 1 мл/5 л воды; расход – 3 л/100 м ² | Улучшение клубнеобразования, повышение урожая и качества клубней, стимулирование иммунной системы, повышение устойчивости к фитофторозу, снижение содержания нитратов, солей тяжелых элементов и радионуклеидов | Обработка клубней Опрыскивание в фазе бутонизации |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------|--|--|--|
| Томаты | 0,5 мл/2 л воды; расход – 2 л/кг | Повышение энергии прорастания и всхожести, усиление защитных свойств к неблагоприятным условиям внешней среды | Замачивание семян на 2 ч |
| | 1 мл/5 л воды; расход – 3–4 л/100 м ² | Увеличение количества завязей, предотвращение их опадения, ускорение созревания плодов и улучшение их качества, повышение устойчивости к заболеваниям, фунгипротекторное действие, снижение содержания радионуклеидов, нитратов, солей тяжелых элементов | Опрыскивание в фазе бутонизации |
| Огурец | 0,25 мл/1 л воды; расход – 1 л/кг | Повышение энергии прорастания и всхожести, усиление защитных свойств к неблагоприятным условиям внешней среды | Замачивание семян на 2 ч |
| | 1 мл/5 л воды; расход – 3–4 л/100 м ² | Ускорение образования и предотвращение опадения завязей, повышение урожая, стимулирование иммунной системы, повышение устойчивости к болезням, снижение содержания нитратов и тяжелых элементов | Опрыскивание в фазе 2–3 настоящих листьев и повторное в фазе бутонизации |
| Перец | 0,1 мл/2 л воды; расход – 2 л/кг | Повышение энергии прорастания и всхожести семян, усиление защитных свойств к неблагоприятным условиям внешней среды | Замачивание семян на 2 ч |
| | 1 мл/5 л воды; расход – 3–4 л/100 м ² | Ускорение образования завязей и предотвращение их опадения, повышение урожайности, стимулирование иммунной системы, снижение содержания радионуклеидов и тяжелых элементов | Опрыскивание в фазе их бутонизации и цветения |
| Яблоня | 2 мл/5 л воды; расход – 5–6 л/100 м ² | Стимулирование образования завязей, предотвращение их опадения, повышение урожайности и засухоустойчивости, стимулирование иммунной системы, повышение устойчивости к парше обыкновенной, снижение содержания радионуклеидов и тяжелых элементов | Опрыскивание по розовому бутону и повторно через 20 дней |

Эпин-экстра – ускоряет прорастания семян, способствует укоренению рассады при пикировке и пересадке; ускоряет созревание урожая; повышает устойчивость растений к неблагоприятным природным условиям, фитофторозу, парше, бактериозу и фузариозу. Способ применения:

1. Предпосевная или предпосадочная обработка. *Семена овощных культур* замачивают в растворе эпина-экстра (1–2 капли на 100 мл воды для томатов, огурца, перца и баклажан) 18–20 ч при температуре 20°С. *Семена*

цветочных культур – 4 капли эпина-экстра на 100 мл воды на 18 ч. *Луковицы цветочных культур* и черенки замачивают перед посадкой в растворе эпина-экстра (1 мл на 2 л воды) 24 и 12 ч соответственно. *Клубни картофеля* опрыскивают перед посадкой (1 мл на 250 мл воды на 50 кг клубней картофеля).

2. Опрыскивание вегетирующих растений. 1 мл эпина растворяют в 5 л воды и тщательно перемешивают. Вода со щелочной реакцией для приготовления раствора не допускается. Опрыскивание проводят, равномерно смачивая листья. Рабочий раствор используют в день приготовления. Обработка растений проводится в следующие фазы: *картофель, томаты* – бутонизация–начало цветения; *корнеплоды* – по всходам; *огурец* – 2–3 настоящих листа с повторением в фазе бутонизации; *перец* – в начале бутонизации с повторением в фазе цветения; *тюльпан* – при появлении бутонов; *плодово-ягодные культуры* – в фазе бутонизации с повторением через 20 дней. Расход рабочего раствора 2–5 л на молодое дерево и 5–8 л на взрослое. При стрессовых условиях выращивания (недостаток света, заморозки, болезни) опрыскивания проводят каждые 7–10 дней до полного исчезновения признаков болезни у растений.

Этилен – газ со сладковатым запахом, горит светящим пламенем; с кислородом и воздухом образует взрывчатую смесь; пределы взрывоопасных концентраций в воздухе составляют 3–34 объемных процента. Как природный регулятор роста растений способствует созреванию плодов, изменяет интенсивность дыхания и активность ферментов. Экзогенно примененный этилен также способствует ускорению созревания плодов, вызывает пожелтение листьев, дефолиацию. Применяется в герметичных камерах, куда подается один раз в сутки в таком количестве, чтобы обеспечить концентрацию его в воздухе 1:2000–1:5000 по объему. В камеру помещают недозревшие плоды и выдерживают их 2–3 сут. в присутствии этилена при температуре 18–22 °С и относительной влажности не ниже 85 %. Обработка плодов этиленом не влияет на их вкусовые и питательные качества.

Этрел – препарат американского производства, приготовленный на основе 2–хлорэтилфосфоновой кислоты (фосфонатр). Используется как ингибитор роста, дефолиант, стимулятор созревания плодов и отделения их от плодоножек. Каждый литр этрела содержит 480 г действующего вещества. Водный раствор этрела, распыленный на поверхность растений, поглощается им в течение суток, причем за первые 2–3 ч – 75 % его количества. В растительных тканях этрел разлагается с образованием соляной и фосфорной кислоты и этилена, который оказывает физиологическое воздействие на растение. Этрел – это жидкость с сильно выраженными кислотными свойствами. При pH более 4 препарат начинает разлагаться, поэтому при работе с ним нужно избегать контактов со щелочами, а растворы следует готовить непосредственно перед применением. При обработке препаратом рекомендуют хорошо смачивать растение, для чего используют около 1000 л/га раствора при концентрации не выше 0,07–0,1 %.

Янтарная кислота – биогенный регулятор роста; образуется в свободном виде в организме при распаде изолимонной кислоты и окислительном превращении кетоглутаровой кислоты. Одним из механизмов положительного влияния янтарной кислоты на жизнедеятельность растения считается стимулирование дыхания, интенсивность которого определяет уровень метаболизма растительного организма. Для получения янтарной кислоты обычно использу-

ют бактериальное брожение виннокислого аммония или яблочнокислого кальция. В качестве побочного продукта янтарную кислоту получают при перегонке отходов янтаря. Синтетическую янтарную кислоту получают из дибромэтана через соответствующий дицианид, а также каталитическим восстановлением малеиновой или фумаровой кислот. Разработана методика получения янтарной кислоты из отходов фурфурола (кубового остатка) гидролизных заводов – фурановых соединений. Фурфурол получают из гуза-паи и шелухи хлопчатника, а также из стеблей подсолнечника. Янтарная кислота, получаемая из этих отходов, содержит 2 % фумаровой кислоты. Смесь янтарной и фумаровой кислот по действию на растение не уступает чистой янтарной кислоте. Применяется в концентрациях 0,001–0,01 % для предпосевной обработки семян.

Агрикола. Удобрения «Агрикола» выпускаются в сухом и жидком виде. В сухом виде эти удобрения предназначены для цветоводства и для овощеводства. В серию «Агрикола» для цветоводства входят универсальное удобрение «Агрикола для комнатных растений», применяемое для аспарагусов, бальзаминов, бегониевых, гераниевых, диффенбахий, колеусов, колумней, марантов, плющей, традесканций, фиалок, фиттоний, фуксий, хлорофитумов, цикламенов, циссусов и других растений. В нем содержится 23 % азота, 11 – фосфора, 23 – калия, 0,08 – бора, 0,016 – меди, 0,16 – железа, 0,08 – марганца, 0,008 – молибдена, 0,016 % цинка. Для нецветущих видов (аспарагусы, кротоны, плющи, пуансеттия, традесканции, хлорофитумы, циссусы) выпускается «Агрикола для декоративных листовых растений». Для цветущих видов, таких, как агератумы, афеландры, бальзамины, бегонии, гардении, гераниевые, камелии, спатофиллюмы, фиалки, цикламены, цветущие луковичные растения и другие, можно использовать «Агриколу для цветущих растений» с содержанием 23 % азота, 11 – фосфора и 23 % калия. Кроме названных элементов содержит бор, медь, цинк, марганец, железо и молибден. «Агрикола для кактусов и суккулентов» применяется для подкормок различных видов кактусов и близких к ним по режиму питания культур (агав, алоэ, гастерий, каланхоэ, мамиллярий, молочаев, нотокактусов, опунций, пахифитумов, эхинопсисов, эхинокактусов, рипсалидопсисов). Содержит: 12 % азота 26 – фосфора, 20 – калия, 0,13 – бора, 0,03 – меди, 0,27 – железа, 0,13 – марганца, 0,06 – молибдена, 0,03 % цинка.

Выпускается «Агрикола для комнатных и садовых роз», «Агрикола для пальм», которые предназначены для подкормок большинства видов декоративных пальм и некоторых других растений (драцены, калатеи, ливистоны, маранты, монстеры, трихикарпусы, филодендроны, финики, хамадореи, хамеоропсы, ховеи, юкки). «Агрикола для фикусов» предназначена для подкормок аспер, дельтоидей, лират, пумил, религиоз, рубигеноз, фикусов и эластиков.

В настоящее время выпускается ряд препаратов серии «Агрикола» в жидкой форме. Из этих препаратов для комнатного цветоводства предназначен препарат «Агрикола фантазия»; для выращивания рассады овощных и цветочных культур – «Агрикола форвард». Кроме того, под маркой «Зеленая планета» в серии «Агрикола» начато производство цветочных удобрений в коробочках по 200 г. В серию «Зеленая планета» вошли восемь видов удобрений для кактусов, фикусов, пальм, цветущих, декоративнолистных растений, комнатных цветов, ягод и садовых роз. Все они содержат оптимальный для каждой группы растений набор макро- и микроэлементов.

Удобрения серии «Агрикола» рекомендуется применять для полива цветов один раз в 10–14 дней из расчета 5 г/2 л воды. Возможно их использование и для некорневой подкормки растений.

Агровитаква АВА – «стеклообразное» (стеклоподобное) комплексное, безазотное, бесхлорное удобрение. Оно представляет собой высокотемпературный расплав различных солей метафосфорной кислоты. Содержит 55–60 % фосфора, 17–19 – калия, 12–14 – кальция, 4–5 – магния, 1,0–1,5 – бора, по 0,1–0,2 – кремния, цинка, меди, кобальта, железа, молибдена, хрома, никеля, 0,05 % селена. Производится в России.

Удобрение АВА обладает рядом существенных преимуществ перед традиционными поликристаллическими удобрениями. Специфика «варки» стеклообразной массы позволяет изменять число и соотношение входящих в удобрение макро- и микроэлементов, тем самым подбирать наиболее оптимальный его состав для отдельных культур и почв. Достоинством этого удобрения является то, что оно длительного действия и не теряет активность при однократном применении 2,5–3 года. Процесс растворения начинается при температуре выше +8°C, что соответствует температуре начала роста растений и периоду потребления элементов минерального питания из почвы. Растворение АВА прекращается при снижении температуры почвы ниже указанной, что соответствует уменьшению физиологических требований растений в элементах питания.

АВА устойчиво к вымыванию с полей, расположенных в пойме рек, на любой местности с пересеченным рельефом, на почвах с высокой водопроницаемостью и сезонной увлажненностью, а также из затопляемых рисовых почв. АВА можно применять без опасения потерь элементов питания, в любое время года. Удобрение выпускается в гранулированном, порошкообразном и жидком виде без снижения питательной ценности. Это позволяет в зависимости от биологических особенностей растений использовать различные формы этого удобрения – порошкообразную, с быстрым растворением, или гранулированную, имеющую пролонгированное действие и период растворения в почве не менее трех лет. Экономические затраты на внесение АВА минимальные, учитывая срок действия и норму внесения. Гранулы удобрения АВА в почве растворяются постепенно под действием не только воды и температуры, но и под воздействием органических кислот, выделяемых корнями растений и почвенной микрофлорой. Это позволяет избежать отрицательного влияния повышенных концентраций солей на корневую систему и микроорганизмы почвы. Применение удобрений АВА приводит к активизации жизнедеятельности различных почвенных микроорганизмов, таких, как целлюлозоразрушители и симбиотические азотфиксаторы, активно связывающие атмосферный азот.

Микроэлементы, входящие в состав АВА, повышают активность ферментов, оказывают положительное влияние на фиксацию азота воздуха клубеньковыми бактериями. Кроме того, применение этого удобрения сопровождается повышением фунгистатичности почвы, т. е. подавлением развития патогенных грибов, а также приводит к накоплению гуматов и гуминовых кислот, способствующих повышению плодородия почвы. Немаловажно и то, что технология производства удобрения АВА, в отличие от традиционных технологий использующая метафосфорную кислоту, не наносит ущерба экологии окружающей среды и здоровью занятых в производстве людей.

Удобрение АВА вносится под овощные, плодово-ягодные культуры как основное припосевное и подкормка. *Под вегетирующие многолетние растения* вносится: земляника – от 3 до 5 г на куст, плодовые деревья – от 50 до 100 г по диаметру кроны, декоративные растения – до 20 г/м².

При посадке: земляника – не более 5 г на лунку. Этого хватит на 3 года. кусты ягодные и декоративные – не более 50 г на яму; деревья – 50–100 г на посадочную яму 100х100 см; томаты, перцы, картофель, капуста – 3–5 г на лунку, удобрение равномерно перемешать с подготовленным грунтом; комнатные растения – 1–3 г на 1 л почвы.

Акварин – водорастворимое минеральное удобрение. Наиболее распространенными из этой серии являются «Акварин-картофельный», «Акварин-плод», «Акварин-колор», «Акварин-юниор».

«Акварин-картофельный» содержит 12 % азота, 12 – фосфора, 35 – калия, 1,0 – магния, 0,7 – серы, 0,054 – железа (ЭДТА), 0,02 – бора, 0,042 – марганца (ЭДТА), 0,004 – молибдена, 0,01 – меди (ЭДТА), 0,014 % цинка (ЭДТА).

Применяется самостоятельно или совместно со средствами защиты растений. При добавлении в раствор пестицидов действует как антистрессант, помогая растениям легче переносить стресс от воздействия пестицидов. За вегетационный период возможно проведение 3–4-х обработок: 1-я и 2-я – перед окучиванием, 3-я – перед цветением, 4-я – после цветения. Доза внесения – 20–30 г/10 л воды на 100 м².

«Акварин-юниор» используют для подкормки овощных, плодово-ягодных и декоративных культур от рассады до начала цветения. Содержит 19,0 % азота (11,9 % – N–NO₃; 7,1 % – N–NH₄), 6 – фосфора, 20 – калия, 1,5 – магния, 1,4 – серы, 0,054 – железа (ЭДТА), 0,02 – бора, 0,042 – марганца (ЭДТА), 0,014 – молибдена, 0,01 – меди (ЭДТА), 0,014 % цинка (ЭДТА).

Способ применения: 20 г удобрения растворяют в 10 л воды. Этим раствором проводят корневые и некорневые подкормки. Периодичность подкормок: огурцы, перцы, томаты, баклажаны – раз в 10 дней; капуста, лук, редис и другие овощи – раз в 2 недели; плодовые и ягодные кустарники – 1 раз в месяц из расчета 5–10 л на куст, комнатные растения – через 10–15 дней.

«Акварин-плод» применяют для подкормки овощных, плодовых и декоративных культур в фазе плодоношения. Эффективен в фазе цветения растений. Содержит 12 % – азота (10 % – N–NO₃; 2 % – N–NH₄), 12 – фосфора, 35 – калия, 1,0 – натрия, 0,07 – серы, 0,054 – железа (ЭДТА), 0,014 – цинка (ЭДТА), 0,01 – меди (ЭДТА), 0,042 – марганца (ЭДТА), 0,04 – молибдена, 0,02 % – бора.

Способ применения: 20 г удобрения растворяют в 10 л воды. Проводят корневые и некорневые подкормки. Периодичность подкормок: овощные культуры – раз в 10 дней; плодовые и ягодные кустарники – 1 раз в месяц из расчета 5–10 л на куст; комнатные растения – через 10–15 дней.

«Акварин-колор» предназначен для подкормки овощных, плодовых и декоративных растений в фазах цветения и начала плодоношения. Содержит 15 % азота (11,3 – N–NO₃; 3,7 – N–NH₄), 5 – фосфора, 30 – калия, 1,7 – магния, 1,3 – серы, 0,054 – железа (ЭДТА), 0,02 – бора, 0,042 – марганца (ЭДТА), 0,004 – молибдена, 0,01 – меди (ЭДТА), 0,014 % цинка (ЭДТА).

Способ применения: 20 г удобрения растворяют в 10 л воды. Проводят корневые и некорневые подкормки с периодичностью: овощные культу-

ры – раз в 10 дней; плодовые и ягодные кустарники – 1 раз в месяц из расчета 5–10 л на куст, комнатные растения – через 10–15 дней.

Активейв (жидкое органоминеральное удобрение) – в состав входят: кайгидрин – сложная молекула, которая способствует проникновению и усвоению элементов питания корневой системой растения, бетаины – помогают растению преодолеть неблагоприятные условия внешней среды, альгиновая кислота – взаимодействует с элементами питания растений, делая их доступными, а также улучшает структуру и свойства почвы.

| Состав: | w/w – % | w/v – % |
|--------------------------|----------|----------|
| N общий | – 3,0 % | – 3,9 % |
| в т. ч. органический | – 1,0 % | – 1,3 % |
| амидный | – 2,0 % | – 2,6 % |
| K ₂ O | – 7,0 % | – 9,0 % |
| Fe (EDDHSА) | – 0,50 % | – 0,65 % |
| Zn (EDTA) | – 0,08 % | – 0,1 % |
| Органический углерод (С) | – 12,0 % | – 15,5 % |
| Органическое вещество | – 17,0 % | – 22,0 % |

Активейв ускоряет поглощение элементов питания растениями. Действует непосредственно на специфические механизмы в плазмалемме, на уровне клеточных мембран, регулируя усвоение и использование элементов питания, усиливая работу т. н. «протонных насосов». Способствует повышению урожайности, качества плодов, ускорению созревания и вступления растений в период плодоношения. Применяется, в основном, в системах капельного полива, что улучшает способность усвоения корневой системой элементов питания из удобрений, повышая биологическую и экономическую эффективность их применения.

Используют при организации питания в системах гидропоники и капельного полива (фертигация):

– *овощных культур*: препарат вносят 5 раз за вегетацию из расчета 10–15 л/га: 1-е применение – через 20 дней после пересадки (высадки). 2-е – через 10 дней после первого, 3-е – через 10 дней (первые стадии завязи) после второго, 4-е – через 15 дней после третьего, 5-ое применение через 15 дней после четвертого. В защищенном грунте, когда культура выращивается в продленном обороте, возможно применение продукта каждые 10–15 дней, 8–10 применений. Активейв стабилен в интервале рН 4–10, можно растворять в баке для нитратов. При ручном внесении расход рабочего раствора – 5–10 л/м³.

– *яблоня*: норма 10–15 л/га, 1-е применение перед цветением (фаза розовый бутон), 2-е – через 15–20 дней, 3-е – через 15–20 дней после второго, 4-е применение через 15–20 дней после третьего.

– *земляника*: норма 10–15 л/га, основная программа применения (холодозащитная) – два применения после пересадки и до осеннего покоя с интервалом 15 дней, при возобновлении вегетативного роста – 2–3 применения перед цветением. Применение препарата в период плодоношения земляники следует избегать, особенно на высоко плодородных почвах.

Альбатрос – высококонцентрированное безбалластное удобрение с полным набором макро- и микроэлементов. На российский рынок это удобрение поставляет норвежская фирма «Норск-Гидро». Азот содержится в амидной форме. Рекомендуются, в первую очередь, для некорневых подкормок в период вегетации растений.

Апион – удобрение, содержащее питательные вещества, которые, взаимодействуя с почвой в сфере корнеобитания, обеспечивают выделение в почву сбалансированного комплекса макро- и микроэлементов, биологически активных веществ в соответствии со скоростью потребления их растениями. Удобрение вносится вблизи корневой системы. Существует целая серия марок этого удобрения, среди которых наиболее широко распространены «Апион-3», «Апион-6», «Апион-30» и «Апион-50». Удобрения серии «Апион» применяются под различные культуры в открытом грунте и для горшечной культуры.

БИУД – быстродействующее органическое удобрение, произведенное на основе коровьего навоза, прошедшего биотермическое обеззараживание при температуре 53–57°C без доступа воздуха в течение 7–10 дней.

Основные особенности биоудобрения БИУД состоят в том, что оно обеззаражено в процессе изготовления без применения химических добавок; усваивается растением с момента внесения, предоставляя ему питание в сбалансированном виде; содержит стимуляторы роста растений, образующиеся при переработке навоза и птичьего помета; не содержит семена сорняков; улучшает структуру почвы и снижает ее кислотность; способствует размножению полезных почвенных микроорганизмов; улучшает приживаемость растений и их способность переносить неблагоприятные условия окружающей среды.

Применяют суперкомпост БИУД для проведения прикорневых подкормок комнатных цветов: жидкая подкормка – 20 г/0,5 л воды. Полив производится не чаще одного раза в месяц из расчета 150–200 мл/растение; сухая подкормка – 20 г/кг предварительно разрыхленной почвы, после внесения подкормки полив обязателен. Подкормка производится не чаще одного раза в месяц.

Брексил – полный ряд отдельных питательных микроэлементов, на основе лигнинполикарбосиловой кислоты, специально разработанный для предотвращения дефицита микроэлементов при фертигации и некорневых подкормках растений.

Фертигация: 8–12 кг/га. При внесении удобрений Брексил Fe и Брексил Mn нельзя превышать норму 150 г/г/л для тепличных растений, а Брексил Zn – не превышать дозу 100 г/г/л. Груши, абрикосы, киви – не обрабатывать после того, как плод вырастет наполовину. Не смешивать с веществами, содержащими кальций без предварительного тестирования.

Гербамин – экологически чистое удобрение и стимулятор роста растений. В его составе: экстракт 11 видов лекарственных растений. Содержит макро- и микроэлементы, ферменты, витамины, фитогормоны.

Используется в период вегетации при выращивании плодовых, овощных, декоративных культур. Применяют методом полива почвы или опрыскивания растений. Способствует сбалансированному питанию растений и увеличению их продуктивности, повышению устойчивости к болезням, вредителям и неблагоприятным условиям произрастания.

Гидрокомплекс – удобрение с микроэлементами для предпосевного внесения и подкормок сельскохозяйственных культур. Содержит 12 % – азота, 11 – фосфора, 18 – калия, 3 – магния, 8 – серы, 0,2 – железа, 0,02 – цинка, 0,015 – бора, 0,02 % марганца.

Гидромикс – микроудобрение, содержащее бор, медь, железо, марганец, цинк, молибден. Применяется для стимулирования всхожести и энергии прорастания семян, увеличения сопротивляемости растений к болезням и неблагоприятным погодным условиям в начальные фазы роста.

В состав Гидромикса входят: В – 0,65; Cu (EDTA) – 0,27; Fe (EDDHA) – 0,70; Fe (EDTA) – 6,30; Mn (EDTA) – 3,30; Zn (EDTA) – 0,60; Mo – 0,20 %. Хелатные формы микроэлементов хорошо совмещаются с протравителями семян и не закрепляются в почве. Его применение совмещается с централизованным протравливанием семян полусухим методом, с использованием машин типа ПС–10.

Кемира. Поставщиком удобрений является фирма «Кемира агро» (Финляндия). Удобрения этой серии производится и в нашей стране. Из удобрений торговой марки «Кемира» следует отметить следующие: «Кемира универсал», «Кемира универсал–2», «Кемира люкс», «Кемира супер», «Кемира комби», «Кемира цветочное», «Кемира газонное», «Кемира картофельное», «Кемира картофельное–5». Все эти удобрения легко и быстро растворяются в воде, содержат набор макро- и микроэлементов, подобранных для различных видов растений, хорошо смешиваются с другими туками. Технология изготовления удобрений «Кемира» такова, что каждая гранула содержит полный набор питательных элементов, что способствует равномерному внесению их в почву.

«Кемира универсал» содержит 10 % азота (6,2 % – N–NH₄; 3,8 % – N–NO₃), 10 – фосфора, 20,0–20,5 – калия, 11 – серы, 2,5 – магния, 1,0 – кальция, 0,1 – железа, 0,15 – бора, 0,1–0,15 – меди, 0,1–0,7 – марганца, 0,01–0,1 – молибдена, 0,1–0,7 – цинка и 0,0006 % селена; растворимость – 85–87 %.

«Кемира универсал» применяется в качестве основного удобрения для овощных культур защищенного и открытого грунтов при выращивании рассады и цветочных растений. Удобрения перемешивают с субстратом при обработке почвы заблаговременно до высадки, тогда питательные вещества успевают равномерно распределиться в субстрате до высадки рассады. Можно применять также во время вегетации растений. Для этого его рассыпают по поверхности почвы с последующим легким рыхлением.

Ниже приведены рекомендуемые производителем нормы применения удобрения «Кемира универсал» (табл. 88).

Таблица 88 – Ориентировочные нормы внесения удобрения «Кемира универсал»

| Культура | Норма, кг/100м ² |
|---|-----------------------------|
| Капуста, брюква, свекла столовая | 8–10 |
| Огурцы, сельдерей, лук, капуста пекинская | 7–10 |
| Пастернак | 6–9 |
| Картофель | 5–8 |
| Морковь, фасоль | 5–7 |
| Горох | 3–6 |
| Плодовые деревья | 3–6 |
| Малина, смородина | 2–4 |
| Земляника | 1–3 |

«Кемира универсал–2» содержит 12,0 % азота (9 % – N–NH₄; 3 % – N–NO₃), 8,0 – фосфора, 14 – калия, 2,0 магния, 8,0 – серы, 0,2 – железа, 0,1 – бора, 0,1 – меди, 0,2 – марганца, 0,1 – цинка, 0,01 % молибдена. Используют для выращивания садовых культур и овощей в открытом и закрытом грунтах. Оно разработано специально для использования при возделывании чувствительных к хлору овощных, плодовых и ягодных культур, картофеля и декоративных растений.

«Кемира универсал-2» применяется как основное удобрение и в качестве подкормок в период вегетации растений. При основном внесении удобрения равномерно распределяют по поверхности почвы и заделывают на глубину 10–15 см. Подкормку овощных культур проводят спустя 25–30 дней после высадки рассады. Удобрения вносят, равномерно разбросав его на используемой площади, и заделывают в почву.

Ниже приведены рекомендуемые производителем нормы применения удобрения «Кемира универсал-2» для различных культур (табл. 89)

Таблица 89 – Ориентировочные нормы внесения «Кемира Универсал-2»

| Культура | Норма, кг/100 м ² |
|---|------------------------------|
| Картофель | 50–80 |
| Томат, перец | 60–80 |
| Салат, шпинат, горох, укроп, петрушка | 80–100 |
| Морковь, репа, лук, редис, свекла | 100–120 |
| Капуста, брюква, огурец, тыква, сельдерей, ревень | 120–160 |
| Земляника | 20–30 |
| Смородина, малина | 40–60 |
| Молодые фруктовые деревья | 30–60 |
| Взрослые фруктовые деревья | 70–90 |
| Лиственные деревья, кустарники | 100–120 |
| Розы, цветы для клумб | 80–100 |
| Травы для газона | 100–150 |

«Кемира люкс» содержит 16 % азота (7,9 % – N–NH₄; 8,1 % – N–NO₃), 21 – фосфора, 27 – калия, 0,1 – железа, 0,1 – марганца, 0,02 – бора, 0,01 – цинка, 0,01 – меди, 0,002 % молибдена; растворимость удобрения 100 %.

Рекомендации фирмы «Кемира-агро» по применению удобрения «Кемира Люкс»:

| | |
|-----------------------------|--|
| Выращивание рассады | 20 г удобрения растворить в 20 л воды и поливать один раз в неделю; |
| Комнатные растения | 20 г удобрения растворить в 10 л воды и использовать летом при каждом поливе, зимой каждый третий-четвертый раз; |
| Подкормки в теплице | 20 г удобрения растворить в 10 л воды и поливать один раз в неделю; |
| Подкормки в открытом грунте | 20 г удобрения растворить в 10 л воды и поливать один раз в неделю. |

«Кемира супер» содержит 11 % азота, 24 – фосфора, 24 % калия; растворимость удобрения 100 %.

«Кемира комби» содержит 14 % азота, 10 – фосфора, 25 % калия; растворимость удобрения 100 %.

«Кемира цветочное» содержит 17,7 % азота (10,3 % – N–NO₃, 7,4 % – N–NH₄), 9,4 – фосфора, 11,2 – калия, 0,55 – кальция, 0,5 – магния, 0,7 – серы, 0,09 – бора, 0,08 – меди, 0,16 – железа, 0,16 – марганца, 0,08 – молибдена, 0,09 % цинка; растворимость удобрения 100 %.

Нормы применения:

| | |
|---------------------|--------------------------|
| Многолетние цветы | 50–60 г/м ² |
| Розы, клематисы | 80–90 г/м ² |
| Однолетние цветы | 80–100 г/м ² |
| Луковичные растения | 100–120 г/м ² |

«Кемира газонное» содержит 11,3 % азота (4,4 % – N–NO₃, 6,9 % – N–NH₄), 12,0 – фосфора, 26,0 – калия, 0,55 – кальция, 0,7 – магния, 0,09 – бора, 0,08 – меди, 0,16 – железа, 0,16 – марганца, 0,08 – молибдена, 0,09 % цинка; растворимость удобрения 95–100 %. Перед закладкой газона удобрения вносят из расчета 1,0–1,5 кг/м³ грунта и тщательно перемешивают. После каждого второго скашивания разбрасывают удобрения из расчета 5–7 кг/100 м² газона и поливают. Весной для хорошего дружного отрастания трав подкармливают газон удобрением по 4–5–7 кг/100 м².

«Кемира картофельное» содержит 12,0 % азота, 14,0 – фосфора, 17,0 % калия; удобрение имеет 100 % растворимость в воде. Норма внесения 60–80 г/м². Если удобрение вносят в посадочную яму – норма 15–20 г на одно растение и с обязательным размешиванием с почвой. Подкормки в период вегетации производят перед рыхлением; норма – 30–40 г/м².

«Кемира картофельное-5» содержит 10,7 % азота (5 % – N–NO₃, 5,7 % – N–NH₄), 8,7 – фосфора, 16,0 – калия, 2,7 – магния, 2,7 % серы; растворимость в воде 100 %.

«Кемира осеннее» – гранулированное удобрение с макро- и микроэлементами для плодовых декоративных деревьев и кустарников, а также для луковичных растений. Содержит: 4,8 % азота, 20,8 – фосфора, 31,3 – калия, 0,55 – кальция, 0,5 – магния, 0,7 – серы, 0,09 – бора, 0,08 – меди, 0,016 – железа, 0,16 – марганца, 0,08 – молибдена, 0,09 % цинка. Удобрения вносят в посадочную яму перед посадкой саженцев плодовых и декоративных деревьев и кустарников из расчета 60–80 г; луковичных растений – 80–100 г/м². Для подкормки удобрение разбрасывают на приствольный круг из расчета 30–40 г.

«Кемира плюс» – полностью водорастворимое удобрение, содержащее 14,7 % азота (8,9 % –N–NO₃, 5,8 % – N–NH₄), 5,5 – фосфора, 33,8 – калия, 1,8 – кальция, 2,35 – серы, 0,02 – бора, 0,01 – меди, 0,1 – железа, 0,1 – марганца, 0,002 – молибдена, 0,01 – цинка, 0,001 % кобальта. Микроэлементы находятся в хелатной форме. Удобрение пригодно для корневых и некорневых подкормок. Для корневых подкормок 20–25 г удобрения растворяют в 10 л воды и этим раствором поливают один раз в неделю. Некорневые подкормки растений производят 1 % водным раствором (10 г на 1 л воды).

Корневая смесь – удобрение, содержащее обеззараженный куриный помет, полный комплекс органических и структурирующих веществ, макро- и микроэлементов: 4,9 % азота, 2,9 – фосфора, 2,7 – серы, 5,1 – калия, 1,0 – магния, 3,0 – кальция, 0,4 – железа, 0,05 – бора, 0,004 – меди, 0,01 – марганца, 0,08 – цинка, 0,01 – молибдена, до 5,0 – гуматов, до 35,0 % органических веществ.

«Корневая смесь» повышает плодородие и улучшает структуру почвы, способствует формированию гумусового слоя, обеспечивает благоприятный водно-воздушный режим. Внесение корневой смеси в почву способствует развитию почвенных микроорганизмов. «Корневая смесь» обладает слабым раскисляющим действием и не засоляет почву. В отличие от минеральных удобрений, коэффициент использования питательных веществ из «Корневой смеси» составляет 93–95 %. Удобрение обладает длительным действием и имеет гибкие сроки применения.

Если необходимо обеспечить длительное действие (6–8 месяцев), удобрение применяют в сухом виде из расчета 5 г/растение. Корневая смесь при этом равномерно распределяется по поверхности почвы. Перемешивания с почвой не требуется. Для быстрого действия (результат будет замечен через 3–5 дней) 7 г

удобрения растворяются в 1 л воды, настаиваются в течение 3–5 дней, после чего производится полив из расчета 0,1–0,2 л раствора под растение.

Корнепитатель КП-5; Корнепитатель КП-100 обеспечивают непрерывную контролируемую подачу веществ, необходимых для питания растений, что является одним из важных условий нормального их роста и развития. КП-5 представляет собой устройство в виде пакета-мембраны, площадью 20 см², заполненное питательной смесью, которая содержит: азот, фосфор, калий, магний, цинк, бор, марганец, молибден, железо, медь, гуматы, органические вещества.

Корнепитатель КП-5 дозирует элементы питания в зону корневой системы через корпус-оболочку, т. е. полупроницаемую мембрану постепенно, мягко воздействуя на корневую систему, не допуская повышения концентрации почвенного раствора, которое характерно для традиционных способов подкормки. Мембрана регулирует скорость подачи и количество выделяемых корнепитателем элементов питания в соответствии с потребностью растений и условиями внешней среды.

Пакет-мембрана с питательной смесью КП-5 исключает передозировку и вымывание питательных веществ, что обеспечивает эффективность действия корнепитателя в течение 1,5–2 лет без дополнительных подкормок. КП-5, обеспечивая локальное непрерывное поступление питательных веществ, способствует формированию растениями мощной корневой системы, улучшает приживаемость саженцев, повышает иммунитет растений к болезням, стойкость к неблагоприятным температурным перепадам. Технология применения КП-5 проста: достаточно поместить его, в соответствии с инструкцией, в зону корневой системы растения.

Корнепитатель КП-100 является аналогом КП-5, но отличается от него большим объемом.

Кристалон – водорастворимое удобрение. Наиболее распространены из этой серии являются:

Кристалон «Кристал-К» – универсальное удобрение для улучшения качества плодов; содержит 13,5 % азота и 46 % калия.

«Кристалон желтый» – содержит 13 % азота, 40 – фосфора, 13 – калия, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,024 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка. Рекомендуется для стимулирования развития корневой системы.

«Кристалон голубой» – рекомендуется для рассады и подкормки вегетирующих растений до начала фазы цветения. Содержит 19 % азота, 6 – фосфора, 20 – калия, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

«Кристалон белый» – рекомендуется для усиления цветения и завязи плодов. Содержит 15 % азота, 5 – фосфора, 30 – калия, 3 – магния, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

«Кристалон красный» – рекомендуется для усиления плодообразования. Содержит 12 % азота, 12 – фосфора, 36 – калия, 1 – магния, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

«Кристалон особый» – рекомендуется для развития вегетативной массы. Содержит 18 % азота, 18 – фосфора, 18 – калия, 3 – магния, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

«Кристалон сиреневый» – рекомендуется для применения на почвах с высоким содержанием калия. Содержит 20 % азота, 8 – фосфора, 8 – калия, 2 – магния, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

«Кристалон коричневый» – применяется в сочетании с кальциевой селитрой для приготовления сбалансированных питательных растворов, которые вносятся при выращивании растений в закрытом грунте на инертных субстратах (минеральной вате, торфе, песчанике, питательной пленке). Содержит 3 % азота, 11 – фосфора, 38 – калия, 4 – магния, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

«Кристалон оранжевый» – рекомендуется для плодовых культур, арбузов и других растений, когда высокое содержание азота нежелательно, например, во время созревания. Содержит 6 % азота, 12 – фосфора, 36 – калия, 3 – магния, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

«Кристалон лазурный» – специальная форма для медленно растущих декоративных растений. Применяется также для удобрения рассады, ягод и растений, выращиваемых в контейнерах. Содержит 20 % азота, 8 – фосфора, 8 – калия, 2 – магния, 0,07 – железа, 0,025 – бора, 0,04 – марганца, 0,004 – молибдена, 0,01 – меди, 0,025 % цинка.

Подкормка Кристалоном совмещается с поливом цветочных растений 1–2 раза, овощных и плодово-ягодных культур – 2–4 раза в месяц; расход 20 г/1 л воды.

При выборе видов Кристалона необходимо обращать внимание на особенности удобряемых растений. Для декоративно-лиственных растений важно либо преобладание азота над фосфором и калием, либо равенство пропорции, тогда как для остальных растений ситуация обратная. Цветущие и плодоносящие растения нуждаются в первую очередь в фосфоре и калии, т. к. эти элементы стимулируют образование цветочных почек и семян, а также обеспечивают хорошую окраску цветов, быстрое созревание семян и плодов. Поэтому, внесение удобрений с высоким содержанием фосфора и калия особенно важно перед цветением. Для этого перед наступлением фазы цветения растений рекомендуется использовать смесь Кристалонов желтого и красного, а после цветения – Кристалон белый и особый.

Мастер – растворимое микрокристаллическое удобрение. Благодаря своей способности полностью растворяться, «Мастер» может использоваться в самых сложных ирригационных системах и для некорневых подкормок. Удобрение содержит микроэлементы в хелатной форме ЭДТА (Zn, Cu, Mn, Fe). Каждый вид удобрения выкрашен в свой цвет. В отличие от других аналогичных продуктов, в которых хелатные соединения ЭДТА и ДТПА имеют устойчивость в диапазоне pH от 3 до 5,5, хелаты, используемые в «Мастере», устойчивы в более широком диапазоне значения pH от 3 до 11 (табл. 90).

Фертигация производится 0,5–1,5 кг удобрения на 1000 м² в день. В случае, если она не производится ежедневно, доза увеличивается пропорционально количеству пропущенных дней.

Питательные комплексы «Мастер» (NPK + Mg + микроэлементы) отличаются от аналогов более высокой степенью химической чистоты и растворимости, что является решающим фактором эффективности некорневых подкормок. Применяются для коррекции минерального питания растений и повышения урожайности и качества. Вносятся они совместно с пестицидами, не требуя дополнительных затрат. При внесении их с гербицидами снижается стрессовое воздействие последних на культурные растения, не влияя на эффективность подавления сорняков.

Таблица 90 – Состав и физические свойства удобрений «Мастер»

| NPK +Mg | Содержание элементов питания, % д.в. | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|----------|
| | 18.18.18+3 | 13.40.13 | 3.11.38+4 | 15.5.30+2 | 17.6.18 | 9.0.46 | 10.18.32 |
| N _{общ.} | 18,0 | 13,0 | 3,0 | 15,0 | 17,0 | 9,0 | 10,0 |
| N _{нитр.} | 4,9 | 3,8 | 3,0 | 8,4 | 5,0 | 9,0 | 6,5 |
| N _{аммон.} | 3,3 | 9,2 | – | 3,6 | 12,0 | – | 3,5 |
| N _{амид.} | 9,8 | – | – | 3,0 | – | – | – |
| P ₂ O ₅ | 18,0 | 40,0 | 11,0 | 5,0 | 6,0 | – | 18,0 |
| K ₂ O | 18,0 | 13,0 | 38,0 | 30,0 | 18,0 | 46,0 | 32,0 |
| MgO | 3,0 | – | 4,0 | 2,0 | – | – | – |
| SO ₃ | 4,0 | 1,5 | 10,0 | 11,0 | 29,0 | 10,0 | 8,0 |
| B | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Fe | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| Mn | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Zn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Cu | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Mo | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| Внешний вид | порошок | порошок | порошок | порошок | порошок | порошок | порошок |
| Цвет | голубой | оранжевый | белый | красный | зеленый | белый | белый |
| Плотность, г/см | 0,77 | 1,11 | 1,22 | 0,84 | 0,98 | 1,33 | 1,1 |
| pH (1 % водный р-р) | 4,5 | 4,7 | 3,1 | 5,6 | 5,2 | 3,5 | 4,0 |
| Растворимость, г/100сс | 55 | 48 | 10 | 30 | 47 | 20 | 15 |
| Влажность, % | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,2 |

Микрасса – универсальное микроудобрение для обработки семян и посадочного материала, подкормки в период вегетации цветочно-декоративных растений, газонов, овощных и плодово-ягодных культур.

Микроудобрение Микрасса производится на основе чистых солей микроэлементов (бор, медь, цинк, молибден, кобальт, марганец, иод) без наполнителей. Препарат одновременно стимулирует и обеззараживает семена, питает проростки микроэлементами и предотвращает их гибель от корневых гнилей на ранних стадиях развития. Выпускается в таблетках, что исключает передозировку и позволяет готовить слабоконцентрированные растворы, из которых микроэлементы легче и быстрее проникают внутрь клеток через оболочку семян и листовую поверхность и полностью усваиваются растениями, не вызывая ожогов.

Семена замачивают в Микрассе (1 таблетка или 0,2 г на 0,5 л воды) в течение 12 ч и высевают, не подсушивая. Для мелких семян замачивание заменяется мелкодисперсным поливом сразу же после посева до мульчирования. Некорневые подкормки рассады (1 таблетка или 0,2 г на 2–10 л воды) проводятся дважды: первый раз в фазе 1–2 настоящих листьев, второй – за неделю до высадки рассады на постоянное место.

Микрассу можно применять и в качестве добавки к азотным, фосфорным, калийным удобрениям, гуматам и стимуляторам роста (гетероауксину), а также антистрессовым препаратам (эпину, иммуноцифиту). Это повышает усвояемость растениями макроэлементов из удобрений.

Тенсо-коктейль – содержит полный набор микроэлементов. Поставщиком этого удобрения является норвежская фирма «Норск-Гидро». Используется оно

для некорневых подкормок в период вегетации растений. Применяют его 3 раза за период вегетации, обеспечивая сбалансированное питание растений микроэлементами.

МикроМикс – минеральное удобрение. Наиболее распространенными из этой серии являются «МикроМикс-овощи», «МикроМикс-люкс», «МикроМикс-универсал», «МикроМикс-газон».

«МикроМикс-универсал» – предназначен для подкормки рассады, овощных, плодовых, ягодных и цветочных культур в открытом и закрытом грунтах. Содержит 18 % азота, 18 – фосфора, 18 – калия, 2 % магния; микроэлементы: Fe, Mn, Cu, Co, B, Mo, Zn.

Применяют из расчета 20 г удобрения на 10 л воды. Этим раствором подкармливают растения путем полива или опрыскивания: овощные 1 раз в неделю, спустя 2 недели после посадки рассады в грунт, плодовые и ягодные культуры – 2–3 раза за сезон: рано весной, в фазу зеленой завязи и при необходимости через 2 недели после 2-й подкормки, цветочные и декоративные культуры – однолетние 1 раз в 10–15 дней; многолетние 2–3 раза за сезон: рано весной, в фазу бутонизации и после цветения.

«МикроМикс-люкс» – предназначен для подкормки рассады овощных, ягодных и цветочных культур, а также декоративных деревьев, кустарников и многолетних цветочных культур. Содержит 12 % азота, 35 – фосфора, 12 – калия, 2 % магния; микроэлементы: Fe, Mn, Cu, Co, B, Mo, Zn.

Применяют водный раствор – 20 г удобрения на 10 л воды, которым подкармливают растения один раз в неделю путем полива под корень, через системы капельного полива или опрыскивания. Нормы расхода рабочего раствора – общепринятые.

«МикроМикс-овощи» – предназначен для подкормки овощных культур. Содержит 9 % азота, 15 – фосфора, 30 – калия, 2 % магния; микроэлементы: Fe, Mn, Cu, Zn, B, Co, Mo.

Способ применения: 20 г удобрения растворяют в 10 л воды. Этим раствором подкармливают растения путем полива: томаты, перцы, огурцы – 1 раз в неделю, начиная через 10–15 дней после высадки рассады в грунт; лук – 2–3 раза за вегетацию; морковь свеклу, сельдерей 2 раза через 10–15 дней после прореживания, в фазу 3–4 пар настоящих листьев (начало формирования корнеплода); картофель – 1–2 раза (через 2 недели после появления всходов и в фазе бутонизации).

«МикроМикс-газон» – предназначен для подкормки газонов, спортивных кортов, лужаек и поддержания травостоя в здоровом состоянии. Содержит 20 % азота, 5 – фосфора, 20 – калия, 3 % магния; микроэлементы Fe, Mn, Cu, Co, B, Mo, Zn.

Растворяют 20 г удобрения в 10 л воды и поливают газоны: 1 раз рано весной, затем после каждого скашивания травостоя. Подкормки проводить до середины августа.

Мульти-NPK – хорошо растворимое в воде удобрение. Выпускается в кристаллическом и гранулированном виде фирмой «Хайфа Кемикалз» (Израиль). Содержит 12 % азота, 2 – фосфора и 44 % калия. Используется как для основного внесения в почву, так и для некорневых подкормок вегетирующих растений.

Пикса. Суперкомпост пикса содержит 3,5–5,6 % азота, 2,1–4,1 – фосфора, и 2,0–3,2 % калия. Торф и помет, используемый для его приготовления, подвергнуты биотермическому обеззараживанию, что практически полностью исключает попадание в суперкомпост Пикса бактериальных инфекций.

Пикса рекомендуется для внесения в почву в качестве основного удобрения перед посадкой и в качестве подкормки комнатных цветов, овощ-

ных, плодовых и ягодных культур. Основное удобрение вносят равномерно на поверхность почвы и заделывают его на глубину максимального распространения корневой системы. Норма 5–10 кг на 100 м². На торфяных почвах вместе с суперкомпостом Пиксой рекомендуется добавлять почву более тяжелого гранулометрического состава в равном количестве или 10–20 % от рекомендуемой нормы минеральные удобрения.

Припосевное удобрение вносится в почву с последующим перемешиванием и заделкой: овощные – в лунки по 10–15 г, в рядки 25–50 г на погонный метр; плодовые в посадочные ямы 0,5–0,7 кг.

Для использования в качестве подкормки предварительно готовят рабочий раствор: разводят 400–500 г удобрений на 8–10 л воды. Подкормка овощных культур производится 3–5 раз за вегетационный период – 0,5–0,75 л раствора на растение; плодовых – 10–20 л на дерево 3–4 раза за сезон. Для подкормки комнатных цветов и выращивания рассады суперкомпост Пикса можно использовать в качестве подкормки как в сухом, так и жидком виде. При жидкой подкормке цветов используют 20 г удобрения на 0,5 л воды. Расход раствора удобрения 150–200 мл/растение. Можно вносить поверхностно 5–10 г удобрения на 1 кг почвы с обязательной последующей заделкой и поливом.

Покон. Поставщиком удобрений серии «Покон» на российский потребительский рынок является фирма «Покон-Крисал» (Голландия). Ассортимент выпускаемой фирмой продукции включает:

Удобрение для балконных и террасных растений с содержанием 18 % азота, 6 – фосфора, 12 – калия, 0,04 – железа, 0,02 – бора, 0,02 – марганца, 0,002 – молибдена, 0,004 – меди, 0,004 % цинка. Норма расхода 300 г удобрения на 75 л горшечного грунта.

Удобрение для садовых растений с содержанием 18 % азота, 6 – фосфора, 12 – калия, 0,02 – бора, 0,004 – меди, 0,04 – железа, 0,02 – марганца, 0,002 – молибдена, 0,004 % цинка. Норма расхода 1 кг на 40 м².

Суперудобрение длительного действия для хвойных растений. Содержит 19 % азота, 6 – фосфора, 21 – калия, 3 % магния. Норма расхода 1 кг на 57 растений или на 20 м².

Суперудобрение длительного действия для роз. Содержит 20 % азота, 17 – фосфора, 17 % калия. Норма расхода 1 кг на 20 м².

Удобрение для газона с содержанием 20–30 % азота, 5–8 – фосфора, 7–8 % калия, 4 % магния. Норма расхода 1 кг на 50 м².

Удобрение для рододендронов и гортензий. Содержит 19 % азота, 6 – фосфора, 26 % калия. Норма – 35–40 г на 1 растение.

Удобрение для комнатных растений. Содержит 17 % азота, 7 – фосфора, 13 – калия, 0,02 – бора, 0,004 – меди, 0,04 – железа, 0,02 – марганца, 0,002 – молибдена, 0,004 % цинка. Норма расхода 300 г удобрения на 75 л горшечного грунта.

Удобрение для роз. Содержит 9 % азота, 9 – фосфора, 9 – калия, 3 % магния. Норма расхода 1 кг на 20 м².

Удобрение для томатов с содержанием 8 % азота, 5 – фосфора, 8 – калия, 10 % магния. Норма расхода 1 кг на 15 м².

Удобрение для клубники с содержанием 4 % азота, 6 – фосфора, 12 – калия, 8 магния. Норма расхода 1 кг на 25 м².

Удобрение для хвойных растений со средством от потемнения. Содержит 5 % азота, 9 – фосфора, 16 – калия, 4 – магния + 15 % английской соли. Норма внесения – 0,9 кг удобрения и 0,1 кг средства от потемнения на 1 дерево.

Удобрение для горшечных растений «Экстра». Содержит 8 % азота, 3 – фосфора, 5 – калия, 0,02 – бора, 0,004 – меди, 0,04 – железа, 0,02 – марганца, 0,002 – молибдена, 0,004 % цинка. Норма расхода 300 г удобрения на 75 л горшечного грунта.

Удобрение для цветущих растений «Экстра». Содержит 5 % азота, 5 – фосфора, 7 – калия, 0,02 – бора, 0,004 – меди, 0,04 – железа, 0,020 – марганца, 0,002 – молибдена, 0,004 % цинка. Норма расхода 10 мл на ½ л воды.

Растворин – типичное сложно-смешанное удобрение отечественного производства. Выпускает Буйский химический завод (Костромская область). Рекомендуется для основного внесения, корневых и некорневых подкормок под плодово-ягодные культуры, цветочные растения и рассаду. Его можно использовать как в открытом, так и защищенном грунте. Выпускают несколько марок «Растворина». Из них наиболее распространены: марка А, марка Б и марка В. Соотношение в марке А – N:P₂O₅:K₂O:MgO = 10:5:20:6; марке Б – 18:6:18:0; марке В – 18:18:18:0. Все марки «Растворина» содержат необходимый для жизнедеятельности растений набор микроэлементов, хорошо растворяются в воде и не содержат вредных примесей. Однако, это удобрение вызывает слабое подкисление почвы.

В начале вегетации, когда растения для нарастания вегетативных органов требуют повышенное количество азота, лучше применять удобрения марки Б. В период вегетации в качестве подкормок можно использовать марку А, а на бедных фосфором почвах марку В.

Рисовое – органо-минеральное удобрение на основе низинного торфа. Содержит 7,8 % азота, 10,9 – фосфора, 8,4 – калия, 1,4 – магния, 0,8 – цинка, 0,05 % молибдена. Изготовитель – Буйский химический завод (Россия, Костромская область) Ориентировочная норма внесения под рис 200–250 кг/га.

Рязаночка – водорастворимое удобрение для ягодных культур. Содержит 15 % азота, 7,5 – фосфора, 7,5 – калия, 1,9 – магния, 2,1 – марганца, 1,5 – цинка, 0,04 – кобальта, 0,25 – меди, 0,04 – молибдена, 1,5 % бора.

Способ применения: корневая и некорневая подкормки. Для корневой подкормки готовят рабочий раствор – 4 г удобрения на 10 л воды. Первую подкормку проводят в начале вегетации растений (2–4 л/2–3 м²), вторую – в период бутонизации – начало цветения (3 л/2–3 м²), третью – в фазе плодоношения (3–5 л/2–3 м²). Некорневую подкормку растений производят водным раствором, содержащим 2 г/10 л воды.

Свентовит-БИО – представляет собой экстракт лекарственных трав (одуванчик лекарственный, ромашка лекарственная, валериана, тысячелистник, корень лопуха, шалфей, лаванда, крапива). Удобрение содержит 4,5 % азота, 1,5 – фосфора, 4,5 % калия, железо, натрий, магний и микроэлементы. В состав удобрения входят также протеины, аминокислоты, витамины и регулятор роста – гибберсиб. Подбор трав сделан с учетом их действия на растения. Ромашка, тысячелистник и лаванда обладают инсектицидными свойствами. Крапива, шалфей и тысячелистник содержат большое количество витаминов (А, В и К), оказывающих благоприятное влияние на процессы жизнедеятельности. Корень лопуха содержит гликозиды, витамины и минераль-

ные кислоты, обладает сильными адаптационными свойствами и способен повышать иммунитет растений в неблагоприятных условиях.

По своей сути, «Свентовит-БИО» является одновременно и быстродействующим удобрением, и биологически активным веществом, влияющим на физиолого-биохимические процессы жизнедеятельности растений. Предназначено оно для корневых и некорневых подкормок овощных, ягодных культур, цветочных и декоративных растений в качестве комплексного удобрения и стимулятора роста. Способствует сбалансированному минеральному питанию, улучшает декоративные качества, активизирует рост растений, обеспечивает защиту от вредителей и болезней, повышает адаптационные свойства.

«Свентовит-БИО» применяется для полива в период вегетации и для некорневых подкормок растений. Применение его для декоративных культур способствует более раннему цветению, повышению размера, количества и качества цветков, интенсивности их окраски.

Во время интенсивного роста комнатные растения нуждаются в регулярных подкормках один раз в 10–12 дней. Причем, более благоприятными считаются частые регулярные подкормки слабыми растворами удобрений. Для полива почвы рекомендуется применять 0,5 % концентрацию «Свентовит-БИО». Наряду с корневыми подкормками можно произвести несколько некорневых подкормок, опрыскивая листовую поверхность растений 0,3 % раствором этого препарата. Для выгонки луковичных культур почву под ними рекомендуется поливать препаратом «Свентовит-БИО» в концентрации 1,2 %. Это связано с тем, что при недостатке питания цветоносы у них становятся низкими, масса листьев небольшой, а цветы получаются мелкими, причем сильно укорачивается период цветения.

Сударушка – водорастворимое минеральное удобрение для овощных культур. Содержит 15 % азота, 7,5 – фосфора, 7,5 – калия, 1,9 – магния, 2,1 – марганца, 1,5 – цинка, 0,04 – кобальта, 0,25 – меди, 0,04 – молибдена, 1,5 % бора.

Рекомендовано для подкормки овощных культур. Способы применения – корневая подкормка, путем полива раствором 4 г/10 л воды. При подкормке в период активного вегетативного роста растений расход 1–2 л/м², бутонизации – 2–3 л/м²; формирования плодов – 2–3 л/м². Некорневую подкормку растений осуществляют опрыскиванием раствором, содержащим 2 г удобрения в 10 л воды, 2–3 раза за вегетационный период.

Удобрения фирмы «КОМПО». *Басфолиар Комби-Стипп* – азотно-кальциевое удобрение, предназначенное для некорневой подкормки растений. Удобрение препятствует распространению таких заболеваний, как горькая ямчатость (подкожная пятнистость) плодов и пятнистость листьев яблонь. Содержит: N – 9 %; Ca – 10,7; B – 0,2; Mn – 0,4; Zn – 0,01 %. Марганец и цинк находятся в виде хелатных соединений.

Фетрилон Комби-1 – водорастворимое удобрение, используется для компенсации недостатка микроэлементов у полевых и плодово-овощных культур. Содержит: Fe – 4,0 %; Cu – 1,5; MgO – 9; Mn – 4,0; Zn – 1,5; B – 0,5 и Mo – 0,15 %. Железо, медь, марганец и цинк находятся в виде хелатных соединений. Благодаря высокому содержанию железа это удобрение используется для борьбы с хлорозом растений. Применяется путем некорневых подкормок.

Нитрофоска Фолиар – комплексное удобрение в жидкой форме, применяется в полеводстве, садоводстве для некорневой подкормки растений в период

их вегетативного роста. Особенно эффективно это удобрение в садоводстве. Содержит: N – 10,0 %; P – 4,0; K – 7,0; MgO – 0,02; S – 0,7; Mn – 0,01; Fe – 0,02; Zn – 0,002; B – 0,01 и Mo – 0,001 %. Микроэлементы находятся в хелатированной форме.

Нитрофоска Солуб – концентрированное легко растворимое минеральное удобрение с различным содержанием NPK (15–10–15 и 8–12–24). Оно содержит дополнительно магний, серу и микроэлементы в хелатированной форме. Хлор содержится в незначительных количествах (< 1 %). Нитрофоска Солуб, как и Нитрофоска Фолиар, не заменяет основного удобрения почвы, а является дополнительной эффективной мерой для стимулирования обмена веществ и компенсации недостатка макро- и микроэлементов на отдельных этапах вегетации растений, особенно до и после цветения растений.

Нитрофоска Солуб (8–12–24) содержит: N – 8,0 %; P – 12,0; K – 24,0; Mg – 4,0; S – 12,0; Fe – 0,05; B – 0,011; Cu – 0,019; Mn – 0,055; Zn – 0,0195; Mo – 0,001 %.

Нитрофоска Солуб (15–10–15) содержит: N – 15,0 %; P – 10,0; K – 15,0; Mg – 2; Fe – 0,05; B – 0,011; Cu – 0,019; Mn – 0,055; Zn – 0,019; Mo – 0,001 %.

Хортисул – растворимое калийное удобрение на сульфатной основе с низким содержанием хлора. Используется для некорневой подкормки всех сельскохозяйственных культур, с целью их обеспечения калием, главным образом, до и во время цветения, когда растения испытывают небольшую потребность в нем, а также при засухе, когда отмечается ограниченное поступление калия из почвы. Хортисул содержит: K – 52,0 % и S – 18,0 %.

Удобрения фирмы «ФАСКО». *Бордо* – высокоэффективное азотно-фосфорно-калийное удобрение, предназначенное специально для выращивания столовой свеклы. Содержит: 13 % азота, 16 – фосфора, 18 % калия, магний, натрий, серу, бор.

Газон – специально разработанное комплексное удобрение для газонов, спортивных травянистых полей, кортов, лугов. Содержит: 20 % азота, 10 – фосфора, 10 % калия. Применяется при подготовке почв к закладке газонов, для подкормки газонов в период вегетации растений.

Для луковичных (лук и чеснок) – удобрение, предназначенное специально для выращивания луковичных растений. Содержит: 7 % азота, 9 – фосфора, 12 – калия, 3 % магния. Применяется в качестве основного удобрения, подкормок и при подготовке почвы к высадке растений.

Для хвойных растений – специально разработанное высокоэффективное удобрение для ухода за хвойными деревьями (можжевельник, туя, ель, сосна, кипарис). Содержит: 10–17 % азота, 8–20 – фосфора, 20–22 – калия, 1 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка. Удобрение также может использоваться для подкормки других декоративных культур: бересклет, кизильник, чубушник, рододендрон и др. Применяется в качестве основного удобрения при подготовке почвы к высадке растений и для проведения прикорневых подкормок.

Зелень – высокоэффективное азотно-фосфорно-калийное удобрение, предназначенное специально для выращивания зеленных культур: салата, укропа, кинзы, огуречной травы, петрушки, сельдерея, лука и чеснока. Содержит: 7 % азота, 7 – фосфора, 8 – калия, 2 % магния.

Кабачок – азотно-фосфорно-калийное удобрение, предназначенное специально для выращивания кабачков, патиссонов и других тыквенных растений. Содержит: 9 % азота, 13 – фосфора, 15 – калия, 3 % магний.

Капуста – азотно-фосфорно-калийное удобрение, предназначенное специально для выращивания капусты. Содержит: 11 % азота, 12 – фосфора, 12 – калия, 3 % магния.

Картофель – азотно-фосфорно-калийное удобрение, предназначенное специально для выращивания картофеля. Содержит 13 % азота, 19 – фосфора, 19 % калия. Применяется это удобрение под основную обработку почвы, при посадке и прикорневых подкормках.

Морковь – азотно-фосфорно-калийное удобрение, предназначенное специально для выращивания моркови. Содержит: 14 % азота, 15 – фосфора, 18 % калия, кроме того, в удобрение входят магний, натрий, хлор.

Рододендрон – смешанное органико-минеральное гранулированное удобрение, содержащее 7 % азота, 7 – фосфора, 8 – калия, 3 % магния. Применяется в качестве основного удобрения при посадке многолетних цветочно-декоративных культур, предпочитающих кислые почвы, и для подкормок в период их вегетации растений.

Глория – водорастворимое удобрение, разработанное специально для подкормки цветущих и декоративных кустарников роз, сирени, чубушника, калины. Содержит 7–14 % азота, 7–11 – фосфора, 8–24 – калия, 1–3 – магния, 1 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Для гортензии – водорастворимое удобрение, содержащее сбалансированный набор питательных элементов, необходимых для полноценного роста и развития гортензий, как в комнатных условиях, так и в открытом грунте. Содержит 14 % азота, 11 – фосфора, 24 – калия, 1 – магния, 1 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Для декоративно-лиственных культур – водорастворимое удобрение, содержащее сбалансированный набор элементов питания, предназначено для некорневой подкормки растений, выращиваемых как в защищенном, так и в открытом грунтах. Содержит 17 % азота, 17 – фосфора, 17 – калия, 1 – магния, 1 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Клубника – водорастворимое удобрение, предназначенное для основного внесения и подкормок земляники, клубники и других ягодных культур. Содержит 17–20 % азота, 10–17 – фосфора, 10–17 – калия, 1 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Крепыш – водорастворимое удобрение, специально разработанное для выращивания рассады овощных и цветочно-декоративных культур. Содержит 17 % азота, 8 – фосфора, 22 – калия, 1 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Мальшюк – водорастворимое удобрение, содержащее все элементы питания, необходимые для выращивания томатов, перцев и баклажанов. Содержит 11–14 % азота, 6–15 – фосфора, 15–29 – калия, 1 – магния, 1 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,001 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Оазис – водорастворимое удобрение, специально разработанное для пальм, драцен, фикусов, фатсий и монстер. Содержит 6–14 % азота, 4–11 – фосфора, 7–24 – калия, 1 – магния, 1 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Растворин – водорастворимое удобрение, предназначенное для подкормки рассады, овощных, плодово-ягодных, цветочно-декоративных культур в открытом и защищенном грунтах. Содержит 17 % азота, 17 – фосфора, 17 – калия, 1 – магния, 1 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,001 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Родничок – водорастворимое комплексное удобрение, содержащее необходимые элементы питания для выращивания огурцов. Содержит 8–9 % азота, 13–20 – фосфора, 15–25 – калия, 1 – магния, 1 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,001 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Цветочное – водорастворимое удобрение, содержащее сбалансированный набор питательных элементов, необходимых для роста и развития однолетних и многолетних цветочных культур, а также декоративных цветущих кустарников, выращиваемых на любых типах почв. Содержит 7–12 % азота, 6–7 – фосфора, 8–29 – калия, 1–3 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Цветы – водорастворимое удобрение, содержащее сбалансированный набор питательных веществ. Содержит 17 % азота, 17 – фосфора, 17 – калия, 1 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Весеннее – водорастворимое удобрение, специально разработанное для подкормки овощных, плодово-ягодных и цветочно-декоративных культур в начале вегетативного периода. Содержит: 20 % азота, 10 – фосфора, 10 % калия.

Летнее – удобрение, специально разработанное для подкормки овощных, плодово-ягодных и цветочно-декоративных культур в летний период. Содержит 13 % азота, 16 – фосфора, 18 % калия, + магний.

Осеннее – удобрение, специально разработанное для подкормки растений в конце вегетативного периода, что особенно важно для многолетних культур. Содержит 5 % азота, 15 – фосфора, 35 % калия.

Гомельское удобрение – смешанное азотно-фосфорно-калийное удобрение для применения под все выращиваемые культуры. Содержит 15 % азота, 15 – фосфора, 15 % калия.

Для декоративных кустарников – смешанное органико-минеральное, гранулированное удобрение. Содержит: 7 % азота, 7 – фосфора, 8 – калия, 3 % магния.

Для плодово-ягодных кустарников – высокоэффективное удобрение, специально разработанное для основного внесения при посадке плодово-ягодных деревьев и кустарников, а также для подкормки в период их вегетации. Содержит: 11 % азота, 12 – фосфора, 12 % калия.

Огородная №5 – удобрение, содержащее сбалансированный набор питательных веществ. Содержит 6 % азота, 9 – фосфора, 9 % калия.

Плодово-ягодная №7 – удобрение, специально разработанное для основного внесения при посадке плодово-ягодных деревьев и кустарников, а также для подкормки их в период вегетации. Содержит 8 % азота, 4 – фосфора, 13 – калия, 0,5 – магния, микроэлементы.

Предпосадочная №1 – удобрение, специально разработанное для подготовки почвы к посадке растений. Рекомендуется использовать под плодово-ягодные культуры: яблони, груши, сливы, вишню, малину, смородину, крыжовник, клубнику и землянику, цветы и декоративные растения, овощные

культуры: помидоры, огурцы, картофель, капусту, лук, чеснок, петрушку, хрен, спаржу, сельдерей и др. Содержит 12 % азота, 6 – фосфора, 6 % калия.

Смесь по Миттлайдеру № 1 – предназначена в качестве составной части предпосадочного удобрения при выращивании культур по методу доктора Миттлайдера. Смесь №1 можно использовать также, как бор-кальциевое удобрение в традиционном выращивании садово-огородных культур. Содержит 55 % кальция, 0,14 % бора.

Смесь по Миттлайдеру №2 – предназначена для подкормок при выращивании культур по методу доктора Миттлайдера и как составная часть предпосевного удобрения (к смеси №1). Содержит 14,9 % азота, 8,1 – фосфора, 14,9 – калия, 3 % магния, кроме того, бор, молибден.

Урожай Super – концентрированное универсальное удобрение. Содержит 9 % азота, 13 – фосфора, 15 – калия, 3 % магния.

Для бегоний – концентрированное жидкое удобрение, содержащее сбалансированный набор элементов питания, необходимых для роста и развития как цветущих, так и декоративно-лиственных бегоний. Содержит 4 % азота, 3 – фосфора, 15 – калия, 1 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Тропик – концентрированное жидкое удобрение, содержащее сбалансированный набор элементов питания, необходимых для роста и развития кактусов и суккулентов. Содержит 4–8 % азота, 3–20 – фосфора, 6–52 – калия, 1 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Эффект весна – высококонцентрированное жидкое удобрение, содержащее сбалансированный набор элементов питания, необходимых для роста и развития растений овощных и плодово-ягодных культур, выращиваемых как в защищенном, так и в открытом грунтах. Содержит 10 % азота, 5 – фосфора, 5 – калия, 0,1 – магния, 0,1 – серы, 0,005 – бора, 0,01 – меди, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Эффект лето – высококонцентрированное жидкое удобрение, содержащее сбалансированный набор элементов питания, необходимых для роста и плодоношения овощных и плодово-ягодных культур, выращиваемых как в защищенном, так и в открытом грунтах. Содержит 5 % азота, 10 – фосфора, 5 – калия, 1 – магния, 2 – серы, 0,01 – бора, 0,003 – меди, 0,02 – железа, 0,01 – марганца, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Эффект осень – высококонцентрированное универсальное удобрение, подготовленное специально для подкормки многолетних растений в конце вегетативного периода. Содержит 2 % азота, 7 – фосфора, 7 – калия, 0,1 – магния, 0,1 – серы, 0,005 – бора, 0,01 – меди, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка.

Эффект цветочный – высококонцентрированное жидкое удобрение. Содержит 5 % азота, 10 – фосфора, 5 – калия, 0,1 – магния, 0,1 – серы, 0,005 – бора, 0,01 – меди, 0,001 – молибдена, 0,01 % цинка. Используется для подкормки всех комнатных растений, в т. ч. бегоний, азалий, сенполий, роз, жасминов, папоротников, цитрусовых, пальм и других тропических и субтропических культур. Допустимо использовать для подкормки плодово-ягодных культур.

Универсал – органо-минеральное гранулированное удобрение на основе нейтрализованного аммонийного низинного торфа (40 %). Изготовитель – Буйский химический завод (Россия, Костромская область). Содержит 7 %

азота, 7 – фосфора, 8 – калия, 1,5 % магния и микроэлементы. Предназначено для полноценного питания цветочно-декоративных растений, овощных и плодово-ягодных культур открытого и защищенного грунтов, а также для выращивания рассады. «Универсал» не содержит хлора и свободных нитрат-ионов. Применение этого удобрения не вызывает подкисления почвы, способствует улучшению ее физических свойств, увеличивает содержание гуминовых кислот. Применяется в качестве основного и припосевного (припосадочного) удобрения, а также для подкормки в период вегетации растений.

Для основного внесения под обработку почвы норма 100 г/м^2 на окультуренных и 150 г/м^2 на неокультуренных почвах; под плодовые деревья – 90 г/м^2 приствольного круга с последующим рыхлением; под ягодные кустарники при рыхлении почвы вносить 60 г/м^2 ; при посадке картофеля и высадке рассады – 20 г в лунку; под многолетние цветочные растения – 80–100 г на посадочную яму. При подкормках: под картофель и овощи – 30 г/м^2 с последующим рыхлением и поливом; под цветочно-декоративные растения – 50 г/м^2 с последующим рыхлением; землянику подкармливают ранней весной и после сбора урожая – 30 г на погонный метр рядка. При составлении субстрата (грунта) для выращивания рассады цветочно-декоративных растений и овощных культур удобрение перемешивается с песком, торфом, почвой и остальными компонентами. Норма расхода 10 г на 1 кг субстрата. В парниках и теплицах: ранней весной (или зимой) при подготовке грунтов (перекопка и рыхление) вносить 15 г/м^2 .

Унифлор. Из серии удобрений торговой марки «Унифлор» следует отметить следующие: «Унифлор-рост», «Унифлор-бутон» «Унифлор-кактус», «Унифлор-микро», «Унифлор-микро-Profit». В состав этих удобрений входят две группы элементов. Группа А, помимо необходимых растениям макроэлементов, содержит в своем составе железо, марганец, бор, цинк, медь, молибден, кобальт, иод и хром. Группа В, помимо названных микроэлементов, включает в свой состав никель, ванадий, литий, селен, титан, вольфрам, бром, натрий и рубидий.

«Унифлор-рост». Минеральное удобрение для комнатных растений и рассады. Содержит 70 г/л азота, 26 – фосфора, 70 – калия, 5 – магния, 6,6 г/л – серы; 533 мг/л – железа, 310 – натрия, 133 – марганца, 100 – бора, 30 – цинка, 27 – меди, 12 – молибдена, 8 – кобальта, 6,7 – иода, 3,3 – никеля, 2,0 – ванадия, 2,0 – лития, 1,9 – хрома, 1,6 – селена, 1,3 – вольфрама, 1,0 – брома, 0,7 – алюминия, 0,02 мг/л – рубидия.

«Унифлор-рост» предназначен для подкормки всех комнатных растений и рассады, а также алоэ, пальм и фикусов. Рабочий раствор готовится из расчета 4–5 г на 10 л воды или 5 мл на 1,5–2,0 л воды. Подкормка производится раствором удобрения 1 раз в 10–15 дней из расчета 1 л/м².

«Унифлор-бутон» – минеральное удобрение для комнатных растений и рассады. Содержит 47 г/л азота, 32 – фосфора, 88 – калия, 5 – магния, 6,6 г/л серы; 533 мг/л – железа, 310 – натрия, 133 – марганца, 100 – бора, 30 – цинка, 27 – меди, 12 – молибдена, 8 – кобальта, 6,7 – иода, 3,3 – никеля, 2,0 – ванадия, 2,0 – лития, 1,9 – хрома, 1,6 – селена, 1,3 – вольфрама, 1,0 – брома, 0,7 – алюминия, 0,02 мг/л рубидия. «Унифлор-бутон» предназначен для подкормки комнатных растений в период бутонизации, цветения и плодоношения. Рекомендован для азалий, лимонов, гипеаструмов и других пышноцветущих и плодоносящих видов, а также на последней стадии выращивания рассады овощных культур для полноценной закладки бутонов.

«Унифлор-микро» – минеральное удобрение, предназначенное для применения в открытом грунте, парниках и теплицах для составления полноценных питательных смесей и проведения некорневых подкормок; содержит 25 г/л азота, 15 – магния, 19,8 г/л серы; 3200 мг/л железа, 2400 – натрия, 1600 – марганца, 1200 – бора, 80 – иода, 40 – никеля, 24 – ванадия, 24 – лития, 22 – хрома, 19 – селена, 8 – вольфрама, 12 – брома, 1,8 – алюминия, 0,24 мг/л рубидия. «Унифлор-микро» совместим со всеми удобрениями и может использоваться для приготовления питательных смесей с любыми требуемыми соотношениями азота, фосфора и калия.

«Унифлор-кактус» – минеральное удобрение, специально сбалансированное для выращивания кактусов и других видов суккулентов, содержащее хелатированный кальций для гармоничного развития игл и опушений. Содержит 25 мг/л азота, 31 – фосфора, 77 – калия, 0,7 – магния, 0,9 – серы, 2,7 – кальция; 533 – железа, 310 – натрия, 133 – марганца, 100 – бора, 30 – цинка, 27 – меди, 12 – молибдена, 8 – кобальта, 6,7 – иода, 3,3 – никеля, 2,0 – ванадия, 2,0 – лития, 1,9 – хрома, 1,6 – селена, 1,3 – вольфрама, 1,0 – брома, 0,7 – алюминия, 0,02 мг/л рубидия.

«Унифлор-микро-Prof» содержит 10000 мг/л железа, 2500 – марганца, 1800 – бора, 560 – цинка, 498 – меди, 224 – молибдена, 150 – кобальта, 124 – иода, 62 – никеля, 37 – ванадия, 37 – лития, 35 – хрома, 30 – селена, 25 – вольфрама, 19 – брома, 12 – алюминия, 0,36 мг/л рубидия. Совместим с любыми макроудобрениями; используется для приготовления полноценных питательных смесей с требуемыми параметрами азота, фосфора и калия.

«Унифлор-зеленый лист» – специальное удобрение с высоким содержанием азота и микроэлементов, предназначенное для зеленолистных комнатных растений и обеспечивающее быстрый и качественный рост зеленой массы.

«Унифлор-цветок» – специальное удобрение с высоким содержанием калия и микроэлементов, предназначенное для цветущих комнатных растений и обеспечивающее быстрый рост и обильное цветение.

«Унифлор-пестрый лист» – специальное удобрение с оптимальным содержанием азота, фосфора, калия и микроэлементов, предназначенное для пестролистных комнатных растений и обеспечивающее быстрый рост декоративной листвы.

При внесении в почву смесей макроэлементов в виде простых солей в почвенном растворе происходят химические реакции, приводящие к образованию нерастворимых соединений. В результате этого часть микроэлементов переходит в недоступные для растений формы. Для предотвращения этого процесса микроэлементы, за исключением бора, иода, селена, брома и рубидия, в состав удобрений серии «Унифлор» вводятся в виде хелатов. Это обеспечивает длительный срок хранения питательного раствора, что особенно важно при использовании гидропонных технологий или искусственных грунтов.

Для всех видов удобрений рабочий раствор готовят из расчета 2,5–3 мл препарата на 1 л воды. В период интенсивного роста подкормку производят рабочим раствором 1 раз в 10–15 дней в количестве, необходимом для нормального увлажнения земляного кома, как при обычном поливе. В осенне-зимний период при умеренном росте подкормку проводят реже. Для видов растений, вступающих в состояние покоя (обычно зимой), в этот период подкормки нежелательны. Для открытого грунта норма расхода рабочего раствора 1 л/м². Рабочий раствор удобрения для гидропоники используется в качестве питающего.

Хелафарм. Удобрения серии *Хелафарм* представляет ряд ЕДТА хелатных растворимых элементов в микрогранулах. Различают: Хелафарм кальций (10 %), Хелафарм медь (15 %), Хелафарм железо (13 %), Хелафарм магний (6 %), Хелафарм марганец (13 %), Хелафарм цинк (15 %). Эти удобрения особенно эффективны, когда вносятся в прикорневую зону во время посадки или в почву с помощью капельного полива или дождеванием. Нормы применения зависят от масштабов дефицита, климата, типа почвы и способа внесения (табл. 91, 92).

Таблица 91 – Фертигация удобрениями серии Хелафарм

| Культуры | Хела-фарм кальций | Хела-фарм медь | Хела-фарм железо | Хела-фарм магний | Хела-фарм марганец | Хела-фарм цинк |
|------------------|-------------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|----------------|
| Цитрусовые | | | 25–150 г/раст. | 30–50 г/раст. | 30–100 г/раст. | 30–100 г/раст. |
| Яблони, груши | | | 25–150 г/раст. | 30–50 г/раст. | 30–70 г/раст. | 30–70 г/раст. |
| Виноград, киви | | | 10–25 г/раст. | 10–20 г/раст. | 10–25 г/раст. | 10–25 г/раст. |
| Розы | | | 5–10 г/раст. | 5–10 г/раст. | 10–25 г/раст. | 5–10 г/раст. |
| Полевые культуры | 6–10 кг/га | 6–10 кг/га | 6–10 кг/га | 6–10 кг/га | 6–10 кг/га | 6–10 кг/га |

Таблица 92 – Проведение некорневых подкормок удобрениями серии Хелафарм

| Культуры | Хелафарм кальций | Хела-фарм медь | Хела-фарм железо | Хела-фарм магний | Хела-фарм марганец | Хела-фарм цинк |
|-----------------------|---|----------------|------------------|------------------|--------------------|----------------|
| Цитрусовые | От образования завязи 100 г/гЛ* каждые 15–20 дней | 100 г/гЛ | 100 г/гЛ | 100 г/гЛ | 100 г/гЛ | 100–150 г/гЛ |
| Косточковые | От образования завязи 80–100 г/гЛ каждые 15–20 дней | 80–100 г/гЛ | 80–100 г/гЛ | 80–100 г/гЛ | 70–100 г/гЛ | 80–100 г/гЛ |
| Яблоня, груша | От образования плода 100 г/гЛ каждые 15–20 дней | 100 г/гЛ | 100 г/гЛ | 100 г/гЛ | 100 г/гЛ | 100–130 г/гЛ |
| Виноград, киви | 100 г/гЛ каждые 15–20 дней | 100 г/гЛ | 80–100 г/гЛ | 100 г/гЛ | 70–100 г/гЛ | 80–100 г/гЛ |
| Овощи | 50–80 г/гЛ | 70–100 г/гЛ | 50–100 г/га | 75–100 г/гЛ | 100 г/гЛ | 70–100 г/гЛ |
| Злаковые | | 1–1,5 кг/га | 1 кг/га | 1–1,5 кг/га | 1–2 кг/га | 1–1,5 кг/га |
| Декоративные культуры | | | 50–100 г/га | | | |
| Соя | | 1–1,5 кг/га | | | 1–1,5 кг/га | 1–1,5 кг/га |
| Хлопок | | 1–1,5 кг/га | | | 1–1,5 кг/га | 1–1,5 кг/га |

* гЛ – 100 литров

Цитовит – содержит полный набор элементов питания: общего азота – 30 г/л, фосфора – 5, калия – 25 г/л; микроэлементов: магния – 10 г/л, серы – 40, железа – 35, марганца – 30, бора – 8, цинка и меди по 6, молибдена – 4, кобальта – 2 г/л. Цитовит предназначен для замачивания семян и подкормки растений. Замачивание семян овощных и цветочно-декоративных культур проводят в течение 10–12 ч в рабочем растворе, содержащем 1,5 мл цитовита в 1,5 л воды. Картофель, луковицы овощных культур, луковицы и корневища цветов опрыскивают или погружают в такой же раствор – 1,5 мл/1,5 л воды. Можно проводить некорневую подкормку растений, деревьев и кустарников, опрыскивая раствором микроудобрения: огурцы, томаты – 1 раз, в 2 недели раствором, содержащем – 1,5 мл цитовита в 3 л воды; цветочно-декоративные культуры – 2 раза до фазы бутонизации – 1,5 мл на 1,5 л воды; земляника – после схода снега и в период бутонизации – 1,5 мл на 1,5 л воды; плодово-ягодные деревья и кустарники в период бутонизации, после образования завязей и после сбора урожая раствором, содержащим 1,5 мл цитовита в 1,5 л воды. Расход в зависимости от вида культуры и вегетативной массы: овощные, однолетние цветочные и земляника – 1–1,5 л/10 м²; малина, смородина и другие кустарники – 1,5–2 л на куст, плодовые деревья – 1 л на молодое и 2–3 л на взрослое дерево. Полив рассады после пикировки и укоренения – раствором, содержащим 1,5 мл Цитовита в 2 л воды. Цветочные и декоративные растения комнатного цветоводства и на балконах: полив или опрыскивание 3–4 раза в год – 1,5 мл/2 л воды.

7.1.4. Гуматы

Гуматы – группа естественных, высокомолекулярных, экологически безопасных регуляторов роста растений. Они не токсичны, не канцерогенны, не вызывают мутаций и не обладают эмбриологической активностью. Остаточные количества гуматов в растениях не обнаруживаются, т. к. они сравнительно легко и быстро включаются в метаболизм.

Гуминовые кислоты обладают разносторонней направленностью действия: активирование биоэнергетических процессов, стимуляция обмена веществ, синтетических процессов, улучшение проникновения элементов питания через плазмалемму, усиление ферментативных систем, повышение адаптационных свойств растительного организма. Структура гуминовых кислот как ароматических соединений с подвижными π -электронами и различными функциональными группами при ядре и боковых цепях, наличии парамагнитных центров, обуславливает их способность к ионному обмену, образованию комплексов, таутомерии, окислительно-восстановительным реакциям и при этом гуминовые кислоты, в зависимости от внешних условий, могут быть весьма стойкими и активными. Благодаря этим свойствам, гуминовые кислоты используются и как удобрение, и как стимуляторы роста растений.

Основной причиной физиологической активности гуминовых кислот считается воздействие их на биоэнергетическую систему растительного организма (Христьяева Л.А., 1973). Повышение энергетических запасов организма способствует активизации синтеза белка, являющегося основным строительным материалом. Эти изменения и создают условия для повышения устойчивости растений в экстремальных режимах, фотосинтетической способности.

Способность гуминовых кислот к комплексообразованию и их сорбционная активность позволяют использовать их для перевода тяжелых элементов в нерастворимые соединения на почвах, зараженных ими. По способности поглощаться гуминовыми кислотами катионы распределяются в следующий ряд: $\text{Cu}^{2+} > \text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^{2+}$. Устойчивость комплексов с ионами различных металлов несколько иная: $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$.

Механизм взаимодействия гуминовых кислот с катионами металлов различен. Так, ионы кальция при взаимодействии с гуминовыми кислотами образуют солеобразные гуматы кальция, в которых наблюдается типично ионная форма карбоксильных групп. На ион цинка замещаются водородные атомы карбоксильных групп. Фенольные гидроксилы в обменную реакцию с цинком вступают не полностью. При взаимодействии с медью в обменную реакцию вступают как карбоксильные, так и фенольные гидроксилы. Во всех случаях происходит пересаживание гуминовых кислот в виде нерастворимых или малорастворимых в воде солей металлов или их комплексов. Кроме того, гуматы участвуют в формировании почвенной структуры: на легких почвах осуществляют агрегатирование, на тяжелых препятствуют образованию корок и трещин, улучшают аэрацию почвы, ее водоудерживающую и водопропускную способности.

При использовании гуминовых кислот в качестве регуляторов роста растений физиологической активностью обладают не гуминовые кислоты, а их соли одновалентных щелочных металлов и аммония. Это объясняется тем, что гуминовые кислоты не растворимы в воде и не могут поглощаться растениями, в то время как соли одновалентных щелочных металлов и аммония гуминовых кислот хорошо растворяются в воде и становятся доступными для растений.

При использовании гуматов в земледелии отмечается следующее: увеличивается урожайность зерновых, овощных и кормовых культур; повышается всхожесть и энергия прорастания семян; усиливается корнеобразование и обмен веществ у растений, поглощение и потребление элементов минерального питания; улучшается приживаемость рассады и растений при их пересадке; усиливается активность нитратредуктазы и, как следствие, увеличивается сопротивляемость растений болезням, заморозкам и засухе; снижается содержание в почве нитратов, пестицидов, ионов тяжелых элементов и радионуклидов.

Взаимодействие гуминовых веществ с пестицидами представляет собой комплексный процесс. В отдельных случаях исчезновение пестицидов из почвы возможно благодаря процессам иммобилизации, в других – адсорбции. В результате ассимиляции корнями растений комплексов гуминовых молекул с гербицидами может иметь место иммобилизация отдельных пестицидов. Наблюдается усиление ферментативной активности – увеличение активности уреазы, фосфатазы, малатиновой астеразы, отвечающей за деградацию пестицидов.

Используют гуматы трех модификаций: гумат натрия, гумат калия и гумат аммония. Гуматы натрия и калия готовятся путем насыщения соответственно едким калием или натрием. Гумат аммония получают путем обработки сырья аммиачной водой. Наиболее удобно и хорошо согласуется с агротехнологиями жидкая безбалластная форма препарата (5–10 % концентрации). Расход гумата невелик (5 %-й раствор для полива разбавляют в соотношении 1:1000, а для обработки семян – 1:500, и лишь при обработке клуб-

ней и семян зерновых культур расход выше – 1:250). Опрыскивание растений в период вегетации осуществляют 2–4 раза.

Агровиткор. Удобрение *Агровиткор* в своем составе имеет торф, птичий помет, природный грунт, биоконпоненты (ноу-хау). По данным производителя, 10–15 кг этого удобрения заменяет 1–1,5 т навоза в зависимости от состояния почвы. Норма внесения 3–6 кг удобрения на 100 м². Оно эффективнее в несколько раз всех видов органических, в 3–5 раз минеральных удобрений.

Хорошие результаты дает внесение в почву 2,5–6,0 кг/100 м² с последующей заделкой. При посеве семян овощных в лунку вносят 10–15 г или в рядки 25–50 г удобрения на погонный метр. При посадке ягодных культур в посадочные ямы вносят 0,2–0,3 кг удобрения; фруктовых – 0,5–0,7 кг. Для подкормки овощных, ягодных и фруктовых культур 150–200 г удобрения разводят на 8–10 л воды и выдерживают в течение 2–3 ч. Расход рабочей жидкости на овощных культурах – 0,5–0,75 л/растения (3–5 раза за сезон); ягодных – 3–5 л/куст (3,5 раза за период май-июнь); фруктовых 10–20 л/дерево (3–4 раза за период май-июнь).

Для сохранения и воспроизводства плодородия почвы в зависимости от состояния *Агровиткор* вносится с обязательной заделкой в количестве 3–6 кг/100 м².

Гумат+7 – комплексное органо-минеральное удобрение. Содержит 37 % гумата, 1,5 – азота, 5,0 – калия, 0,6 – бора, 2,0 – железа, 0,02 – кобальта, 0,04 – марганца, 0,4 % меди.

Его применяют для замачивания семян до наклевывания: 0,5 г препарата растворить в 1 л воды; при корневой подкормке: под каждое дерево (куст) плодовых или ягодных культур вносят 20–40 г удобрения, для овощных культур и земляники – 6–8 г удобрения под каждое растение и обильно поливают водой. При некорневой подкормке 3–4 г удобрения разводят в 10 л воды и обрабатывают растения из расчета 2 л рабочего раствора на 1 м². Осенью рекомендуется полив всех плодовых и ягодных насаждений для их благополучной зимовки – 6–8 г препарата на 10 л воды. Производят полив комнатных растений в период их активного роста 3–4 раза с интервалом 10–15 дней.

Удобрение **Гуми-30** – 30 %-ная водная паста для индивидуальных хозяйств. Содержит 60 % гумата натрия в пересчете на сухое вещество, 0,5–2,0 % азота, 0,5–2,0 – фосфора, 0,1–1,0 % калия и микроэлементы природного происхождения. Ускоряет созревание плодов и повышает продуктивность растений. Применяют Гуми-30 в виде водного раствора, который готовят путем растворения 300 г удобрения в 0,6 л воды. Весеннее и осеннее обогащение 1 м² почвы или компоста гуминовыми веществами – 15 мл рабочего раствора на 10 л воды. Для повышения всхожести и активного роста рекомендуется предпосевное замачивание семян.

Норма расхода рабочего раствора на 100 г семян – 100 мл воды + 2 капли маточного раствора. Для ускорения укоренения рассады и черенков эффективно 12–24 часовое замачивание в растворе удобрения из расчета 20 капель маточного раствора на 1 л воды. Полив и опрыскивание комнатных растений и цветов рекомендуется проводить каждые 2 недели (4 капли маточного раствора на 200 мл воды); полив и опрыскивание садово-огородных растений – каждые 2 недели (15 мл маточного раствора в 10 л воды на 2 и 100 м² соответственно); предпосадочная обработка (обмакивание) 10 кг клубней картофеля (65 мл маточного раствора на 1 л воды).

Гумат-80 – органо-минеральное удобрение; содержит не менее 80 % активных веществ. Используется для повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных растений путем предпосевной обработки семян и рассады, полива вегетирующих растений и внесения в почву. Для замачивания семян и саженцев Гумат-80 используют в виде разбавленного раствора. Сначала готовят концентрат – 10 г препарата (1 таблетка) растворяют в 10 л воды, затем, по мере необходимости, 1 л концентрата разводят в 9 л воды и полученный рабочий раствор используют по назначению. Семена цветочных и декоративных растений замачивают в течение 1 сут. при комнатной температуре, черенки – 1 сут., погружая их в раствор 1/3 длины. Семена капусты замачивают на 48 ч, огурцов – 24 ч, томатов – 72 ч. В период вегетации рекомендуется в течение всего сезона поливать растения через 10–12 сут., цветы – 1 раз в 7 сут., при норме расхода рабочего раствора 4–5 л/м² или 1 куст. Плодовые деревья или кустарники рекомендуется раствором Гумата-80 обрабатывать 4 раза за сезон: в период закладки цветочных почек, после цветения, в начале опадения завязи, во время роста плодов.

Гумисол – жидкий гуминовый препарат. Повышает всхожесть, энергию прорастания семян, стимулирует корнеобразование у растений, способствует быстрому укоренению черенков, стимулирует рост, развитие, цветение и плодоношение растений, оказывает положительное влияние на устойчивость растительных организмов к болезням и неблагоприятным факторам окружающей среды.

Лигногумат – концентрированное гуминовое удобрение, состоящее на 90 % из солей гуминовых кислот, в число которых входит 15–25 % низкомолекулярных кислот, из которых преобладающая часть – фульвокислоты. Кроме того, лигногумат содержит калий, серу, железо, магний, медь и марганец. Полностью растворим в воде, совместим с минеральными удобрениями и пестицидами. Вырабатывается из растительного сырья. Лигногумат является экологически чистым продуктом и выпускается в виде 15 %-го раствора объемом 15 мл. Используется для повышения плодородия почв и урожайности овощных и плодово-ягодных культур. Положительный эффект от применения лигногумата возрастает в условиях низких температур, недостатка или избытка влаги, засоления почвы.

Лигногумат применяют для замачивания семян и саженцев, растворяя 3 капли его в 100 мл воды. Отношение объема сухих семян к раствору 1:3. Продолжительность замачивания для культур, выращиваемых в закрытом грунте, – 24 ч, в открытом – 36 ч, кроме семян капусты, которые выдерживаются в растворе 12 ч. Саженцы замачивают в течение 24 ч, опустив в раствор корневую систему. Картофель обрабатывают непосредственно перед посадкой, погружая в раствор, приготовленный из расчета 40 мл препарата на 1 л воды. Рассаду опрыскивают в фазе 3–4 настоящих листьев за 12 ч до пикировки или высадки раствором лигногумата – 3 капли на 100 мл воды. Обработка растений в открытом грунте производится таким же раствором, как при замачивании семян. Для закрытого грунта концентрация раствора в 2 раза меньше (10 мл лигногумата развести в 20 л воды). Полив производится 3 раза с перерывом в 15 дней (первый – сразу после высадки рассады в грунт), расход раствора 5 л/м². Картофель опрыскивают водным раствором лигногумата 2 раза: первый – при высоте растений 8–12 см, второй – в фазе бутонизации. Для полива комнатных растений, 6 капель концентрата растворяют в 1 л воды; периодичность полива 1 раз в 3 месяца.

Окси- и гидрогумат – представляет собой темно-коричневую жидкость, содержащую 10 % действующих веществ. В химическом составе этих препаратов преобладают гуминовые кислоты (45–60 %), фульвокислоты (20–25 %), полисахариды (5–8 %), низкомолекулярные органические кислоты (15–18 %), среди которых идентифицированы уксусная, янтарная, глутаровая, гликолевая, молочная и левулиновая. Реакция среды щелочная. Окси- и гидрогумат не токсичен, не горюч, хранится при температуре от –5 до +30°C в течение 5 лет в закрытых емкостях. Для транспортировки пригодны металлические, полиэтиленовые и стеклянные емкости. Рекомендуется для предпосевной обработки семян и некорневой подкормки вегетирующих растений.

Торгум – комплексное гранулированное торфогуминовое удобрение. Его промышленное производство организовано на Бокситогорском биохимическом заводе при содействии фирмы «Флора-Болт». Торф, используемый на изготовление этого удобрения, контролируется на содержание солей тяжелых элементов и радионуклидов. Химическая обработка торфа агрохимически ценным калийным щелочным реагентом более чем в 200 раз повышает подвижность его активного вещества, а введение азота, фосфора (2–4 %) и микроэлементов позволяет получить комплексное удобрение, обладающие свойствами как минеральных удобрений – легкодоступностью элементов питания, так и органических – продолжительным поступлением азота, фосфора и калия в почвенный раствор. Удобрение содержит до 4 % солей гумата калия. Одно из достоинств удобрения – его долгодействие, исключаяющее «залповые» выбросы питательных веществ и их вымывание осадками, грунтовыми и поливными водами. Поэтому торгум вносится за один прием. Последствие этого удобрения составляет 3–4 года.

Торгум можно применять в любой фазе роста и развития растений. Замачивание семян производится в водной вытяжке из удобрения, что значительно повышает их всхожесть, энергию, и скорость прорастания семян. При выращивании рассады и высадке ее в грунт улучшается приживаемость растений и хорошо развивается корневая система. При использовании удобрения под основную обработку почвы растения быстрее растут, раньше зацветают, урожайность повышается на 20–30 %.

Эффектон – гумифицированное, биологически активное удобрение – продукт переработки торфа микроорганизмами. Полезные микроорганизмы, находящиеся в удобрении Эффектон, создают благоприятную среду для роста и развития растений. При попадании вместе с удобрением в почву образуют в ризосфере очаги усиленной биохимической активности, в результате которой повышается снабжение растений азотом и фосфором. Кроме того, микроорганизмы, находящиеся в этом удобрении, вырабатывают значительное количество витаминов и стимуляторов роста, оказывающих положительное влияние на жизнедеятельность растений. Эффектон эффективно действует как при обработке семенного материала, так и при корневой и некорневой подкормках. Для комнатного цветоводства специально предназначен Эффектон-ДЦ. Это удобрение содержит гумусовые вещества, биологически и физиологически активные компоненты, благодаря которым можно полностью отказаться от внесения других органических удобрений. Эффектон-ДЦ – концентрированное органо-минеральное удобрение для подкормки цветов, декоративных растений и цветочной рассады. В его состав входят: азот 9,4 г/л, фосфор – 17,4, калий 19,4 г/л, микроэлементы (рН 6,5–7).

7.1.5. Почвенные грунты и сорбенты

Грунты серии Селигер-Агро. Среди грунтов серии Селигер-Агро наибольший интерес представляет ЭКЗО, предназначенный для проращивания семян всех видов культур, а также, при смешивании с дерновой землей, для выращивания овощных, плодово-ягодных, цветочных и декоративных растений. Грунт для цветов и комнатных растений предназначен для всех видов комнатных растений и цветов в открытом грунте.

Под торговой маркой Селигер-Агро выпускается ряд специализированных грунтов, предназначенных для выращивания растений с учетом их специфических требований к составу и обеспеченности почвы доступными элементами минерального питания. Также компанией Селигер-Агро выпускаются грунты для выращивания овощных растений и грунт «Последний долг» для посадки декоративных растений на местах захоронений (табл. 93; Пещеров А.В., 2003).

Таблица 93 – Основные характеристики питательных грунтов Селигер-Агро

| Наименование грунта | Состав, мг/л | | | | рН |
|---------------------------------|--------------|---------|---------|----------------|---------|
| | азот | фосфор | калий | микро-элементы | |
| Последний долг | 100–200 | 100–200 | 150–280 | нет | 5,5–6,5 |
| Для юкки и драцены | 125–225 | 125–225 | 185–335 | есть | 5,0–6,0 |
| Для citrusовых | 210–390 | 210–390 | 320–560 | есть | 5,0–6,0 |
| Для фикусов | 190–350 | 190–350 | 280–520 | есть | 5,0–6,0 |
| Для пальм | 175–325 | 175–325 | 260–480 | есть | 5,0–6,0 |
| Для суккулентных растений | 55–105 | 55–105 | 80–150 | есть | 5,0–6,0 |
| Для лесных кактусов | 70–130 | 70–130 | 105–185 | есть | 5,0–6,0 |
| Для пустынных кактусов | 50–90 | 50–90 | 75–135 | есть | 5,0–6,0 |
| Для сенполии и цикламена | 210–390 | 240–440 | 260–490 | есть | 5,5–6,5 |
| Для бегоний и роз | 140–260 | 160–300 | 180–380 | есть | 5,5–6,5 |
| Для азалии и вереска | 60–120 | 60–120 | 120–240 | есть | 4,2–4,5 |
| Для цветов и комнатных растений | 100–200 | 100–200 | 140–260 | есть | 5,5–6,0 |
| Клубника | 200–320 | 220–440 | 225–415 | есть | 5,6–6,5 |
| Капуста | 575–1065 | 385–715 | 255–475 | есть | 5,5–6,5 |
| Газон | 65–125 | 170–310 | 70–130 | есть | 5,5–6,0 |
| Огурцы | 130–250 | 250–450 | 280–520 | есть | 5,6–6,3 |
| Томат и перец | 180–320 | 350–650 | 350–650 | нет | 5,6–6,0 |
| ЭКЗО | 100–180 | 135–255 | 115–215 | нет | 5,5–6,0 |

Основной составляющей грунтов Селигер-Агро является природный материал – торф, содержащий до 80 % гумуса. Главной особенностью грунтов серии Селигер-Агро является высокая биологическая активность. Микрофлора, которая вводится в грунты на стадии их приготовления, способствует активизации микробиологических процессов в почве. Грунты серии Селигер-Агро включают в себя полный набор питательных элементов, специально подобранных для развития растений и полностью готовых к непосредственному использованию.

«ЭКЗО». Универсальный грунт «ЭКЗО» – высококачественный грунт универсального назначения, готовый к использованию и приспособленный для выращивания рассады овощных и плодово-ягодных культур, цветов и

комнатных растений, а также для улучшения почв и мульчи, создания и восстановления травяных газонов.

Состав грунта: верховой торф средней степени разложения, смешанный с органо-минеральными удобрениями и известью (рН 5,5–6), содержащий 100–180 мг/л азота, 135–255 – фосфора, 115–215 мг/л калия.

Грунт для цветов и комнатных растений – уникальный воздухо-емкий субстрат многоцелевого использования для выращивания комнатных растений и цветочных культур.

Состав грунта: раскисленный верховой торф, стартовый комплекс минеральных удобрений, песок (рН 5,5–6). Содержит 100–200 мг/л азота, 100–200 – фосфора, 140–260 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для азалии и вереска – субстрат с ярко выраженной кислой реакцией для выращивания азалий, герани, рододендронов, синих гортензий, филодендрона, а также вереска, голубики, клюквы и других растений с небольшой потребностью в питательных элементах.

Состав грунта: моховой и низинный торф, песок, минеральные удобрения, молотый известняк (рН 4,2–4,5), содержащий 60–120 мг/л азота, 60–120 – фосфора, 120–240 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для бегоний и роз – грунт для выращивания бегоний, роз, а также других горшечных растений (глоксиний, колерий, традесканций и т.д.), рассады (гвоздики ремонтантной, герани, хризантемы, цикламена и т.д.) со средней потребностью в питательных веществах.

Состав грунта: верховой и низинный распушенный торф, смешанный с песком, удобрениями и известью (рН 5,5–6,5). Содержит 140–260 мг/л азота, 160–300 – фосфора, 180–380 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для сенполии и цикламена – специальный грунт для выращивания сенполий и цикламенов, а также других клумбовых, балконных и горшечных растений и цветов (гвоздики ремонтантной, герберы, красной гортензии, новогвинейской недотроги, хризантем и т.д.), требовательных к наличию питательных веществ.

Состав грунта: верховой и низинный распушенный торф, песок, удобрения, известь (рН 5,5–6,5). Содержит 210–390 мг/л азота, 240–440 – фосфора, 260–490 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для пустынных кактусов – пористый, готовый к использованию специальный грунт для содержания пустынных кактусов распространенных видов: апоро-, клейсто-, миртилло-, ното-, фери-, хамато-, эхинокактусов, гимнокалициумов, лобивий, мамиллярий, опунций, пародий, ребуций, хамецереусов, эхинопсисов и других.

Состав грунта: верхний раскисленный торф, речной и керамзитовый песок, комплексное минеральное удобрение в оптимальном количестве (рН 5–6). Содержит 50–90 мг/л азота, 50–90 – фосфора, 75–135 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для лесных кактусов – рыхлый, готовый к использованию специальный грунт для выращивания лесных (тропических) кактусов распространенных видов: зигокактус усеченный («декабрист»), рипсалис, рипсалидопсис, эпифиллум и другие.

Состав грунта: низинный и верховой торф, керамзитовый и речной песок, кальций и питательные вещества (рН 5–6). Содержит 70–130 мг/л азота, 70–130 – фосфора, 105–185 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для суккулентных растений – специальная земля для выращивания таких суккулентных растений, как агава, алоэ, бриофиллум, гастерия, горноколосник, каланхоэ, котиледон, крестовник, молодило, молочай, очиток, толстянка, фаукария, хавотия, циропегия, эчеверия и другие.

Состав грунта: низинный и верховой торф, керамзитовый и речной песок, молотый известняк, макро- и микроудобрения (рН 5–6). Содержит 55–105 мг/л азота, 55–105 – фосфора, 80–150 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для пальм – готовый к использованию специальный грунт для выращивания пальмовых растений (кокос, финик, ховея, сабаль, вашингтония, юбея, хамадорей, саговая, веерная и другие виды пальм).

Состав грунта: низинный и верховой торф, керамзитовый гравий, речной песок, известь и комплексное удобрение (рН 5–6). Содержит 175–325 мг/л азота, 175–325 – фосфора, 260–480 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для фикусов – грунт для выращивания фикусов: каучуконосного, Бенджамина лировидного, бенгальского (баньян), треугольного, ржаволистного, священного и других.

Состав грунта: низинный и верховой торф, керамзитовый гравий, речной песок, известь и комплексное удобрение (рН 5–6). Содержит 190–350 мг/л азота, 190–350 – фосфора, 280–520 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для цитрусовых – высокоэффективный грунт для выращивания цитрусовых растений: апельсина, грейпфрута, кинкана, лимона, мандарина, цитрона и других.

Состав грунта: низинный и верховой торф, керамзитовый гравий, речной песок, известь и комплексное удобрение (рН 5–6). Содержит 210–390 мг/л азота, 210–390 фосфора, 320–560 мг/л калия и микроэлементы.

Грунт для юкки и драцены – субстрат с хорошей зернистой структурой для выращивания ложных пальм: юкки, нолины, кордилины, драцены и других.

Состав грунта: низинный и верховой торф, керамзитовый и речной песок, молотый известняк, макро- и микроудобрения (рН 5–6). Содержит: азота 125–225 мг/л, фосфора – 125–225, калия 185–335 мг/л и микроэлементы.

Почвенные грунты фирмы «ФАСКО». Компания ФАСКО выпускает готовые специализированные и универсальные почвогрунты на торфяной основе, содержащие песок, известь и полный комплекс элементов питания, необходимых для роста и развития растений. Упаковка почвенных грунтов имеет черный светозащитный слой, который сдерживает развитие светолюбивых микроорганизмов и сохраняет свойство грунта.

Глория – полностью готовый к использованию грунт, содержащий оптимальный набор макро- и микроэлементов, необходимых для полноценного роста и развития растений. Применяется для выращивания любых видов роз. В его составе переходный торф, песок, керамзит, известь, нитроаммофоска бесхлорная. В грунте содержатся доступные для растений питательные элементы: N – 150–350 мг/кг, P – 250–400, K – 250–400 мг/кг, рН – 6,0–6,5.

Фирма «ФАСКО» производит грунты с таким же составом, содержанием питательных элементов и различным диапазоном значений рН для «Азалий», «Бегоний», «Луковичных», «Папоротников», «Цитрусовых», «Фиалок», «Фикусов», а также «Оазис», «Тропик».

Земля для ваших любимых растений – полностью готовый к использованию универсальный грунт, содержащий оптимальный набор макро- и микроэле-

ментов, необходимых для полноценного роста и развития растений. Применяется для выращивания садовых и комнатных растений, при посадке роз, пионов, клематисов, декоративных и ягодных кустарников, хвойных культур, папоротников и аспарагусов, пальм и citrusовых, бегоний, аглонем, юкк, драцен, кордилины и сансевиерий, монстер, шефлер, фатсий, фикусов, плющей и лиан. В его состав входят переходный торф, песок, дренаж керамзитовый, нитроаммофоска, известковая мука. Содержание в нем доступных для растений питательных элементов: N – 150–350 мг/кг, P – 250–400, K – 250–400 мг/кг, pH – 6,0–6,5.

Крепыш – полностью готовый к использованию грунт, содержащий оптимальный набор макро- и микроэлементов, необходимых для полноценного роста и развития растений. Применяется для выращивания комнатных цветов, рассады любых овощных культур (томатов, перцев, огурцов, кабачков, капусты, баклажан, физалиса). Используется для «зимнего огорода» на подоконнике (зеленого лука, салата и другой пряной зелени), при пикировании рассады в отдельные горшочки и открытый грунт. В его составе переходный торф, песок, дренаж керамзитовый, известь, нитроаммофоска бесхлорная. В нем содержится доступных для растений питательных элементов: N – 250–300 мг/кг, P – 200–300, K – 300–400 мг/кг, pH – 6,0–6,5.

Малышок – полностью готовый к использованию натуральный грунт, содержащий оптимальный набор макро- и микроэлементов, необходимых для полноценного роста и развития растений. Применяется для выращивания рассады и взрослых растений пасленовых культур (томатов, баклажан, перцев). В его составе переходный торф, песок, дренаж керамзитовый, известь, нитроаммофоска бесхлорная. Содержание доступных для растений питательных элементов в грунте Малышок: N – 60±10 мг/кг, P – 190±40, K – 80±20 мг/кг, pH – 5,0–5,5,

Огородник – полностью готовый к использованию универсальный грунт, содержащий оптимальный набор макро- и микроэлементов, необходимых для полноценного роста и развития растений. Применяется для выращивания плодово-ягодных и цветочных культур, рассады овощных и комнатных растений, «зимнего огорода» на подоконнике, газонов в открытом и закрытом грунте. В своем составе имеет верховой и низинный торф, песок, известь, дренаж, полное минеральное удобрение. В нем содержится доступных для растений питательных элементов: N – 275 мг/кг, P – 250, K – 350 мг/кг, pH – 6,0.

Садовник – полностью готовый к использованию универсальный грунт, содержащий оптимальный набор макро- и микроэлементов, необходимых для полноценного роста и развития растений. Применяется для выращивания, при пикировании, посадке и присыпке тех же культур, что и питательный грунт «Садовник». Используется при укоренении черенков, пикировке и посадке рассады в открытый грунт, для подсыпки к стеблям огурцов, томатов, перцев. В его состав входит верховой и низинный торф, песок, известь, дренаж, полное минеральное удобрение. Содержание в нем доступных для растений питательных элементов: N – 150–300 мг/кг, P – 200–400, K – 300–450 мг/кг, pH – 5,5–6,5.

Цветочный – полностью готовый к использованию многоцелевой воздухоемкий грунт, содержащий оптимальный набор макро- и микроэлементов, необходимых для полноценного роста и развития растений. Применяется для выращивания комнатных растений и цветочных культур (рассады), таких как фиалка, герань, плющ, пахистахис, хлорофитум, циперус, мон-

стера, бересклет, фатсия, а также для луковичных культур, таких как тюльпаны, крокусы, гиацинты, нарциссы, ирисы и другие. В его составе переходный торф, песок, дренаж керамзитовый, нитроаммофоска, известковая мука. Содержание в этом грунте доступных для растений питательных элементов: N – 150–350 мг/кг, P – 250–400, K – 250–400 мг/кг, pH – 5,5–6,5.

Использование. Добавляют в коробочки для выращивания рассады по 3–7 г для кормки рассады, используют выдержанный 2–3 ч водный раствор 50–100 г/2–4 л; периодичность – 2 раза в месяц.

Вермикулит – природный сорбент, активная природная добавка для роста растений. Это легкий материал чешуйчатого строения. Получают его из горной породы низкосортной слюды обжигом при температуре более 800 °С. В результате обжига, порода вспучивается и легко разделяется на слои. В процессе эксплуатации вермикулит выделяет в почвенный раствор в небольших количествах калий и магний. Долговечность вермикулита невысокая. Со временем он сильно засоряется корневыми выделениями и накапливает инфекции. Он увеличивает срок использования торфо- и почвенных грунтов в 2–3 раза и время действия удобрений в грунтах 1,5–2 раза. Препятствует засолению и слеживанию грунтов, развитию плесени, грибов, размножению вредителей, повышению кислотности почвы. Вермикулит адсорбирует излишки питательных веществ. Содержит 38–45 % кремния, 10–16 – алюминия, 1–6 – калия, 6–13 – железа, 1–5 % кальция.

Применяют сорбент для выращивания рассады овощных культур и цветочных растений. Готовится смесь из вермикулита и грунта в соотношении 1:4. Субстрат из вермикулита и торфа в соотношении 1:1 используют для укоренения черенков различных культур. Кроме того, мульчируют приствольные круги плодово-ягодных культур. Расход вермикулита составляет 5–6 л/м². При посадке картофеля вермикулит вносится в лунку в количестве 30–60 г. Сорбент применяется в смеси с минеральными удобрениями в соотношении 1:3.

7.2. Дефолиация, десикация и сеникация

Возможность химического регулирования роста и развития растений не может быть ограничена только ранними этапами онтогенеза и основными периодами формирования урожая. Отдельные культуры не успевают полностью созреть до наступления осенней неблагоприятной погоды, что приводит к снижению количества и качества урожая. Для ускорения созревания в предуборочный период применяют химические препараты: дефолианты, десиканты и сениканты.

7.2.1. Дефолиация

Дефолиация – обезлиствение, предуборочное искусственное удаление листьев растений для облегчения механизированной уборки урожая. Проводят ее химическими веществами-дефолиантами, которые вызывают в растениях процессы, аналогичные происходящим при старении листьев и их естественном опадении.

К. Овчаров, 1971

Дефолиация – искусственное предуборочное удаление листьев у растений. Определение «*дефолианты*» происходит из сочетания отрицательной приставки «*de-*» (приблизительный синоним русского «*не*», «*от*») и корня латинско-

го слова «*folium*» («лист»). Смысловой перевод термина – средства, освобождающие растения от листьев. На первый взгляд, действие дефолиантов и гербицидов представляется примерно одинаковым. Гербициды, распыляемые на наземные органы растений или вносимые в почву, действуют либо местно, либо проникают в ткани, приводя к определенным изменениям в обмене веществ и в итоге вызывая усыхание и гибель растения. Отличие дефолиантов состоит в том, что их использование не приводит к необратимым процессам, способствующим прекращению жизнедеятельности. В результате их влияния происходит опадение листьев, но позже растение снова восстанавливает свою зеленую массу (если оно многолетнее), его рост и другие характеристики в дальнейшем не страдают.

В процессах формирования возрастных изменений растения, созревания его плодов и опадения листьев лежит примерно одинаковый механизм. В его тканях происходит образование этилена – вещества из группы алкенов. Он выполняет функцию фитогормона, что и обуславливает его своеобразное влияние на физиологические процессы. Под действием дефолиантов этилен образуется в повышенных количествах, быстро приводя к соответствующим изменениям в растении. У основания листового черешка формируется несколько слоев клеток, носящих название отделительной зоны. Они имеют рыхлую структуру, что обуславливает постепенное уменьшение прочности крепления листовой пластинки к ветке. При этом сосудистая сеть, питающая лист, постепенно редуцируется и все хуже проводит к нему питательные вещества. Обменные процессы и фотосинтез замедляются, а затем сосуды ксилемы вообще закрываются, и лист отпадает. Перед опадением из листьев происходит отток ассимилятов и физиологически активных веществ протоплазмы клеток: аминокислот, продуктов гидролиза белков, витаминов, ферментов, органических кислот. Указанные вещества используются на построение созревающих плодов и семян.

Дефолианты наиболее широко применяются в хлопководстве. Наличие зеленых листьев на растениях во время сбора хлопка-сырца из раскрывшихся коробочек является препятствием для высокопроизводительной работы хлопкоуборочных машин. Рабочие органы обрывают листья и выжимают из них зеленый сок, пачкающий сырец. Попадая в хлопок-сырец, листья быстро засыхают, крошатся и засоряют его. Испаряющаяся из листьев влага поглощается волокном. При этом влажность убранного хлопка-сырца значительно повышается, что приводит к необходимости проведения дополнительной сушки хлопка-сырца машинного сбора. Проведение дефолиации устраняет причины, препятствующие механизированной уборке хлопчатника, не вступая в противоречие с биологией самого растения. По времени дефолиация совпадает с прекращением образования у хлопчатника плодоземелентов, замедлением роста стебля, почти полным прекращением потребления элементов питания, прекращением накопления сухой массы, началом процесса естественного листопада. Дефолианты стимулируют образование отделительного слоя у черешка листьев, чем значительно ускоряют их опадение.

Широкое применение дефолианты получили и в виноградарстве. Здесь они используются на плодоносящих насаждениях для подготовки к механизированной уборке урожая, в питомниководстве – для удаления листьев у саженцев перед их выкопкой из школки и на маточниках привоя – для облегчения заготовки черенков в доморозный период. Обезлиственные сажен-

цы винограда легче выкапывать, укладывать на хранение, в процессе которого уменьшается возможность развития грибковых заболеваний.

Высокие результаты показала дефолиация посевов клещевины (табл. 94; Анненкова Г.Н., Смирнова Р.И., 1968). Этот агроприем значительно облегчает уборку культуры, позволяет проводить ее в лучшие и сжатые сроки. Урожай клещевины с дефолированных посевов, как правило, на 6–8 % менее засорен посторонними примесями, влажность убранных семян на 7–10 % ниже, чем с необработанных участков.

Таблица 94 – Эффективность дефолиации посева клещевины

| Дефолиант | Количество листьев перед уборкой, шт./растение | Влажность семян перед уборкой, % |
|-------------------------|--|----------------------------------|
| Контроль | 10,7 | 12,8 |
| Хлорат магния, 15 кг/га | 3,4 | 5,7 |

Наиболее изученными дефолиантами являются цианамид кальция, хлорат магния, хлоратхлорид кальция. В мировой ассортимент входят также фоллекс (C_4H_9S)₃P, бутифос ($C_{12}H_{27}OP S_3$), 2-хлорэтилфосфоновая кислота (этефон) $C_2H_6ClO_3P$, хлорат и бораты Na, какодиловая кислота $(CH_3)_2As(O)OH$, $CaCN_2$, диметипин (харвейд, II), паракват-дихлорид и эндотал.

Цианамид кальция ($CaCN_2$) – плохорастворимый в воде пылящий порошок темно-серого цвета с характерным ацетиленовым запахом. Содержит 50–55 % цианамида кальция, 18–20 % цианамидного азота и 0,5–1,5 % минерального масла. Он среднетоксичен для теплокровных животных, ЛД₅₀ для мышей равен 400 мг/кг, обладает раздражающим действием при попадании на слизистые оболочки, кожу и в дыхательные пути. При воздействии атмосферной влаги и росы на цианамид кальция образуются однозамещенный цианамид кальция и гидроксид кальция. Дальнейший гидролиз однозамещенного цианамида кальция приводит к образованию свободного цианамида. Свободный цианамид растворим в воде, и хорошо проникает в листья, что и вызывает их опадание. Для проявления дефолирующего действия цианамида кальция на растения необходимо, чтобы листья были увлажнены росой. В этом случае образование однозамещенного цианамида кальция и свободного цианамида, а также проникновение последнего в растения происходит довольно быстро – примерно в течение одного часа. На скорость проникновения цианамида в листья оказывает существенное влияние температура воздуха. Повышение температуры в диапазоне от 10 до 20°C увеличивает скорость его проникновения в листья более чем в 3 раза. Проникший в листья цианамид образует малорастворимые соли с медью, железом, цинком и другими металлами, и, таким образом, блокирует ферменты, регулирующие фотосинтез, разрушает хлорофилл и другие пластидные пигменты. В результате подавления фотосинтеза в листьях резко уменьшается содержание углеводов. Одновременно с этим цианамид кальция разрушает белковые соединения и инактивирует фермент каталазу, что, в конечном итоге, приводит к резкому падению интенсивности дыхания. Образующиеся при распаде белковых соединений продукты оттекают в генеративные органы растения.

Цианамид кальция используется для дефолиации хлопчатника способом опыления растений за 10–15 дней до сбора урожая при норме расхода

35–60 кг/га. Обработка хлопчатника этим препаратом в оптимальные сроки не оказывает отрицательного влияния на технологическое качество волокна.

Хлорат магния $[Mg(ClO_3)_2 \cdot 6H_2O]$ – гигроскопичный порошок, хорошо растворимый в воде или бесцветное кристаллическое вещество с содержанием 58–62 % действующего вещества – гексагидрата хлората магния. Он не взрывается и безопасен в пожарном отношении; среднетоксичен для теплокровных животных; ЛД₅₀ для мышей 620 мг/кг.

Высокая дефолирующая активность хлората магния связана с его сильными окислительно-восстановительными свойствами. Под действием этого дефолианта в листьях нарушается водный режим, подавляется фотосинтез, разрушаются пластидные пигменты, нарушаются углеводный и белковый обмен. Гидролитические процессы в листьях начинают преобладать над синтетическими. Затем листья увядают, у основания их черешков образуется отделительный слой, и они опадают. Эти процессы происходят в листьях при воздействии на них хлората магния в сравнительно небольших дозах, порядка 10–15 кг/га. Повышенные дозы препарата вызывают сильный ожог растений, клетки в зоне отделительного слоя погибают, не образуя отделительный слой, и листья не опадают.

Хлорат магния применяется в виде водных растворов. Дефолирующая активность этого препарата проявляется при сравнительно низких температурах – порядка 9–10⁰С. Большим преимуществом хлората магния перед цианамидом кальция является возможность эффективного применения его в качестве дефолианта при полном отсутствии росы и при низкой влажности воздуха. Хлорат магния не является системным дефолиантом и проникает только в те листья, на которые наносится. При этом полное проникновение препарата происходит в течение одного часа. Листья под действием хлората магния опадают значительно быстрее, чем под влиянием цианамид кальция.

Хлорат магния используется для дефолиации хлопчатника путем опрыскивания растений за 6–12 дней до уборки урожая при нормах расхода препарата 10–12 кг/га. Этот препарат, как дефолиант, хорошо зарекомендовал себя и на посевах клещевины (табл. 95). Лучшим сроком обработки клещевины хлоратом магния является период побурения коробочек на центральной кисти, когда процессы накопления сухих веществ и масла в семенах заканчиваются. Оптимальная норма препарата при дефолиации – 15 кг/га. К уборке дефолированной клещевины приступают через 10–15 дней после обработки. Дефолиация, проведенная в оптимальный срок, не снижает урожая семян, а их посевные и товарные качества не ухудшаются.

Таблица 95 – Эффективность дефолиации посевов клещевины хлоратом магния (ХМ)

| Вариант | Чистота семян, % | Влажность семян, % | Урожай семян, ц/га | Производительность комбайна, га/ч |
|--------------|------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Контроль | 86,0 | 16,3 | 4,8 | 1,8 |
| ХМ, 15 кг/га | 93,4 | 9,1 | 5,7 | 2,7 |

Хлоратхлорид кальция $[Ca(ClO_3)_2 + CaCl_2]$ – светло-серая жидкость с содержанием 30–32 % хлората кальция. Последний хорошо растворяется в воде, гигроскопичен, малотоксичен для человека и теплокровных животных:

ЛД₅₀ для мышей 1112 мг/кг. ПДК в воздухе рабочей зоны 2,5 мг/м³. Данный препарат в качестве дефолианта рекомендуется на хлопчатнике. Применяют путем опрыскивания посевов с нормой расхода препарата 20–30 кг/га в период раскрытия 1/4 коробочек на большинстве кустов. Дефолиацию хлоратхлоридом кальция рекомендуется заканчивать за 6 дней до сбора хлопка-сырца.

Хлоратхлорид кальция интенсивно поглощается листьями. Через 2–3 дня после обработки растений листья обезвоживаются и опадают. По своему действию препарат сходен с хлоратом магния, но оно проявляется более мягко.

Бутифос [(C₄H₉S)₃PO]. Действующее вещество – S,S,S–трибутилтрифтиофосфат: [(C₄H₉S)₃=O]. Представляет собой жидкость светло-коричневого цвета с неприятным запахом, содержащую 70 % действующего вещества. Бутифос высокотоксичен для человека и теплокровных животных: ЛД₅₀ для крыс 177 мг/кг. ПДК в воздухе рабочей зоны 0,2 мг/м³. Как дефолиант, характеризуется высокой активностью, максимальная эффективность проявляется при температуре воздуха 18–20 °С. Препарат одинаково эффективен как во влажную, так и в сухую погоду. Бутифос – дефолиант контактного действия, т. е. проникает только в те листья, на которые наносится. Препарат показал хорошие результаты на хлопчатнике. Начинать обработку этим дефолиантом рекомендуется при раскрытии 1/4 коробочек на кусте хлопчатника. Оптимальная доза препарата 1,5–3,0 кг/га. Прекращать обработку бутифосом следует за 10 дней до уборки хлопчатника.

7.2.2. Десикация

Десикация – предуборочное подсушивание растений с целью ускорить их созревание и облегчить механизированную уборку урожая. Высыхание растений происходит под влиянием химических веществ-десикантов, которые необратимо повреждают коллоиды протоплазмы, что резко ослабляет водоудерживающую способность клеток, уменьшает количество связанной воды и усиливает испарение. Десиканты быстро высушивают листья и стебли, не повреждая созревающих семян, корнеплодов и клубней.

К. Овчаров, 1971

В настоящее время *десикация* получила всеобщее признание. В частности, данный агроприем стал неотъемлемой частью подготовки хлопчатника к машинной уборке. Сочетание десикации и дефолиации значительно ускоряет темпы созревания и раскрытия коробочек, что происходит не только за счет их положительного влияния на растения, но и в результате изменения микроклимата куста, его осветления и уменьшения влажности воздуха и почвы, повышения температуры в приземном слое воздуха. Это позволяет более быстро и экономично убрать урожай, своевременно очистить поля от гуза-паи и провести зяблевую вспашку в оптимальные агротехнические сроки, что является залогом высокого урожая в следующем году. Кроме того, десиканты оказывают инсектицидное и акарицидное действие, в результате чего сокращается численность сосущих и грызущих вредителей к весне следующего года.

Десиканты могут быть использованы также в процессе возделывания других сельскохозяйственных культур. В частности, они широко используются

для предуборочного удаления ботвы картофеля, на семенных посевах многолетних трав, высадках сахарной свеклы, подсолнечнике, клеверине, конопле, люпине и рисе. В результате десикации ускоряется созревание семян и плодов, уменьшается их влажность, что позволяет механизировать уборку. Десикация особенно необходима в условиях неблагоприятной осенней погоды, при затяжных дождях, а также на высоких фонах удобрений и при орошении, когда может удлиняться вегетационный период. Десикацию, как прием высушивания растений на корню, рекомендуется осуществлять уже после формирования урожая, когда она не может оказать отрицательного влияния на его величину и качество.

Десикантами являются препараты контактного, т. е. местного, действия, обжигающие растения. Проникая в растительные ткани, они, в первую очередь, повреждают клеточные мембраны, нарушая их структуру и функции, вызывают необратимые изменения коллоидов растительных клеток, приводящие к резкому ослаблению их водоудерживающей способности. Далее под воздействием десикантов происходит денатурация белков из-за разрыва химических связей, усиления процессов гидролиза углеводов, ослабление устьичной транспирации и резкое снижение интенсивности дыхания. В результате этих изменений ткани растений усыхают, а содержащиеся в них пластические вещества оттекают в плоды и семена. Десиканты, повреждая листья и стебли, не оказывают отрицательного влияния на зародыши и семядоли семян, т.к. они защищены тканями семяместилиц и семенными оболочками. Ускоренное подсыхание семян, наблюдающееся под действием десикантов, является следствием быстрого обезвоживания материнского растения.

В качестве десикантов могут применяться различные вещества, но чаще всего рекомендуются хлорат магния, хлоратхлорид кальция, бутифос и реглон.

Хлорат магния является наиболее универсальным и надежным десикантом. К тому же он относится к числу наименее токсичных препаратов. Его применяют в виде водного раствора, который готовится в день опрыскивания в железных или деревянных чанах. Хлорат магния не обладает системным действием, поэтому необходимо точно придерживаться рекомендуемых доз (табл. 96; Груздев Г.С., Зинченко В.А., Калинин В.А. и др., 1980).

При правильном применении действие хлората магния проявляется уже через несколько часов. В первые 6 ч растения интенсивно теряют воду и через 48 ч листья становятся почти сухими (табл. 97; Ракитин Ю.В., 1983).

Хлорат магния как эффективный десикант на посевах подсолнечника может быть использован только в тех районах, где в конце августа – первой половине сентября семена имеют влажность не более 35–40 %.

Десикация риса хлоратом магния позволяет вести уборку прямым комбайнированием и свести к минимуму потери зерна (табл. 98; Анненкова Г.Н., Смирнова Р.И., 1968).

Десикация семенников сахарной свеклы не только увеличивает урожай, но и способствует повышению сахаристости корнеплодов (табл. 99; Анненкова Г.Н., Смирнова Р.И., 1968).

Таблица 96 – Применение хлората магния для десикации

| Культура | Норма расхода, кг/га | | Срок применения | Срок ожидания, дни |
|---------------------------|----------------------|-----------------------|---|--------------------|
| | препарата | действующего вещества | | |
| Хлопчатник | 25–35 | 15–21 | раскрытие не менее 50 % коробочек | 6 |
| Рис | 25–50 | 15–30 | полная спелость 70–75 % зерновок в метелке | 10 |
| Пшеница | 20–30 | 12–18 | начало восковой спелости зерна | 10 |
| Подсолнечник | 20–30 | 12–18 | начало побурения корзинок | 10 |
| Картофель | 25–30 | 15–18 | окончание формирования клубней и огрубления кожуры | 10 |
| Клещевина | 15–20 | 9–12 | побурение коробочек на центральной кисти | 10 |
| Соя | 20–30 | 12–18 | побурение бобов на нижнем и среднем ярусах растений | 10 |
| Семенники сахарной свеклы | 15–30 | 9–18 | побурение 30–40 % клубочков | 10 |
| Зеленцовая конопля | 12–18 | 7,2–10,8 | окончание цветения мужских соцветий | 10 |
| Семенники редиса | 25–33 | 15–20 | восковая спелость при влажности семян 50–55 % | 10 |

Таблица 97 – Скорость высыхания листьев фасоли после обработки хлоратом магния

| Время после обработки, ч | Содержание воды, % | |
|--------------------------|--------------------|---------------|
| | контроль | хлорат магния |
| 4 | 6 | 24 |
| 48 | 83,6 | 85,7 |
| 85,7 | 83,4 | 76,0 |
| 68,3 | 53,5 | 39,2 |

Таблица 98 – Урожайность и потери зерна при десикации риса хлоратом магния

| Вариант | Урожайность, ц/га | Прибавка, ц/га | Потери зерна при уборке, ц/га |
|-------------------------|-------------------|----------------|-------------------------------|
| Контроль | 52,5 | – | 2,5 |
| Хлорат магния, 20 кг/га | 55,0 | 2,5 | – |

Таблица 99 – Урожайность и сахаристость сахарной свеклы при десикации хлоратом магния

| Вариант | Урожайность, ц/га | Сахаристость, % |
|-------------------------|-------------------|-----------------|
| Контроль | 275 | 16,8 |
| Хлорат магния, 20 кг/га | 287 | 17,0 |

Хлорат-хлорид кальция применяется для десикации хлопчатника за 6–12 дней до уборки при норме расхода препарата 45–50 кг/га.

Бутифос. Используют для десикации хлопчатника за 10 дней перед уборкой. Норма расхода препарата – 3–6 кг/га.

Реглон. Действующее вещество – дибромид–1,1–этилен–2,2–дипиридил. Хорошо растворимое в воде белое кристаллическое вещество. Относится к среднетоксичным препаратам, ЛД₅₀ для крыс 400 мг/кг. Выпускается в форме 20 %-ного водного раствора.

Возможны два пути воздействия дипиридилов на обмен веществ растения. Первый – через ингибирование переноса электронов в процессе фотосинтеза. В растениях переносчиком электронов является железосодержащий белок ферредоксин, а дипиридилы способны заменять ферредоксин в реакциях фотосинтеза, что приводит к нарушению этого процесса и гибели растения из-за недостатка питания и потери энергии. Второй – в результате вторичного окисления дипиридилов молекулярным кислородом происходит накопление реакционно-способных гидроперекисных радикалов, которые и разрушают клетки растений.

Реглон является эффективным десикантом клещевины. Опрыскивание посевов этим препаратом из расчета 2 кг/га способствует повышению производительности комбайна, сокращению периода уборки, снижению потерь, а также затрат, связанных с сушкой семян.

Опрыскивание реглоном картофеля уменьшает распространение вирусных болезней и положительно влияет на процесс созревания клубней.

Десикация реглоном подсолнечника позволяет снизить влажность семян в 1,5–2 раза и начать уборку на 10–14 дней раньше по сравнению с необработанными посевами. Реглон вносится из расчета 3 кг/га по действующему веществу через 40–45 дней после массового цветения подсолнечника в начале побурения корзинок при влажности семян не более 40 %. Преждевременное опрыскивание ведет к снижению урожая семян и сбора масла.

Эффективна десикация реглоном семенников сахарной свеклы путем опрыскивания растений в период побурения 30–40 % клубочков с нормой расхода препарата 5–10 кг/га. Заканчивать обработку следует за 10 дней до уборки семян.

На семенниках люцерны опрыскивание реглоном допускается не позднее, чем за 7 дней до уборки в условиях орошаемого земледелия. Норма расхода препарата 2–4 кг/га.

Спрут Экстра, ВР – водный раствор, содержащий 540 г/л глифосата кислоты в виде калийной соли. Предназначен для десикации ряда зерновых культур, гороха, рапса, подсолнечника и других с целью снижения потерь при уборке и уничтожения сорняков. Его применение обеспечивает облегчение и ускорение уборки, снижение потерь при комбайнировании, повышение качества продукции за счет уменьшения влажности и засоренности семян, очистку полей от многолетних сорняков под последующие культуры. Попадая на растения, препарат проникает в листья и другие зеленые части и переносится по всем органам, включая корневую систему, блокируя синтез ароматических аминокислот. Видимые симптомы воздействия на культурные растения и однолетние сорняки становятся заметны через 4–5 дней, на многолетние сорняки – через 7–10 дней после обработки и проявляются в виде пожелтения, затем побурения растений, усыхания листьев.

Технология применения. Рабочий раствор готовят непосредственно перед применением и используют в день приготовления. Бак опрыскивателя на 1/3 заполняют водой, включают мешалку, заливают полную дозу препарата и доливают оставшееся количество воды. Затем весь объём тщательно перемешивают. Для опрыскивания применяются серийно выпускаемые наземные штанговые опрыскиватели, предназначенные для внесения гербицидов. При авиационной обработке для приготовления рабочей жидкости бак заполняют на 1/3 водой, при включенной мешалке добавляют расчетное количество препарата и оставшееся количество воды. Приготовление рабочего раствора и заправку опрыскивателя проводят на специальных площадках, заправку агрегата – на стационарных заправочных станциях, которые в дальнейшем подвергают обезвреживанию. Регламент применения препарата приведен в таблице 100.

Таблица 100 – Регламент применения препарата Спрут Экстра, ВР

| Культура | Норма расхода, л/га | | Способ, время обработки, сроки выхода для ручных (механизированных) работ | Срок ожидания (кратность обработок) |
|--------------|---------------------|--|---|-------------------------------------|
| | препарата | рабочего раствора | | |
| Зерновые | 1,3–1,8 | 100–200 – наземное опрыскивание; 25–50 – авиационное опрыскивание | опрыскивание посевов за 2 недели до уборки (при влажности семян не более 30 %), –(3) | –(1) |
| Подсолнечник | | | опрыскивание посевов за 10–15 дней до уборки в фазе начала побурения корзинок (при влажности семян не более 30 %) | |
| Соя | | | опрыскивание посевов в фазе начала побурения бобов нижнего и среднего ярусов (при влажности бобов не более 30 %) | |
| Рапс | | | опрыскивание посевов в начале созревания при побурении 70 – 75 % стручков или влажности семян 25 – 35 %, но не позднее, чем за 10 дней до уборки, – (3) | |
| Горох | | | опрыскивание посевов за 2 недели до уборки при влажности семян 25 – 35 %, – (3) | |

Препарат 3 класса опасности (вещество умеренно опасное); устойчивых видов растений не имеется, кроме трансгенных; случаев возникновения резистентности не выявлено. Хранить препарат в предназначенном для хранения пестицидов помещении при температуре от -15°C до +30°C.

Тонгара, ВР – водный раствор, содержащий 150 г/л диквата. Неселективный контактный десикант для предуборочной десикации подсолнечника, гороха, рапса, семенных посевов зерновых культур, люцерны, моркови, капусты свеклы, клевера, турнепса, бобов кормовых, сои и редиса. Способствует быстро-

му подсушиванию растений, облегчает уборку урожая, обеспечивает быстрое и равномерное созревание, сокращает потери семян при уборке, облегчает уборку, снижает влажность семян. В процессе поглощения листьями растений происходит восстановление молекулы диквата, в результате чего образуется стабильный радикал, который может быть вторично окислен молекулярным кислородом. В результате присоединения электрона кислород превращается в высокореактивный супероксид-анион (O_2^-) и перекись водорода (H_2O_2), окисляющие ненасыщенные жирные кислоты. Образующийся при этом малоновый диальдегид инактивирует электронно-транспортную систему, что становится причиной быстрого разрушения тонопластов, деструкции клеточного содержимого (разрыв митохондрий, разрушение мембран тилакоидов в хлоропластах) и гибели растения в целом. В зависимости от погодных условий признаки десикации обнаруживаются спустя 5–10 дней после обработки. Признаки действия препарата – постепенное увядание, пожелтение, затем и усыхание листьев растений.

Технология применения. Рабочий раствор готовят непосредственно перед применением и используют в день приготовления. При наземной обработке бак опрыскивателя наполняют примерно наполовину водой, вливают в него необходимое количество препарата, доливают водой до полного объема и перемешивают раствор гидравлическими мешалками. Заправочная площадка после работы подвергается обеззараживанию. При авиационной обработке – рабочий раствор готовится механизированным способом непосредственно перед опрыскиванием. Можно использовать стационарные заправочные станции СЗС–10 и передвижные агрегаты АПТ «Темп» или АПЖ–12. Для приготовления рабочей жидкости заполняется 1/2 бака заправочного агрегата чистой водой, включается мешалка, добавляется отмеренное количество препарата и продолжается заполнение бака водой с одновременным перемешиванием. В отдельных случаях при отсутствии специальных наземных средств приготовления и заправки возможно приготовление рабочей жидкости непосредственно в опрыскивателе воздушного судна (ВС). При этом сначала бак наполовину заполняется чистой водой, затем заливается необходимое количество препарата и добавляется вода до требуемого объема. Во время полета ВС к обрабатываемому участку включается гидромешалка для дополнительного перемешивания рабочей жидкости (время работы гидромешалки не менее 2 минут). Регламент применения препарата представлен в таблице 101.

Таблица 101 – Регламент применения препарата Тонгара, ВР

| Культура | Норма расхода, л/га | | Способ, время обработки | Срок ожидания (кратность обработок) |
|--------------|---------------------|-----------------------------------|---|-------------------------------------|
| | препарата | рабочего раствора | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Подсолнечник | 1,5–2,0 | 200–300 – наземное опрыскивание; | начало побурения корзинок | 7(1) |
| Горох | 1,5–2,0 | 50–100 – авиационное опрыскивание | полная биологическая спелость за 7–10 дней до уборки культуры | 7–10(1) |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---------|--|---|---------|
| Рапс яровой и озимый | 1,5–2,0 | | побурение семян в стручках среднего яруса | 7(1) |
| Соя | 1,5–2,0 | | побурение 50–70 % бобов за 7–10 дней до уборки культуры | 7–10(1) |
| Зерновые колосовые культуры | 1,5–2,0 | | созревание при влажности зерна не выше 30 % | 7(1) |
| Люцерна (семенные посевы) | 2,0–4,0 | | побурение 85–90 % бобов | |
| Картофель (семенные посадки) | 2,0 | | окончание формирования клубней и огрубления кожуры | |
| Картофель (сильно облиственные сорта) (семенные посадки) | 2,0 | | окончание формирования клубней и огрубления кожуры, с интервалом между обработками 3–5 дней | 7(2) |
| Морковь (семенники) | 2,5–3,0 | 200–300 – наземное опрыскивание; 50–100 – авиационное опрыскивание | начало полной спелости семян в зонтиках 2 порядка при влажности семян не выше 50 % | |
| Капуста (семенники) | 2,0–3,0 | | в фазе полной восковой – начале биологической спелости семян при влажности не более 50 % | |
| Свёкла сахарная, столовая, кормовая (семенники) | 3,0–4,0 | | побурение 20–40 % клубочков | |
| Клевер красный ползучий (семенники) | 2,0–4,0 | | побурение 75–80 % головок | 7(1) |
| Турнепс (семенники) | | | восковая – начало полной спелости при влажности семян не более 45–50 % | |
| Бобы кормовые (семенники) | | | при приобретении семенами в бобах нижнего яруса характерной для сорта окраски, семенной рубчик – черный | |
| Редис (семенники) | | | восковая спелость семян при влажности не выше 55 % | |
| Сорго (семенники) | | | восковая спелость | |

Вещество высокоопасное (2 класс), десикант общего действия, устойчивых к его действию культур нет; случаев возникновения резистентности для препарата не выявлено. Хранить препарат в предназначенном для хранения пестицидов помещении при температуре от –15 до +30°C.

7.2.3. Сеникация

Сеникация улучшает условия налива зерновок и, соответственно, посевные качества семян. Это влияние значительно больше на семена с низкими посевными качествами, т. е. сеникации способствуют сдвигу фенотипического проявления признака в благоприятную сторону в пределах нормы реакции генотипа.

Е.П. Алешин, 1981

В онтогенезе у растений последовательно сменяются конкурентные отношения между органами: побег–корень, лист–цветок, лист–плод, за обладание метаболитами. На каждом этапе развития у растения существует свой физиологически активный центр, или свой «центр запасов», к которому направляется наибольшее количество ассимилятов. На последних стадиях развития растения конкурентные отношения в системе лист–плод складываются в пользу последнего и пластические вещества транспортируются именно к ним, как наиболее физиологически активному центру на данном этапе онтогенеза.

Перед формированием урожая в метаболизме листьев происходит резкий сдвиг в сторону усиления гидролитических процессов, приводящих к распаду белков и крахмала на более простые соединения: аминокислоты и сахара, которые и передвигаются в генеративные органы – плоды и семена.

Целенаправленное регулирование оттока пластических веществ из листьев и стеблей в генеративные органы является узловым звеном управления продуктивностью растения. Как известно, пластические вещества аттрагируются в созревающие плоды и семена далеко не полностью, значительная их часть остается в вегетативных органах до их отмирания. К тому же затяжная «молодость» вегетативных органов, зачастую имеющая место из-за неблагоприятных погодных условий, сопровождается непроизводительной тратой пластических веществ в ущерб урожаю. Поэтому и зародилась идея ускорения старения листьев с целью более интенсивного «выкачивания» из них пластических веществ. В результате научных поисков были разработаны способы дефолиации и десикации, оказавшиеся полезными в хлопководстве, а также для клещевины, подсолнечника, картофеля, сахарной свеклы и ряда других сельскохозяйственных культур. Для зерновых культур самой полезной оказалась *сеникация* – агроприем, обеспечивающий ускоренное завершение растениями своего жизненного цикла и увеличение их продуктивности.

Сеникация, как и десикация, направлена на ускорение онтогенеза растений, но имеет иной механизм действия. В основе механизма десикации лежит преимущественно физический процесс обезвоживания тканей растения в результате необратимого повреждения десикантом коллоидов протоплазмы клеток. Сеникация является физиологическим процессом ускорения метаболизма растения, усиления оттока ассимилятов из вегетативных органов в генеративные – плоды и семена. Сеникация является, по существу, поздней некорневой подкормкой растений макро- и микроэлементами. Она обеспечивает ускорение созревания и лучший налив зерновок. Причем, ускорение созревания является лишь сопутствующим и весьма полезным фактором при совпадении созревания урожая с неблагоприятными погодными условиями, препятствующими завер-

шению онтогенеза. В качестве сениканта используются физиологически активные вещества, вызывающие усиление обмена веществ растения и ускорение созревания. На первых этапах поиска сеникантов испытывались 20 %-ные водные растворы двойного суперфосфата и аммофоса с микродозами аминной соли 2,4-Д. Использование их в качестве сеникантов на посевах риса приводило к усилению гидролитических процессов в растениях, повышению оттока пластических веществ в зерновки и сокращению периода вегетации посевов на 5–7 дней. Однако существенным недостатком этих сеникантов оказалась их плохая растворимость, а, следовательно, неравномерность физиологического действия на посевах. В этом плане более эффективным сеникантом оказались карбамид и аммонийная селитра в комплексе с регуляторами роста растений или с микроэлементами. Азот сениканта легко проникает в ткани растения и вызывает деструктивные процессы – гидролиз органических соединений, тем самым создает условия для ускоренного перемещения продуктов распада в зерновки и сам к тому же служит дополнительным источником.

В наших опытах сеникация посевов риса ускоряла созревание зерна на 4–6 дней, способствовала лучшему наливу зерновок – масса 1000 зерен возрастает на 3–7 %, снижению влажности зерна на 1,5–3,0 % и повышению урожайности на 5–7 ц/га (табл. 102). Этот агроприем проводили в фазе молочно-восковой спелости зерна. В качестве сениканта для риса использовали водный раствор мочевины (35 кг/га) с добавлением аминной соли 2,4-Д (22 мл/га) и борной кислоты (0,4 кг/га по д. в.). Норма расхода рабочей жидкости – 150 л/га.

Таблица 102 – Эффективность сеникации посевов риса

| Показатели | Контроль | Обработка сеникантом |
|---------------------------|----------|----------------------|
| Вегетационный период, дни | 116 | 110–112 |
| Масса 1000 зерен, г | 27,0 | 28,0–28,9 |
| Влажность зерна, % | 22,6 | 19,6–21,3 |
| Урожайность зерна, ц/га | 54,0 | 58,7–61,1 |

Наиболее эффективна сеникация пшеницы в начале восковой спелости зерна 5 % водным раствором аммиачной селитры с добавлением микродозы аминной соли 2,4-Д. При ее проведении урожайность возрастает на 3–5 ц/га и на 3–5 дней сокращается продолжительность вегетационного периода.

Сеникация может быть перспективной и при выращивании кукурузы на зерно. При ее проведении в фазе молочно-восковой спелости в листьях кукурузы усиливаются процессы гидролитического распада сложных соединений и их отток, характерные для естественного старения. В результате обработки листьев в зерне кукурузы усиливаются процессы синтеза углевода, белков, уменьшается содержание воды. Все это в конечном итоге приводит к увеличению урожая початков, ускорению созревания, повышению качества зерна. Лучшие результаты получаются при использовании в качестве сениканта смеси 0,1 % 2,4-Д и аммиачной селитры.

В качестве сеникантов используют и регуляторы роста растений из группы этиленпродуцентов – этефон, гидрел. Этиленпродуценты обладают «мягкостью» физиологического действия и в используемых для сеникации

концентрациях не представляют опасности для окружающей среды и человека. Гидрел разрешен для применения с целью ускорения созревания томата и испытывался в качестве сениканта на посевах яровой пшеницы. Сеникацию проводили в конце фазы молочной спелости – начале восковой спелости в дозе 400 г/га. Как показали результаты эксперимента, мочевина и гидрел имеют равный сеницирующий эффект, ускоряя созревание зерновок по сравнению с контролем (опрыскивание водой) на 6–8 дней.

Все исследователи считают сеникацию высокоэффективным агроприемом, направленным на сокращение продолжительности воздействия на агроценоз экстремальных погодных условий при возделывании яровой пшеницы в зоне рискованного по климатическим условиям размещения посевов. Это особенно важно для зон достаточного и избыточного увлажнения, где повышенная относительная влажность воздуха и пониженные температуры приводят нередко к затягиванию и неравномерному созреванию, энзимомикозному истеканию, растягиванию периода уборки, отрицательно сказывающихся на физических, посевных и урожайных качествах семян. Сеникация эффективна на поздних посевах риса, а также при возделывании позднеспелых сортов. Однако отдельные вопросы, касающиеся данного агроприема, остаются слабоизученными. В частности, у исследователей нет единого мнения о сроках проведения сеникации. Так, В.Ф. Яковлева считает лучшим сроком проведения этого агроприема фазу молочной спелости зерна риса. Е.П. Алешин, Г.Г. Фанян и И.Н. Ступак рекомендуют проводить сеникацию через 10–11 суток после фазы цветения; А.А. Кушу считает оптимальным сроком применения сеникации на посевах риса фазу молочно-восковой спелости зерна.

Как уже неоднократно подчеркивалось, из всех факторов среды, оказывающих влияние на рост и развитие растений, наиболее значимым является температура воздуха и почвы. Именно ее величиной определяется скорость поступления в растения элементов питания и воды, физиологических процессов (фотосинтез и дыхание), передвижение продуктов фотосинтеза в созревающие зерновки. Исследования агрометеорологов доказали зависимость продолжительности вегетационного периода и отдельных фаз вегетации от сумм эффективных температур. Для риса эффективной температурой является +15°C. Суммы эффективных температур – хорошо идентифицируемый показатель. Ее легко рассчитать на основании среднесуточных температур, сведения о которых можно получить на ближайшей метеостанции или на одном из сайтов, например <http://rp5.ru>, <http://www.gismeteo.ru> и др.

Нами установлено, что показанием к проведению сеникации является понижение минимальных значений температуры воздуха до +15...+16°C на фоне высоких значений максимальных суточных температур. Сеникацию назначают на фазу конец молочной – начало восковой спелости зерна. Точных критериев наступления этой фазы нет. Принято считать, что зерновки в этой фазе спелости характеризуются влажностью от 60 до 20 %, причем единого мнения среди исследователей на этот счет нет. За период наших исследований дата проведения сеникации совпадала с накоплением температур выше +15°C величины 750–850°C. Определение влажности зерновок трудно емко вследствие необходимости отбора среднего образца с каждого чека. Назначать агроприем на дату накопления эффективных температур удобнее,

но для этого необходимо сузить диапазон оптимальных ее значений, если это имеет существенное значение. Для установления оптимального срока проведения сеникации посевов проведено сравнительное изучение эффективности агроприема при его проведении в диапазоне сумм эффективных температур от 600 до 800 °С с интервалом 50 °С.

Как уже отмечалось, завершающая стадия онтогенеза – созревание, – сложный биохимический процесс, связанный не только с поступлением ассимилятов в зерновку, но и с биосинтезом запасных веществ из низкомолекулярных соединений. При созревании происходит устойчивое снижение влажности на фоне увеличения массы сухого вещества и общего числа клеток, как зародыша, так и эндосперма. Основная масса воды на ранних этапах созревания теряется семенами метаболическим путем, а затем чисто физическим – за счет испарения. С биологической точки зрения созревшими принято считать семена, способные дать начало новому поколению. Техническая зрелость наступает несколько позднее. Условно, наступление полной спелости фиксируется при влажности метелок 25–30 %. Для понимания влияния сеникации на созревание растений проследили за изменением влажности и сухой массы вегетативных органов и зерновок риса. Сеникацию проводили 5 августа (609 °С), 12 августа (669 °С), 15 августа (701 °С), 19 августа (752 °С) и 23 августа (797 °С). В год проведения исследований термический режим в период созревания риса, по крайней мере, в большей его части, был благоприятен для налива зерновок.

Сеникант, попадая на листовые пластинки и метелки, воздействует на них в первую очередь. Как в варианте без сеникации, так и с ней в процессе созревания отмечается устойчивое снижение оводненности листьев. Влажность листьев у растений риса снижается медленнее, чем у других злаковых культур вследствие их произрастания в затопленной водой почве. Практически всегда при созревании зерновок растения имеют еще довольно обширную листовую поверхность.

Проведенный анализ динамики влажности листьев, стеблей и метелок показал, что сеникация вносит существенные коррективы в процесс созревания зерновок. Степень воздействия сениканта определяется его составом и сроком обработки растений. В первые 1–2 недели после сеникации отмечается увеличение влажности листьев и стеблей. Одной из причин такого отклика растений на сеникацию может быть повышение азотного статуса растений. Затем у обработанных растений быстрее, чем у контрольных, снижается влажность вегетативных органов растений.

Воздействие сеникантов на динамику влажности зерновок более значительно, чем на вегетативные органы. В зависимости от срока проведения обработок 25 % влажности зерновки достигают на 3–10 дней раньше, чем в контроле.

Оптимальным сроком для сеникации следует считать дату достижения суммы температур выше +15 °С в количестве 700–750 °С. Проведенная в этот период, она не вызывает преждевременного обезвоживания листьев и зерновок и не замедляет их налив. Наиболее сильно ее воздействие в первые две недели после обработки, затем оно ослабевает. В конечном итоге это выражается в увеличении на 3,5–10 % по сравнению с контролем массы метелок. Более ранняя сеникация приводит к преждевременному завершению налива зерновок и, следовательно, снижению продуктивности растений. Поздняя сеникация не оказывает существенного воздействия на налив зерно-

вок. Увеличение урожайности зерна риса на 0,36–0,39 т/га и 0,30–0,34 т/га отмечено под воздействием сеникации, проведенной при достижении суммы температур выше +15°C 700 и 750°C соответственно. Наиболее эффективными сеникантами были водные растворы аммонийной селитры и карбамид-аммонийная смесь (КАС) модифицированные марганцем.

Достоверных различий между сеникантами «аммонийная селитра + Mn» и «КАС+Mn» не обнаружено, хотя тенденция к формированию большего урожая под воздействием последнего наблюдалась во все сроки сеникации. При несвоевременной сеникации ущерб также выше от сениканта на основе КАС. Это связано с его большим, чем аммонийной селитры, воздействием на снижение влажности листьев.

Таким образом, анализ динамики созревания зерновок риса после обработки растений сеникантами и урожайности показал, что сеникацию при необходимости следует проводить при наборе суммы температур выше +15°C в количестве 700–750°C. Использовать для этого целесообразно водные растворы аммонийной селитры из расчета 15 кг/га или карбамид-аммонийной смеси (КАС) в соотношении с водой 1:5 (КАС:H₂O) модифицированных добавлением 400 г/га марганца с расходом рабочего раствора 300 л/га.

7.3. Ингибиторы нитрификации

Для снижения потерь азота и устранения опасности загрязнения нитратами растениеводческой продукции и окружающей среды разрабатываются новые формы азотных удобрений – медленнорастворимые, капсулированные с контролируемой скоростью высвобождения азота, модифицированные ингибиторами нитрификации. Последние препараты при внесении в почву вместе с аммонийными, аммиачными удобрениями и мочевиной тормозят нитрификацию в течение 1,5–2,0 месяцев и сохраняют минеральный азот почвы и удобрений в аммонийной форме.

П.М. Смирнов, Э.А. Муравин, 1991

Ингибиторы нитрификации – химические соединения, задерживающие или подавляющие процессы нитрификации и денитрификации в почве и за счет этого снижающие потери азота вследствие выщелачивания.

В.Г. Минеев, 2004

В повышении продуктивности сельскохозяйственных культур ведущая роль принадлежит минеральным удобрениям, из которых первостепенное значение имеют азотные. На их долю приходится, как правило, более 80 % суммарной прибавки урожая, получаемой от применения промышленных туков. Тем не менее, возможности азотных удобрений реализуются культурными растениями еще далеко не полностью. Растения усваивают азот в полевых условиях примерно на 40 %, в отдельных случаях – на 50–70 %. Около 20–30 % внесенных азотных удобрений иммобилизуется в почве. Определенная доля азота включается в состав гумусовых веществ, устойчивых к гидролизу. Потери азота за счет улетучивания различных газообразных

соединений составляют в среднем 15–25 % от внесенного. Газообразные потери происходят как вследствие биологической денитрификации, т. е. восстановления нитратов до молекулярного азота, так и в результате химических реакций. Эти процессы находятся в тесной связи с почвенными условиями, ее кислотностью, влажностью, температурой, степенью аэрации, скоростью потребления азота растениями и микроорганизмами. Имеются данные, что из-за денитрификации суточные потери азота достигают 0,5 мг/кг почвы. Потери от вымывания также зависят от свойств почвы, климата, водного режима, формы и дозы удобрения, вида культуры и т. д. Например, в Европе 2/3 потерь азота приходится на зимний период и 1/3 – на летний. В России в Нечерноземной зоне за сезон в среднем вымывается 10–15 кг/га нитратного азота, на супесчаных почвах – 20–25 кг/га, на суглинистых – до 10 кг/га. Потери азота из почвы оказывают негативное воздействие на биосферу – почву, грунтовые воды, атмосферу и растения, а через них – на животных и человека. Трансформация мочевины в почве представлена на рисунке 21.

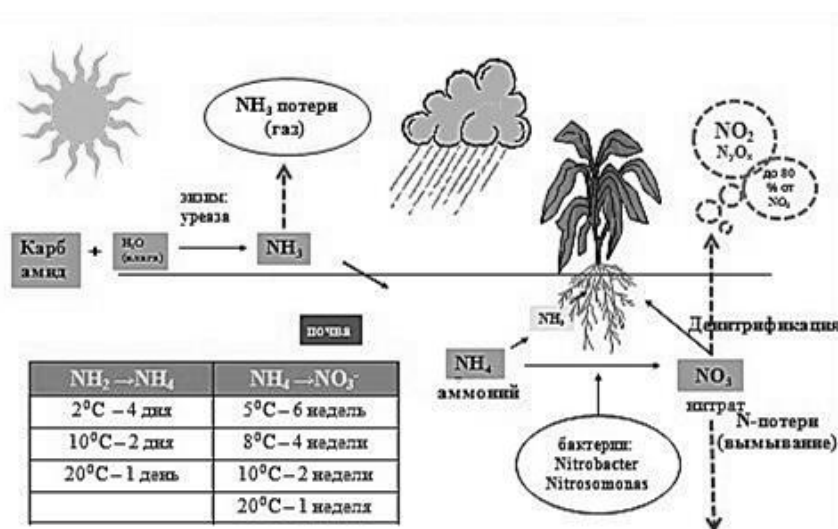


Рисунок 21 – Трансформация мочевины в почве (<https://www.agroxxi.ru/zhurnal-agromir-xxi/stati-rastenievodstvo/udobryajte-bez-poter.html>).

По данным немецкого ученого-агрохимика Нильса Бергера, потери азота из внесенных удобрений только из-за вымывания нитратов могут достигать 60 %. От 20 до 60 % в зависимости от почвенных условий и климата улетучивается в виде аммиака, 2–4 % в форме N_2O , 20–40 % в виде NO . Последние два газа наиболее опасны: закись азота – это парниковый газ, который влияет на глобальное потепление, а оксид азота разрушает озоновый слой.

Учитывая столь большие потери азота, под сельскохозяйственные культуры вносят заведомо завышенные дозы удобрений, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на санитарном состоянии окружающей среды, загрязнении ее токсичными остатками. В связи с этим удовлетворение потребности сельскохозяйственных культур в азоте путем повышения эффективности вносимых удобрений, а не за счет увеличения их доз, является важнейшей задачей агрохимии, имеющей большое народнохозяйственное и природоохранное значение.

Одним из экологически безвредных путей повышения эффективности азотных удобрений и увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур является применение *ингибиторов нитрификации*. Это химические препараты, которые при внесении в количестве 0,5–2,0 % от азота удобрений на 1–2 месяца подавляют жизнедеятельность нитрифицирующих микроорганизмов и тем самым способствуют сохранению азота в почве в аммонийной форме. Затормаживая процесс нитрификации, они снижают потери азота, как в газообразной форме, так и от вымывания нитратов из корнеобитаемого слоя почвы, вследствие чего устраняют опасность загрязнения этими соединениями водных источников и уменьшают их содержание в растениеводческой продукции. Ингибиторы нитрификации должны подавлять жизнедеятельность нитрифицирующих микроорганизмов, осуществляющих лишь первый этап нитрификации; не быть токсичными для растений, животных и человека; ингибировать нитрификацию в строго определенный период; обладать избирательностью действия на микрофлору почвы; легко передвигаться в почве с удобрениями, чтобы охватить зону действия внесенного азота и быть недорогим. Они должны обеспечивать уменьшение кратности дробного внесения азотных удобрений, снижение потерь азота, предотвращение накопления нитритов и нитратов в продуктах питания человека и животных.

В настоящее время в мире известно около 300 химических соединений нитрифицидного действия. Наиболее широко распространены и изучены нитрапирин, дициандиамид, производные аминометилпиримидина, пиразолы, тиазолы и триазины. Нитрифицидным действием обладают также сероуглерод, тиосульфат аммония, азид калия, азид натрия, анилиды, производные мочевины и ацетилена, а также микроэлементы. Небольшие дозы этих соединений селективно подавляют нитрификацию, не угнетая другие микробиологические процессы в почве.

Нитрапирин. Активным ингредиентом этого ингибитора нитрификации является 2-хлор-6 (трихлорметил) пиридин. Эмпирическая формула $C_6H_3NCl_4$; молекулярная масса 230,9; температура плавления около 63 °С. Нитрапирин представляет собой белое кристаллическое вещество с резким запахом, обладающее высокой летучестью и коррозионной активностью. Этот препарат практически не растворим в воде, но хорошо растворяется в ацетоне, хлористом метиле, ксилоле, безводном аммиаке. Нитрапирин относится к числу малотоксичных соединений, кумулятивные свойства выражены слабо. Препарат обладает специфическим тератогенным гонадо- и эмбриотоксическим действием. LD_{50} нитрапирина для крыс составляет 3500–3850 мг/кг. Препарат неустоек и быстро разлагается на воздухе, поэтому требует незамедлительной заделки.

ДЦДА – дициандиамид (циангуанидин). Эмпирическая формула $C_2H_4N_4$; молекулярная масса 84,1; температура плавления 210 °С. Это белый, негигроскопичный, нелетучий кристаллический порошок, имеющий неограниченное время хранения. Препарат хорошо растворим в воде и безводном аммиаке. ДЦДА в своем составе содержит 66,7 % азота, который после минерализации до аммония служит источником питания для растений.

АМ – 2-амино-4-хлор-6-метилпиримидин. Эмпирическая формула $C_5H_6N_3Cl$; молекулярная масса 143,6; температура плавления 182 °С. АМ представляет собой слабо растворимый в воде порошок желто-коричневого цвета. В рекомендуемых дозах нетоксичен для теплокровных.

ЦП – 2-циамино-4-гидрокси-6-метилпиримидин. Эмпирическая формула $C_6H_6N_4O$; молекулярная масса 150; температура плавления 196 °С. ЦП представляет собой слабо растворимый в воде белый кристаллический порошок, без запаха. В рекомендуемых дозах совершенно нетоксичен для теплокровных.

АТС. Химическое название активного ингредиента этого ингибитора нитрификации 4-амино-1,2,4-триазол. Эмпирическая формула $C_2H_4N_4$; молекулярная масса 84,1; температура плавления около 150 °С. Обладает избирательной способностью к торможению нитрификации на первой стадии процесса. Производится в виде водного раствора или вводится в виде кристаллического гидрохлорида в состав азотных и комплексных удобрений. Нелетуч, без запаха. Хорошо растворим в воде, слабо – в низкомолекулярных спиртах и ацетоне, нерастворим в бензоле, ксилоле и эфире. ЛД₅₀ для мышей составляет 6000 мг/кг.

АТГ – отечественный аналог японского ингибитора нитрификации АТС. В Дзержинском филиале ГИАП разработана новая технология производства 4-амино-1,2,4-триазола, которая, в отличие от известной технологии, позволяет получить продукт в кристаллическом виде. АТГ представляет собой белый кристаллический порошок с температурой плавления более 80 °С. Т. к. ингибитор этого типа не разлагается в расплаве карбамида, АТГ может быть введен в карбамид или его смеси с аммиачной селитрой на любой стадии их производства.

Этридиазол (терразол) – 5-этоксис-3-трихлорметил-1,2,4-тиадиазол. Эмпирическая формула $C_5H_8ON_2$; молекулярная масса 106,2. Производится в виде смачивающегося порошка или жидкости с содержанием активного ингредиента соответственно 35 и 95 %. Терразол обладает высокой летучестью, поэтому требует немедленной заделки в почву после внесения. В рекомендуемых дозах нетоксичен для теплокровных.

КМП (ГММП – отечественный аналог) – 1-карбамоил-3(5)-метилпиразол. Эмпирическая формула $C_2H_7N_2O$; молекулярная масса 125,1; температура плавления около 130 °С. КМП представляет собой бесцветный или светлосерый мелкокристаллический порошок со слабым неспецифическим запахом. Хорошо растворим в ацетоне, этаноле, диэтиловом эфире, слабо – в воде и бензине. Этот препарат относится к группе умеренно опасных веществ. ЛД₅₀ для крыс составляет 5000 мг/кг. Многочисленными исследованиями, проведенными в нашей стране и за рубежом, установлена высокая эффективность применения ингибиторов нитрификации с азотными удобрениями в рисоводстве.

Из большого числа ингибиторов нитрификации наиболее полно изучен нитрапирин. Торможение с помощью этого препарата нитрификации азота аммонийных и амидных удобрений при возделывании риса и резкое снижение в связи с этим интенсивности денитрификации и вымывания нитратов подтверждено во многих странах. В нашей стране широкомасштабное изучение ингибиторов нитрификации, в т. ч. и нитрапирина как средства для снижения потерь азота удобрений и повышения их эффективности были начаты в 1964 г. под руководством П.М. Смирнова. За это время им и его учениками и последователями испытано более 60 различных препаратов и установлена целесообразность их применения под картофель, рис, зерновые и овощные культуры.

Применение ингибиторов нитрификации наиболее целесообразно в условиях орошаемого земледелия, в частности в рисоводстве. По нашим данным, при их внесении под рис происходила консервация азота удобрений в ам-

монийной форме в течение 6–8 недель, т. е. до создания постоянного слоя воды на рисовом поле, улучшалось азотное питание растений с самого начала вегетации. При этом под влиянием ингибиторов нитрификации коэффициент использования азота удобрений рисом повысился на 1,5–5,8 %, а урожайность зерна увеличилась на 2,1–3,3 ц/га по сравнению с производственным контролем (табл. 103).

Таблица 103 – Эффективность применения ингибиторов нитрификации под рис

| Удобрение | Коэффициент использования азота удобрений, % | Урожайность зерна, ц/га | Прибавка, ц/га |
|---|--|-------------------------|----------------|
| P ₆₀ K ₃₀ – фон | — | 54,6 | — |
| Фон + N ₉₀ | 29,1 | 61,7 | 7,1 |
| Фон + N ₆₀ + N ₃₀ | 32,6 | 69,4 | 14,8 |
| Фон + N ₉₀ + АТГ | 34,1 | 71,5 | 16,9 |
| Фон + N ₉₀ + ДЦДА | 35,2 | 72,2 | 17,6 |
| Фон + N ₆₀ + АТГ | 37,3 | 71,6 | 17,0 |
| Фон + N ₆₀ + ДЦДА | 38,4 | 72,7 | 18,1 |

На посевах риса наиболее эффективным ингибитором нитрификации является ДЦДА (дициандиаמיד). Этот препарат обеспечивает наиболее полное использование азота удобрений и большую прибавку урожайности зерна риса. Применение ингибиторов нитрификации позволяет не только сократить дозу азотного удобрения, но и исключить азотные подкормки, т. е. дает возможность вносить азотные удобрения за один прием перед посевом риса, не опасаясь значительных потерь этого элемента питания.

Технология применения ингибиторов нитрификации на посевах сельскохозяйственных культур определяется их состоянием – включены они в состав азотного удобрения или находятся в препаративной форме. Если ингибитор введен в состав азотного удобрения, изготовленного на химическом комбинате, то технология его использования соответствует общепринятой для данной культуры технологии применения удобрений. Только азотные удобрения, модифицированные ингибитором нитрификации, вносятся в один прием перед или одновременно с севом разбросным или локальным способом. При внесении вразброс дозу азота уменьшают на 25–30 %. При локальном внесении таких удобрений усиливается ингибирующее действие на нитрификацию и в большей степени повышается их эффективность, что позволяет снизить дозу на 40–50 %.

При использовании препаративных форм ингибиторов нитрификации азотные удобрения вносят до посева разбросным способом дозой, уменьшенной на 25–30 %. Затем с помощью опрыскивателей на поверхность почвы следом наносится водный раствор ингибитора нитрификации и заделываются на глубину 10–12 см тяжелыми дисковыми боронами в два следа. Концентрация препарата определяется видом опрыскивателя, т. е. дозу ингибитора растворяют в том количестве воды, которое обеспечит необходимый объем рабочей жидкости. Для поверхностного внесения рабочего раствора ингибитора нитрификации можно использовать опрыскиватели: ОВТ–1А, ОВТ–1В, ОП–450, ПОУ и другую имеющуюся в хозяйстве технику.

При использовании высоколетучих препаратов типа нитрапирина необходима немедленная заделка в почву. Нелетучие ингибиторы нитрификации, такие как АТГ и ДЦДА можно заделывать в почву в течение 1–2 сут. или наносить на гранулы удобрения в виде покрытия.

Дозы вносимых ингибиторов нитрификации определяются их ингибирующей способностью. Циангуанидин рекомендуется применять в количестве 10–15 %, нитрапирин и его аналоги – 2–3 % от дозы азота удобрения. При использовании в рекомендованных дозах депрессия микробиологических процессов может быть лишь в отдельных зонах, куда попадают значительные количества препарата из-за их неравномерного распределения в почве. Продолжительность действия препаратов зависит от почвенно-климатических условий и влажности почвы. В большинстве случаев их ингибирующее действие продолжается 6–8 недель, а при осеннем внесении значительно дольше. Опытные данные показывают, что азотные удобрения можно вносить совместно с ингибиторами нитрификации осенью, не опасаясь значительных потерь азота. Внесение ингибитора нитрификации с азотным удобрением в подкормку по вегетирующим растениям без заделки в почву совершенно недопустимо.

В настоящее время в Российской Федерации проводится большая работа по совершенствованию технологии применения минеральных удобрений, повышению качества работ, снижению непроизводительных потерь азота. Один из путей решения данной проблемы связывают с использованием новых форм удобрений с ингибиторами ENTEC® и UTEC®.

ENTEС — это инновационный продукт для стабилизации азотных удобрений, который снижает интенсивность процесса нитрификации аммиака с образованием нитрата в почве. UTEC — аналогичный продукт, блокирующий почвенный фермент уреазу и предотвращающий улетучивание аммиака в ходе гидролиза мочевины. Оба ингибитора сокращают потери внесенного азота, увеличивая эффективность использования азотных удобрений. В итоге средства, вложенные в минеральное питание растений, полностью используются на формирование урожая. Как показали первые полевые опыты по исследованию эффективности нитроаммофоски с ENTEC, введение в удобрение ингибитора нитрификации значительно увеличивает отдачу от внесения, что можно приравнять к дополнительному применению азотных туков. Благодаря равномерному высвобождению азота и его постепенному использованию исключается избыточное поступление этого элемента в растения в период вегетации, повышается степень его усвоения и происходит формирование высокого урожая. Удобрение с ингибитором ENTEC в зависимости от метода внесения подавляет процесс нитрификации от 20 до 65 дней, позволяя увеличить период усвоения аммонийного азота на 1,5–2 месяца и в 2–3 раза снизить потери азота в газообразной форме, а также из-за вымывания нитратов водой. По данным опытов, проведенных в различных регионах Российской Федерации на картофеле, удобрение N:P:K=14:14:23 ENTEC, например, способствовало получению прибавки урожая до 21,3 % с максимальным выходом товарной фракции клубней (>50 мм в диаметре). Высокоэффективным оказалось применение их на сахарной свекле, ячмене и озимой пшенице.

ENTEС содержит действующее вещество ДМПФ – 3,4 диметилпиразол фосфат. Это – ингибитор нитрификации, который наносится на поверхность гранул аммонийных удобрений для защиты аммиака от преобразования в нитрат.

Действие ингибитора заключается в блокировании энзима почвенных бактерий *Nitrosomonas* – монооксигеназы аммония. При блокировке этого энзима ингибируется первый этап процесса нитрификации – окисление аммонийного азота до нитритного азота. Негативного воздействия на жизнедеятельность бактерий *Nitrosomonas* при этом не происходит. В итоге аммоний из удобрения сохраняется в почве длительное время.

Замедление нитрификации дает ряд преимуществ, способствующих повышению эффективности удобрений. Во-первых, сокращаются потери от вымывания нитратов, которые особенно велики при выпадении большого количества осадков в период вегетации. В результате вымывания загрязняются водоемы, и причиняется вред здоровью человека. Во-вторых, снижаются выбросы и потери азота в виде парникового газа N_2O или разрушающего озон газа NO . Как показывают исследования отечественных и зарубежных исследователей, использование ингибиторов нитрификации сокращает выбросы N_2O , который в 300 раз сильнее влияет на глобальное потепление атмосферы, чем CO_2 . Внедрение технологии ENTEC позволяет сделать применение удобрений экологически безопасным с точки зрения влияния на глобальные климатические изменения. И, в-третьих, аммонийная подкормка культур оказывает положительное физиологическое действие на рост урожая.

Как известно, растения поглощают и усваивают азот из удобрений в двух формах: аммонийной и нитратной. Хорошо подвижная в почве нитратная форма усваивается легче – она перемещается с транспирационным током воды из почвы в растение. Поглощение аммонийного азота происходит лишь в непосредственной близости к корню. И при поглощении одной единицы аммонийного азота корень выделяет в почвенный раствор один протон (H^+), чтобы предотвратить закисление цитоплазмы клетки.

Использование ингибиторов нитрификации заставляет культуры поглощать аммонийный азот после того, как нитраты будут исчерпаны в почве. Аммонийный азот положительно влияет на биосинтез белка, поскольку аммоний — это один из основных компонентов аминокислот и белков. При поглощении только нитратного азота культуре приходится тратить около 20 моль АТФ (единиц биологической энергии) на один моль нитратного азота, чтобы в процессе биосинтеза в клетке он превратился сначала в аммонийный азот и только после этого — в аминокислоты. При поглощении аммонийного азота требуемое для биосинтеза количество энергии снижается до 5 моль АТФ. Эта разница позволяет культуре давать более высокий урожай. Кроме того, благодаря выделению протонов в ризосферу, при поглощении аммония повышается доступность для растений некоторых элементов питания, таких как фосфор и микроэлементы.

В конечном итоге применение аммиачных удобрений с ингибитором нитрификации способствует повышению объема товарного урожая, улучшению его качественных характеристик, таких как размер и вес плодов, а также увеличению устойчивости к заболеваниям.

УТЕС – ингибитор уреазы, активный ингредиент НБТФТ – (н-бутил)тиофосфорный триамид. Он наносится на поверхность гранул мочевины. Механизм действия ингибитора уреазы прост: после внесения удобрения в почву НБТФТ защищает мочевины от атак уреазы во время ее гидролиза. Этот эффект длится до 15 дней, сокращая улетучивание аммиака, проис-

ходящее вследствие разложения мочевины. Трансформация мочевины с ингибитором уреазы UTEC в почве показана на рисунке 4.

Снижение потерь азота в виде аммиака благодаря использованию ингибиторов уреазы UTEC может достигать 60 % по сравнению с потерями из обычной мочевины. Эффективность ингибиторов уреазы зависит от факторов окружающей среды: pH почвы выше 7 увеличивает общую эмиссию NH_3 , а высокая температура ускоряет процесс гидролиза.

Применение мочевины, обработанной ингибитором, обеспечивает больше гибкости агроному с точки зрения времени внесения удобрения. Предотвращение потерь азота в виде аммиака одинаково эффективно как в сухой период, так и во время кратковременных дождей. Благодаря действию ингибитора агроном имеет запас времени от внесения до усвоения азота растением. Если же впоследствии проходит дождь (14 мм и более), удобрение адекватно смывается в почву и действует в качестве подкормки культуры. Таким образом, условия питания растений не ухудшаются даже в стрессовых погодных условиях, а вложения в подкормки полностью окупаются адекватными прибавками урожая.

Мочевину, обработанную ингибиторами уреазы, можно вносить на поверхность почвы без необходимости заделки. Риск потери азота из-за улетучивания при этом даже меньше, чем в случае заделки. При использовании обычной мочевины снизить потери аммиака настолько же эффективно можно только при условии заделки удобрения на глубину более 8 см.

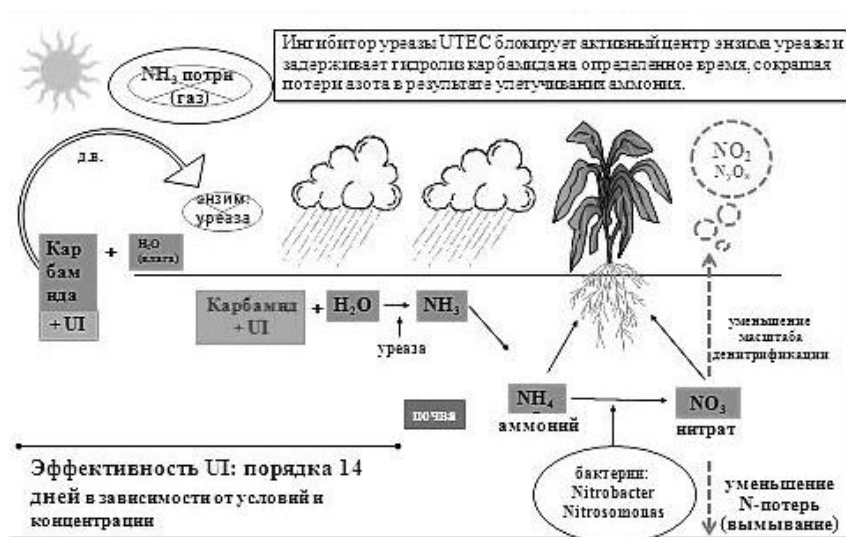


Рисунок 22 – Трансформация мочевины с ингибитором уреазы UTEC в почве (<https://www.agroxxi.ru/zhurnal-agromir-xxi/stati-rastenievodstvo/udobrajite-bez-poter.html>)

Как показывает практика, применение карбамида с UTEC повышает его эффективность до 20 %. Для агронома это означает снижение норм внесения с сохранением урожайности или повышение урожайности в среднем на 4–6 % при тех же нормах внесения удобрений.

В Европе стабилизированные азотные удобрения применяются уже более 15 лет. Только в Испании, Италии, Франции, Греции и Германии их вносят около 400 тыс. т в год. Наибольшие объемы приходятся на подкормки

зерновых и овощных культур, а также обработки древесных растений перед цветением. Европейские фермеры ценят удобрения с ингибиторами за то, что они увеличивают урожаи и улучшают их качество, повышают эффективность использования азота и уменьшают затраты труда за счет снижения количества обработок. Кроме того, росту применения стабилизированных удобрений в Европе способствует законодательство некоторых стран, ограничивающее концентрацию нитратов в грунтовых водах. Например, в Германии, Испании и Португалии допускается не более 50 мг/л, а в Швейцарии – 25 мг/л ионов NO_3 . ENTEC помогает фермерам в этих странах выполнять требования законодательства. Он сохраняет аммонийную форму азота в почве в течение многих недель после применения удобрений, препятствуя их преобразованию в нитраты, которые подвергаются вымыванию.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте общую характеристику сеникации, дефолиации, десикации.
2. Чем отличается дефолиация от десикации и сеникации?
3. Перечислите известные вам дефолианты, десиканты и сениканты.
4. Чем руководствуются при принятии решения о проведении сеникации?
5. Какие вещества могут быть регуляторами роста?
6. Чем отличаются эндогенные регуляторы роста от экзогенных?
7. От чего зависит успех при применении экзогенных регуляторов роста?
8. Какие известны синтетические регуляторы роста? Для чего их используют?
9. Какие внешние условия влияют на продолжительность вегетационного периода растений?
10. Как можно ускорить созревание плодов?
11. Какие внешние условия влияют на созревание и качество плодов?
12. Какие минералы называются цеолитами?
13. Расскажите о природоохранной роли цеолитов.
14. Какие критерии положены в основу классификации цеолитов?
15. Как влияют микробиологические препараты на плодородие и продуктивность почвы?
16. Перечислите наиболее распространенные в сельском хозяйстве бактериальные препараты.
17. Чем отличаются стимуляторы роста от ретардантов?
18. Какие химические соединения относятся к ингибиторам нитрификации?
19. Какие химические соединения являются действующими веществами у ENTEC и UTEC?
20. Каков механизм действия ингибиторов нитрификации на трансформацию азота удобрений?

8. АГРОХИМИЯ В АГРОЦЕНОЗЕ

Отыщи всему начало, и ты многое поймешь.

Козьма Прутков

Почвы обладают плодородием, т. е. способностью обеспечивать урожай сельскохозяйственных культур, поэтому их состояние – предмет агроэкологического мониторинга...

Г.Д. Гогмачадзе, 2010

8.1 Мониторинг: цель, задачи, объекты

Мониторинг (от англ. *monitoring*, от лат. *monitor* – напоминающий, предупреждающий, предостерегающий) – постоянное наблюдение за каким-либо процессом с целью выявления его соответствия желаемому результату или первоначальному предположению. В наиболее полном виде – многоцелевая информационная система, основные задачи которой – наблюдение, оценка и прогноз состояния природной среды под влиянием антропогенного воздействия с целью предупреждения о создающихся критических ситуациях, вредных или опасных для здоровья людей, благополучия других живых существ, их сообществ, природных и созданных человеком объектов. Мониторинг не включает управление качеством окружающей среды. Однако правильная организация такого управления возможна только при функционировании системы мониторинга, которая может охватывать как локальные, так и глобальные работы.

Термин «мониторинг» появился в 1971 г., т. е. перед проведением Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде (5–16 июня 1972 г.) в дополнение к понятию «контроль». Секретариат ООН по окружающей среде определил экологический мониторинг как систему повторных наблюдений элементов окружающей среды в пространстве и во времени с определенными целями и в соответствии с заранее подготовленными программами. Основные элементы системы мониторинга впервые описаны Р. Манном [32, 116]. Большой вклад в разработку теории мониторинга внесли наши соотечественники И.П. Герасимов [9, 10], Ю.А. Израэль [20, 21], В.Д. Федоров [51, 52] и К.С. Бурдин [4].

Различают мониторинг:

1. *Базовый* (фондовый) – система слежения за состоянием и прогнозирование возможных изменений общебиосферных, в основном природных, явлений без наложения региональных антропогенных влияний;
2. *Диагностический* – форма экологического мониторинга, позволяющая по выбранным показателям выявить основные тенденции в изменении биосферы;
3. *Импактный* – мониторинг локальных, региональных и антропогенных воздействий в особо опасных точках и зонах;
- 4.) *Климатический* – система (служба) контроля, оценки прогноза и изменений и колебаний климатической системы атмосфера – океан – поверхность суши (включая реки и озера) – криосфера – биота;
5. *Прогностический* – форма экологического мониторинга, позволяющая с помощью планируемого эксперимента исследовать вероятные ситуации, которые можно прогнозировать на основании обнаруживаемых тенденций в изменении абиотической среды, т. е. предсказать биологические последствия этих тенденций.

Целью экологического мониторинга является разработка и использование систем, средств и методов наблюдений, оценка и выработка рекомендаций и управляющего воздействия в природно-техногенной сфере. Она включает оценку показателей состояния окружающей среды, прогнозы ее эволюции, энерго-экологические и технологические характеристики производственной сферы, определение методик биологических и санитарно-гигиенических условий существования человека и биоты.

Задачи экологического мониторинга следующие:

- 1) оперативный контроль экологического, социального и медико-биологического состояния окружающей среды;
- 2) выявление факторов экологического неблагополучия региона;
- 3) характеристика фактического состояния окружающей среды;
- 4) подготовка и обобщение информации для принятия решений;
- 5) сбор, систематизация и хранение объективной информации о состоянии природной среды, здоровья населения;
- 6) выработка управляющего решения.

Единая государственная система экологического мониторинга включает следующие показатели:

- 1) мониторинг источников антропогенного воздействия на окружающую среду и оценку экологического равновесия в экосистемах;
- 2) социально-гигиенический мониторинг с объективной оценкой состояния и факторов формирования экологической ситуации, состояния здоровья населения, деятельности объектов, загрязняющих природную среду;
- 3) мониторинг биотической компоненты окружающей среды (ОС) с оценкой критических проблем, возникающих в результате сельскохозяйственной деятельности и землепользования, а также реакцию наземных экосистем на воздействия ОС (агроэкологический мониторинг);
- 4) мониторинг загрязнения абиотической составляющей ОС и оценку состояния его информационной модели;
- 5) обеспечение создания и функционирования экологических информационных систем, необходимых для развития функций экологического мониторинга;
- 6) социально-психологические информационные мероприятия, охватывающие область экологического образования, просвещения и воспитания, пропаганды и рекламы.

Объектами мониторинга могут быть природные, антропогенные или природно-антропогенные экосистемы. Назначение мониторинга – не пассивная констатация фактов. Он включает также проведение экспериментов, моделирование процессов в качестве основы прогнозирования.

Основными блок-компонентами мониторинга являются почва, атмосфера, вода, растения. В зависимости от объектов наблюдения выделяют мониторинг земель сельскохозяйственного и промышленного назначения, лесов, водоемов и рек, заповедников, атмосферного воздуха и других объектов.

По территориальному охвату выделяют мониторинг локальный, региональный и глобальный, т. е. биосферный, – система слежения за состоянием и прогнозирования возможных изменений общемировых процессов и явлений, включая антропогенные воздействия на биосферу в целом. Следовательно, *глобальный мониторинг* – это система наблюдений за общепланетарными измене-

ниями биосферы. *Региональный мониторинг* земель осуществляется на уровне крупных природно-экономических районов. *Локальный мониторинг* предусматривает слежение за процессами, протекающими на местном уровне. При этом оцениваются следующие показатели: 1) параметры агроландшафтов и сопутствующих им природных ландшафтов; 2) водный баланс территорий и их гидрология; 3) процессы опустынивания, переувлажнения, затопления, засоления, закустаривания пашни, осушения земель; 4) деградация земель, вызванная промышленными отвалами, просадкой, выработкой торфяников; 5) состояние почв по основным параметрам; 6) состояние растительности; 7) загрязнение почв, поверхностных и грунтовых вод, воздушного бассейна; 8) состояние земель, подверженных негативному воздействию производственных объектов.

По методам проведения различают мониторинг: *сплошной* и *полигонный*; по методам исследования мониторинг подразделяют на *биологический* (с помощью биоиндикаторов), т. е. на непосредственный и *дистанционный* (авиационный, космический). И.П. Герасимов [9, 10] при организации мониторинга предложил различать три ступени: биоэкологический (санитарно-гигиенический), геоэкологический (природно-хозяйственный, геосистемный) и биосферный (табл. 104).

При *биоэкологическом* (синоним – локальный) мониторинге предполагается контроль за содержанием токсичных для человека химических веществ в атмосфере, природных водах, растительности, почве, подверженных воздействию конкретных источников загрязнения. Состояние окружающей среды оценивают с точки зрения здоровья человека. Проводят локальный мониторинг гидрометеорологические, водохозяйственные и санитарно-эпидемиологические службы.

Таблица 104 – Система мониторинга окружающей среды

| Ступени мониторинга | Объекты мониторинга | Характеризуемые показатели мониторинга |
|--|---|---|
| Биоэкологический (санитарно-гигиенический) | Приземный слой воздуха Поверхностные и грунтовые воды, промышленные и бытовые стоки и различные выбросы Радиоактивные излучения | ПДК токсичных веществ Физические и биологические раздражители (шумы, аллергены) Предельная степень радиоизлучения |
| Геосистемный (природно-хозяйственный) | Исчезающие виды животных и растений Природные экосистемы Агроэкосистемы | Популяционное состояние видов Их структура и нарушения Урожайность сельскохозяйственных культур |
| Биосферный (глобальный) | Лесные экосистемы Атмосфера Гидросфера Растительный и почвенный покровы, животный мир | Продуктивность насаждений Радиационный баланс, тепловой перегрев, состав и запыление Загрязнение рек и водоемов: водные бассейны, круговорот воды на континентах Глобальные характеристики состояния почв, растительного покрова и животных. Глобальные круговороты CO ₂ , O ₂ |

Геосистемный (синонимы – геоэкологический, региональный, природно-хозяйственный) мониторинг должен давать оценку антропогенного влияния на природную среду в ходе обычной хозяйственной деятельности человека, которая обязательно предполагает тот или иной вид взаимодействия с природой (градостроительство, сельское хозяйство, промышленность, энергетика, лесное хозяйство, рыболовство, коммунально-бытовая деятельность). Региональный мониторинг проводят агрослужба, гидроклиматическая, сейсмологическая и другие службы.

О степени антропогенного изменения экосистем судят по результатам сопоставления с природными аналогами (заповедными территориями) или специальными стационарами – опытными участками. О состоянии природных биосферных заповедников можно судить по данным глобального, т. е. биосферного мониторинга, поэтому результаты собственных исследований аграрного ландшафта должны сопоставляться с экологической информацией, накопленной глобальным мониторингом.

Биосферный (синонимы – фоновый, глобальный) мониторинг предполагает контроль за общепланетарными изменениями в биосфере, которые связаны с деятельностью человека. Фоновый мониторинг проводят в соответствии с Глобальной системой мониторинга окружающей среды, Международной программой «Наблюдения за планетой», Программой ЮНЕСКО «Человек и биосфера», Программой ООН – по окружающей среде ЮНЕП. Программу работ выполняют на станциях фонового мониторинга. На территории Российской Федерации эти станции действуют в заповедниках: Березинском, Приокско-Террасном, Центральном лесном, Кавказском, Астраханском, Баргузинском, Сихотэ-Алинском, Сары-Челекском, Чаткальском, Репетекском, Кроноцком, Боровое, леднике Абрамова. В пунктах – Сыктывкар, Ново-Пятигорск, Туруханск, Курган, Иркутск.

Программа станций фонового мониторинга предполагает регулярный отбор проб и определение следующих показателей [38]:

- в атмосфере – взвешенные частицы, мутность, озон, диоксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, углеводороды, сульфаты, 3,4-бенз(а)пирен, ДДТ;
- в атмосферных осадках – свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, 3,4-бенз(а)пирен, рН;
- в поверхностных, подземных водах, донных отложениях – свинец, ртуть, метил ртуть, кадмий, мышьяк, ДДТ, 3,4-бенз(а)пирен, биогенные элементы;
- в почвах – свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, ДДТ, 3,4-бенз(а)пирен, биогенные элементы.

8.2 Агроэкологический мониторинг

Агроэкологический мониторинг представляет собой общегосударственную систему наблюдений и контроля за состоянием и уровнем загрязнения агроэкосистем в процессе интенсивной сельскохозяйственной деятельности. Отличительные особенности функционирования агроэкосистем, по сравнению с природными экосистемами, по мнению В.И. Кирюшина [25], состоят в следующем:

1. Агроценозы находятся вне сферы естественного отбора; эти системы создаются и поддерживаются человеком;

2. Агроценозы получают, наряду с солнечной энергией, дополнительное количество энергии, которое вносит в них человек (доля антропогенной энергии составляет 5–10 %);

3. Агроценоз полевых культур – сообщество монодоминантное, чаще односортовое. Угнетение роста и развития основной культуры не может быть компенсировано усиленным ростом других видов растений. В результате устойчивость продуктивности агроценоза ниже, чем в естественных экосистемах;

4. В агроценозах период вегетации культивируемых растений короче вегетационного сезона. Время взаимодействия фитокомпонента с почвой намного короче, чем в естественных ценозах, что определяет интенсивность обменных процессов;

5. В агроценозах круговорот химических веществ не компенсирован, часть вещества изымается из экосистемы безвозвратно, В агроценозах с хозяйственно полезной продукцией отчуждается 50–60 % органического вещества от его количества, аккумулированного в продукции;

6. Природные экосистемы являются системами авторегуляторными; агроценозы – управляемыми человеком.

Цель агроэкологического мониторинга – создание высокоэффективных, экологически сбалансированных агроценозов на основе рационального использования и расширенного воспроизводства природно-ресурсного потенциала, грамотного применения средств химизации.

В задачи агроэкологического мониторинга входят:

1) организация наблюдений за состоянием агроэкосистем;

2) получение систематической объективной и оперативной информации по регламентированному набору обязательных показателей, характеризующих состояние и функционирование компонентов агроэкосистем;

3) оценка получаемой информации;

4) прогноз возможного изменения состояния данного агроценоза или их системы в ближайшей и отдаленной перспективе;

5) выработка решений и рекомендаций; консультации; предупреждение возникновения экстремальных ситуаций и обоснование путей выхода из них; направленное управление эффективностью агроэкосистем.

Основные принципы агроэкологического мониторинга [46]:

1. Комплексность, т. е. одновременный контроль за показателями, отражающими наиболее существенные особенности варибельности агроэкосистем (показатели: а) ранней диагностики изменений; б) характеризующие сезонные или краткосрочные изменения; 3) долгосрочных изменений);

2. Непрерывность контроля за агроэкосистемой, предусматривающего строгую периодичность наблюдений по каждому показателю с учетом возможных темпов и интенсивности его изменений;

3. Единство целей и задач исследований, проводимых агрометеорологами, агрохимиками, гидрологами, микробиологами, почвоведомы и другими специалистами по согласованным программам под единым научно-методическим руководством;

4. Системность исследований, т. е. одновременное исследование блока компонентов агроэкосистемы: атмосфера – вода – почва – растение – животное – человек;

5. Достоверность исследований, предусматривающая, что точность их должна перекрывать пространственное варьирование;

6. Одновременность наблюдений по системе объектов, расположенных в различных природных зонах.

Организация агробиологического мониторинга должна основываться на разработанных к настоящему времени научных и практических положениях и включать [11]:

1) выявление приоритетных загрязнителей и их источников, например, пестицидов, промышленных и транспортных выбросов, тяжелых элементов; их систематизация по степени опасности для почв и биоты, масштабов применения и объемов выбросов, химической структуры, стабильности в компонентах природной среды, изменчивости и способности к дальнейшей миграции, токсичности для теплокровных животных и человека;

2) выявление поступления поллютантов из пограничных областей для прогнозирования их влияния, контроля и предупреждения загрязнения пограничных эко- и агроэкосистем;

3) оценку способности агроэкосистем к самоочищению от поллютантов по показателям биологической интенсивности круговорота биогенных элементов и гидрологическим характеристикам, определяющим направленность и возможность миграции загрязнителя с водным потоком в грунтовые воды или с поверхностным стоком;

4) выявление критических в экологическом отношении параметров агроэкосистем, характеризующихся, с одной стороны, высоким уровнем нагрузок наиболее токсичных для них компонентов соединений, высоким содержанием загрязнителя хотя бы в одном из них и, с другой – слабой способностью агроэкосистемы к самоочищению;

5) оценку среднегодовых потерь почвы вследствие водной эрозии; выявление потерь гумуса, азота, фосфора и других элементов питания растений и оценку их скорости; контроль за изменением кислотности почв;

6) инспекторский контроль за размерами и правильностью отчуждения пахотно-пригодных почв для промышленных и коммунальных целей.

В агроэкологическом мониторинге выделяются две взаимосвязанные по информационной базе подсистемы: научная и производственная.

Научной базой подготовки исходных данных для применения технологических решений является полигонный агроэкологический мониторинг. Такой мониторинг может осуществляться на делянках длительных опытов, постоянных участках слежения, реперных точках. При условии оснащения высокоточными приборами и оборудованием он позволяет проводить фундаментальные исследования по широкому спектру вопросов.

Производственная подсистема включает мониторинг всех используемых сельскохозяйственных площадей страны по сравнительно небольшому набору показателей через 5–15 лет и позволяет получить надежную систему сроковых характеристик.

Набор вариантов при проведении агроэкологического мониторинга, по мнению Я.К. Куликова [27], обязательно должен охватывать весь спектр исследуемых уровней продуктивности (как оптимальных, так и экстремальных). В частности, вариант с:

1) интенсивным возделыванием сельскохозяйственных культур, обеспечивающий максимальную для данных условий продуктивность севооборота на основе использования прогрессивных технологий (*первый уровень продуктивности*);

2) использованием интегрированных систем удобрений и средств химической защиты растений, обеспечивающий достаточно высокую продуктивность на основе низких, и средних доз удобрений и «мягких» способов

применения химических средств защиты растений по экономическим порогам вредности (*второй уровень продуктивности*);

3) биологическим способом ведения земледелия, основанный на использовании лишь органических удобрений, промежуточных культур, запарке соломы, в севооборотах с достаточным насыщением бобовыми для обеспечения культур севооборота биологическим азотом и системах защиты растений без применения пестицидов (*третий уровень продуктивности*).

При реализации системы мониторинга агроэкосистем, выборе места и частоты наблюдений необходимо ориентироваться на максимальные значения концентраций или интенсивности воздействия загрязнителей, а также на расположение их источников. Необходимо учитывать токсичность, возможность распространения на большие территории, миграции в различных средах и длительность воздействия измеряемых ингредиентов.

Для комплексной оценки настоящего и перспективного состояния агроэкосистем должны проводиться сопутствующие метеорологические и гидрологические исследования, позволяющие оценить степень рассеяния и распространения загрязнителя в природных средах через агроэкосистемы. Для оценки последствий, связанных с практикой сельскохозяйственного производства и землепользования, следует применять картографические методы отражения информации и интегральный показатель интенсивности круговорота биогенных элементов. Особое внимание необходимо уделять экологическому мониторингу почв на фоновом уровне.

О негативных изменениях ландшафтов судят по экологическим признакам, свидетельствующим о нарушении земель при разработке месторождений нефти, газа, руд, о загрязнении территории выбросами промышленных предприятий и стоками животноводческих комплексов, пестицидами, тяжелыми элементами, радионуклидами. Характерными признаками нарушения ландшафта являются эрозия почв, их засоление, усыхание, исчезновение малых рек и речек, цветение закрытых водоемов, деградация пастбищ, лесных насаждений, снижение урожая сельскохозяйственных культур, высокая заболеваемость и гибель растений и животных. Земли, предназначенные для производства продовольственного сырья и пищевых продуктов, должны подвергаться экологической экспертизе.

Экологическая чистота геохимической пищевой цепи во вновь сконструированных агробиогеоценозах – основное условие получения сельскохозяйственной продукции высокого качества.

8.3 Почвенно-экологический мониторинг

Методологические предпосылки организации и проведения почвенно-экологического мониторинга определяются особенностями хозяйственного использования земельных угодий. Необходимым условием успешного решения функциональных задач мониторинга является опережающее поступление информации о состоянии почв и почвенного покрова по отношению к сведениям о регулирующих воздействиях, направленных на рациональное использование почв (в частности, агротехнические, мелиоративные, противоэрозионные и другие мероприятия). Уже на первых этапах организации и проведения мониторинга важным является создание *банков данных*.

Мониторинг проводится: 1) на отдельных почвах (типах, подтипах, родах, видах, разновидностях, разрядах), т. к. трансформация отдельных таксономических единиц почв под влиянием антропогенных воздействий существенно отличается; 2) с учетом структуры почвенного покрова, которая в значительной степени влияет на характер трансформации и миграции вещества в системе; 3) с учетом полей севооборота, т. к. антропогенные нагрузки на поля многолетних трав, пропашных культур или залежи резко отличаются. Нагрузки отличаются для овощных и полевых севооборотов.

Задача мониторинга состояния почвенного покрова – обеспечение регулярного контроля за использованием земель (соответствие природного потенциала земель их производственному назначению); однородностью почвенного покрова полей (контурность, пятнистость, образование микрорельефа); эрозионными процессами, оползневыми и селевыми наносами; подсклоновым заилением, заболачиванием, засолением, опустыниванием и другими негативными процессами.

При проведении мониторинга земель сельскохозяйственного использования отмечаются следующие особенности объекта [45]: 1) большие площади нарушенных или деградированных земель; 2) в ряде случаев негативное воздействие на систему нельзя прекратить, что определяется необходимостью получения продуктов питания; 3) длительность воздействия; 4) комплексность воздействия многих факторов деградации на систему; 5) увеличение миграции веществ из почв в водную и воздушную среду; 6) усиление влияния на биоту физических полей и сопредельных территорий; 7) коренное изменение объектов агроценоза, изменение не только свойств, но также протекающих процессов и режимов, трофических цепей; создание нового рельефа, новых почв, коренное изменение растительного покрова (это наблюдается при разработке торфяных месторождений, осушении, орошении, планировке рельефа территории, устройстве водохранилищ, лесных полос); 8) изменения в агроценозе под влиянием антропогенных воздействий в большинстве случаев целенаправлены; однако, при этом повышение урожая часто сопровождается изменением устойчивости систем, деградацией почв, вод и других компонентов экологических систем; 9) деградация систем возникает при превышении допустимых уровней нагрузки на них, однако, это сопровождается как увеличением количества токсикантов и биофильных элементов в почвах, так и их обеднением. При этом обеднение почв элементами питания также сопровождается деградацией почв и сопредельных компонентов экологической системы.

Управление состоянием почвенного покрова включает такие мероприятия, как рациональная организация территории, приведение в соответствие использования земель их природному потенциалу, почвенно-мелиоративные, агротехнические и противоэрозионные приемы.

Усиление негативных антропогенных воздействий, обуславливающих нарушение почв и снижение их плодородия, требует включения в программы почвенно-экологического мониторинга следующих задач [27]:

1) определение потерь почвы (в т. ч. скорости потерь) в связи с развитием водной эрозии и дефляции;

2) контроль за изменением кислотности и щелочности почв (прежде всего, в районах с длительным применением минеральных удобрений, при осушении и орошении, а также при использовании мелиорантов и промыш-

ленных отходов в окрестностях крупных промышленных центров, которые характеризуются высокой кислотностью атмосферных осадков);

3) контроль за изменением водно-солевого режима и водно-солевых балансов мелиорируемых, удобряемых или каким-либо другим способом изменяемых почв;

4) выявление регионов с нарушенным балансом элементов питания растений; обнаружения и оценки скорости потерь почвами гумуса, доступных форм азота и фосфора;

5) контроль за загрязнением почв тяжелыми элементами, выпадающими с атмосферными осадками, и за локальным загрязнением ими в зонах влияния промышленных предприятий и транспортных магистралей;

6) контроль за загрязнением почв химическими средствами защиты растений в районах их постоянного использования;

7) сезонный и долгосрочный контроль за структурой почв и содержанием в них элементов питания растений, за водно-физическими свойствами и уровнем грунтовых вод.

Многообразие природных условий и факторов антропогенных воздействий на почвы, сложность почвенных структур обуславливают необходимость разработки дифференцированных программ почвенно-экологического мониторинга.

Начальный этап мониторинга (первая форма) позволяет оценить состояние почв и почвенного покрова, масштабы воздействия антропогенных факторов, направленность и интенсивность развития негативных процессов и выбрать (в соответствии с базовыми принципами мониторинга) объекты для последующих исследований.

Стационарная форма почвенно-экологического мониторинга (вторая форма) реализуется по расширенной программе комплексных исследований свойств и параметров почв, режимов и процессов, протекающих в них.

Третья форма мониторинга реализуется по сокращенной программе в процессе маршрутных обследований заранее выбранных участков или маршрутов (по тому же принципу, что и стационаров). При этом основное внимание уделяют репрезентативным диагностическим показателям, наиболее динамично меняющимся во времени. По своему содержанию маршрутная система мониторинга представляет собой форму оперативного контроля за состоянием почв и почвенного покрова, мелиоративных систем, агроэкосистем и продуктивностью земель. Периодичность (частота) маршрутов – 1–3 за вегетационный период. В случае выявления негативных процессов (переосушение или подтопление площадей, утечка воды из дренажей, изреженность и вымокание посевов, засоление, подкисление, осолоцевание, эрозия и т. д.) составляют соответствующие карты и картосхемы, специальные акты. При обнаружении значительных изменений в свойствах почв и структуре почвенного покрова оценивают целесообразность проведения дальнейших наблюдений на таких участках (территориях).

Четвертая форма мониторинга заключается в сплошном обследовании территории. Выходные информационные материалы при этой форме мониторинга составляют в первую очередь инвентаризационные картографические характеристики, а также картограммы агрохимических обследований и разработанные на этой основе рекомендации по рационализации землепользования.

Получаемые данные о фактическом состоянии почвы и ее агрохимических показателей, агропроизводственная группировка почв и «почвенные

очерки», характеризующие почвы по всему спектру пользования, служат базовыми предпосылками для последующих теоретических обобщений и практических рекомендаций. Последние должны отражать трансформацию сельскохозяйственных угодий; охрану почв от водной и ветровой эрозий; осушение, орошение и проведение культуртехнических работ; химическую мелиорацию земель; рациональные размещения и набор сельскохозяйственных культур; особенности агротехнических приемов и систем применения удобрений с учетом почвенных условий; улучшение сенокосов и пастбищ.

Обязательное условие при осуществлении рассматриваемой формы мониторинга – использование методов картографирования. При этом набор приемов получения исходных данных должен быть максимально полным.

8.4 Эколого-агрохимический мониторинг

При агрохимическом мониторинге в качестве полигонов используют длительные опыты Географической сети. Целесообразность использования таких опытов, как объектов агроэкологического мониторинга объясняется тем, что [31]:

– во-первых, они отражают систематическое воздействие применения агрохимических средств на плодородие почв, качество сельскохозяйственной продукции и другие элементы агроэкосистемы;

– во-вторых, сеть длительных опытов Географической сети в настоящее время охватывает основные природно-климатические зоны страны; они проводятся в строго контролируемых условиях, с четким выполнением требований методики агрохимических исследований на фоне высокой агротехники, в соответствии с научно обоснованными системами земледелия, имеют сравнимые варианты, позволяющие выявить интенсивность воздействия одной и той же химической нагрузки в различных почвенно-климатических условиях страны.

Основные направления агрохимических исследований в длительных стационарных опытах Географической сети следующие:

1) сравнительная оценка доз, видов и форм минеральных удобрений, внесенных по эквивалентному количеству питательных веществ;

2) оценка эффективности минеральной, органической и органоминеральной систем удобрений в севооборотах различной специализации;

3) установление оптимального распределения удобрений среди культур севооборота в целях получения наибольшей их окупаемости;

4) достижение максимальной эффективности при сочетании различных систем удобрения с химической мелиорацией почв и их влияние на свойства почвы и продуктивность севооборотов;

5) возможность периодического внесения фосфорных и калийных удобрений;

6) оптимизация плодородия и свойств почвы;

7) регулирование биологического круговорота и баланса биогенных элементов в агроценозе;

8) экологические функции агрохимических средств.

В агрохимии приняты следующие методы исследования свойств почвы в длительных стационарных опытах (табл. 105; [1]).

Таблица 105 – Методы определения показателей плодородия почвы

| Показатель | Метод и его характеристика | ГОСТ метода |
|--|---|-------------------|
| Физико-химические методы | | |
| рН солевой вытяжки | Потенциометрический (1 н КСl) | ГОСТ 26483-85 |
| Обменная кислотность | Потенциометрический (1 н КСl) | ГОСТ 26484-85 |
| Гидролитическая кислотность | Метод Каппена (1 н CH_3COONa) | ГОСТ 26212-84 |
| Обменный (подвижный) алюминий | Метод ЦИНАО (1 н КСl) | ГОСТ 26485-85 |
| Сумма поглощенных оснований | Метод Каппена-Гильковица для некарбонатных почв (0,1 н НСl). Метод Шмука для карбонатных почв (1 н NaCl) | ГОСТ 27821-88 |
| Обменный калий | Метод Масловой (1 н $\text{CH}_3\text{COONH}_4$) | ГОСТ 26210-91 |
| Необменный калий | Метод Гедройца (10% НСl с кипячением) | |
| Физические и водно-физические методы | | |
| Гранулометрический состав | Метод Качинского | |
| Равновесная плотность | Метод режущих колец или гамма-скопический метод | |
| Влажность устойчивого завядания | Метод определения потери влаги при высушивании почвы | ГОСТ 28268-89 |
| Агрохимические методы | | |
| Общее содержание органического углерода | Метод Тюрина в модификации ЦИНАО (окисление органического вещества раствором хромовой смеси) | ГОСТ 25213-84 |
| Содержание водорастворимых гумусовых веществ | Метод горячей водной вытяжки | |
| Содержание подвижных гумусовых веществ | Метод Тюрина (0,1 н NaOH) | |
| Групповой состав гумусовых веществ | Метод Кононовой-Бельчиковой ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ и NaOH) | |
| Формы минеральных фосфатов | Метод Чанга-Джексона (последовательные 1 н NH_4Cl , 0,5 н NH_4F , 1 н NaOH, 0,5 н H_2SO_4) | |
| Содержание общего азота | Метод Кьельдаля (окисление почвы кипящей концентрированной H_2SO_4) | ГОСТ 26107-84 |
| Подвижные фосфаты и подвижный калий: | | |
| – кислые почвы | Метод Кирсанова в модификации ЦИНАО (0,2 н НСl) | ГОСТ Р 54650-2011 |
| – черноземы | Метод Чирикова в модификации ЦИНАО (0,5 н. CH_3COOH) | ГОСТ 26204-91 |
| – карбонатные почвы | Метод Мачигина в модификации ЦИНАО (1% $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) | ГОСТ 26205-91 |
| Степень подвижности фосфора и калия в почвах | Метод Скофилда 0,01 М CaCl_2 | ОСТ 10271-00 |
| Азот фиксированного аммония | Метод Сильва и Бремнера в модификации Кудеярова (колориметрическое определение в вытяжке из смеси HF и НСl) | |
| Вегетационный метод | | |
| Подвижность и доступность азота растениям | Метод с использованием ^{15}N | |
| Подвижность и доступность растениям «остаточных» фосфатов и соединений калия | Метод вегетационного опыта | |

Основные цели и задачи почвенно-агрохимического мониторинга реализуемого в опытах Географической сети, заключаются в следующем:

- выявление зональных систем земледелия с дефицитным балансом элементов питания растений;
- обнаружение и определение скорости потери гумуса и биогенных элементов;
- контроль за изменением кислотности и щелочности почв при внесении высоких доз минеральных, органических удобрений и химических мелиорантов;
- наблюдение за изменением солевого режима и возможностью осолонцевания орошаемых и интенсивно удобряемых почв;
- динамика структуры глинистых минералов и их взаимосвязь с гумусовыми веществами почв;
- определение физического состояния почвы, особенно в орошаемых условиях, при осушении и различных видах обработки;
- теоретическое обоснование основных закономерностей негативного влияния различных систем земледелия на почву и сельскохозяйственные культуры;
- определение уровня накопления в почвах остатков пестицидов и их метаболитов, тяжелых элементов, фторидов, долгосрочных и сезонных изменений содержания доступных растениям форм элементов питания, а также влажности и температуры почв;
- проведение биологических экспериментов на животных для установления возможного негативного последствия интенсивной химизации земледелия;
- эколого-биологическая оценка различных систем земледелия.

Эколого-агрохимические исследования включают:

- полевое обследование (отбор индивидуальных и составление смешанных почвенных проб);
- агрохимические анализы почвенных проб;
- подготовку агрохимических картограмм или паспортов обследуемых участков при сплошном мониторинге;
- составление сводных ведомостей (таблиц) с характеристикой исследуемых объектов (делянок полевого опыта) при полигонном мониторинге. При полигонном мониторинге может возникнуть необходимость составления агрохимических картограмм участка, на котором он проводится.

Для достижения репрезентативности наблюдений и объективности оценок состояния и изменений эколого-агрохимических свойств почвенные обследования целесообразно проводить с периодичностью 1 раз в 10–15 лет, а агрохимические – каждые 5 лет. Проведение таких работ повторно, с одной стороны, позволяет устранять недостатки и восполнять пробелы прежних наблюдений, а с другой (что наиболее существенно) – выявлять и фиксировать произошедшие изменения свойств почв и почвенного покрова вследствие природных и антропогенных воздействий. При повторных почвенно-картографических обследованиях (корректировке) существенно повышается значимость аэрокосмических данных, дешифровать которые целесообразно до полевых работ.

Выбирать объекты мониторинга следует, основываясь на почвенно-географическом, геохимическом и природно-хозяйственном районировании, с учетом особенностей использования земель и степени устойчивости почвенного покрова к разным техногенным нагрузкам.

Массовые полевые опыты с удобрениями на сельскохозяйственных предприятиях являются логическим завершением опытных исследований

научно-исследовательских учреждений. Их задачи можно сформулировать следующим образом [31]:

- изучение эффективности сбалансированного применения удобрений и других средств химизации в производственных условиях;
- определение оптимальных доз минеральных и органических удобрений и оценка их эффективности на почвах с различным содержанием подвижных питательных веществ;
- разработка информационной базы для составления проектно-технологической документации по применению средств химизации в сельскохозяйственных предприятиях;
- установление агрономических и экологически обоснованных параметров получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур хорошего качества;
- ограниченное применение агрохимикатов в целях охраны окружающей среды;
- оценка экономической эффективности средств химизации в производственных условиях.

Рекомендуемая система показателей эколого-агрохимического мониторинга в земледелии приведена в таблице 106.

Основные направления экологических исследований связаны: 1) с наблюдениями за остатками удобрений, пестицидов и их метаболитов; 2) переходом различных ксенобиотиков из сопредельных сред в сельскохозяйственную продукцию; 3) изучением фактического накопления токсических веществ и отдельных элементов по сравнению с экологически допустимыми нормами (табл. 107).

Среди многих показателей, характеризующих плодородие почв, существенное значение имеют содержание гумуса, подвижных форм азота, фосфора, калия и микроэлементов, а также кислотность. На основе полученных результатов проводится оценка гумусного состояния почвы и ее обеспеченности биогенными элементами (табл. 108–111).

Таблица 106 – Система показателей для контроля за плодородием почв

| Процессы и режимы | Показатель |
|----------------------------|---|
| 1 | 2 |
| Баланс питательных веществ | Содержание элементов питания в почвах, удобрениях, культурах, семенах, атмосферных осадках, химических мелиорантах. Поступление биологического азота (симбиотическая, несимбиотическая азотфиксация). Поступление элементов питания с пылевыми наносами. Потеря элементов питания с природными водами – горизонтальный и вертикальный стоки. Потери элементов питания с твердым стоком (эрозия) и при дефляции. |
| Баланс гумуса | Содержание гумуса в исходных объектах и его периодическое изменение (по окончании ротации). Количество питательных веществ в органических удобрениях. Скорость минерализации и гумификации органического вещества (дифференцированного по зонам и системам обработки почв). |

| 1 | 2 |
|--|---|
| Кислотно-щелочной режим | pH _{KCl} pH _{H₂O} Гидролитическая кислотность. Щелочность. Емкость катионного обмена. Степень насыщенности основаниями. |
| Солевой режим | Содержание Na, Cl, SO ₄ , сумма солей, электропроводность в почвенных водных и других вытяжках |
| Окислительно-восстановительный режим | Динамика окислительно-восстановительных потенциалов |
| Физическое состояние | Плотность Порозность Влажность (различные показатели водного режима) Температура |
| Пищевой режим | Содержание подвижных соединений элементов питания: С, N, P, K, микроэлементов |
| Биологическая активность | Численность некоторых видов микроорганизмов, выделение CO ₂ , активность почвенных: ферментов, интенсивность нитрификации, разложения целлюлозы |
| Эрозия и дефляция | Уровень эродированности |
| Санитарно-гигиеническое состояние (загрязнение пестицидами, тяжелыми элементами, их метаболитами, фтором и другими токсикантами) | Накопление агелона, акрекса, актеллика, атразина, а также Pb, Cd, Hs>, Ni, Su, Fe, As, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и других токсикантов |

Таблица 107 – Система показателей экологических исследований растений в интенсивном земледелии.

| Свойства | Показатель |
|-----------------|---|
| Физические | Урожайность, масса 1000 зерен, натура, стекловидность, пленчатость, масса 1000 семян, масса клубней по фракциям |
| Технологические | Содержание клейковины, упругость, растяжимость, набухаемость муки, амилазная активность, содержание сахара, доброкачественность очищенного нормального сока, маслячность, количество лузги, выход и качество волокна и др. Сила муки, объемный выход хлеба |
| Хлебопекарные | 1. Содержание общего азота, сырого белка, крахмала, клетчатки, P, K, Ca, Mg, Si, Cl, микроэлементов, сахаров, витаминов, сырого жира, сырой золы, клетчатки, безазотистых экстрактивных веществ, фракционный, аминокислотный состав, сырого белка и т. д., характерные для нормального функционирования растительного организма. 2. Допустимое в определенных количествах (ПДК, МДУ) содержание нитратов, нитритов, Pb, Cd, Hg, Su, As, F, а также пестицидов 3. Содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), N – нитроаминов, токсинов, допустимых в микроколичествах (ПДК) |

Таблица 108 – Показатели гумусного состояния почв

| Признак | Уровень и характер признака | Пределы величины |
|--|-----------------------------|------------------|
| Содержание гумуса в минеральном профиле почвы, % | Очень высокое | > 10 |
| | Высокое | 6–10 |
| | Среднее | 4–6 |
| | Низкое | 2–4 |
| | Очень низкое | <2 |
| Запасы гумуса (т/га) в слое 0–20 см / 0–100 см | Очень высокие | 200/600 |
| | Высокие | 150–200/200–400 |
| | Средние | 100–150/400–600 |
| | Низкие | 50–100/100–200 |
| | Очень низкие | <50/<100 |
| Обогащенность гумуса азотом N:C | Очень высокая | <5 |
| | Высокая | 5–8 |
| | Средняя | 8–11 |
| | Низкая | 11–14 |
| | Очень низкая | > 14 |
| Степень гумификации органического вещества (Сгк/ Собщ)×100 % | Очень высокая | >40 |
| | Высокая | 40–30 |
| | Средняя | 30–20 |
| | Слабая | 20–10 |
| | Очень слабая | < 10 |
| Тип гумуса, Сгк / Сфк | Гуматный | 2 |
| | Фульватно-гуматный | 2–1 |
| | Гуматно-фульватный | 1–0,5 |
| | Фульватный | < 0,5 |

Таблица 109 – Оценка потенциального плодородия почв по общему содержанию азота, фосфора и калия, %

| Уровень содержания | Азот(N) | Фосфор (P ₂ O ₅) | Калий (K ₂ O) |
|--------------------|-----------|---|--------------------------|
| Очень высокий | > 0,35 | > 0,20 | > 3,0 |
| Высокий | 0,35–0,25 | 0,20–0,15 | 3,0–2,0 |
| Средний | 0,25–0,10 | 0,15–0,08 | 2,0–1,0 |
| Низкий | 0,10–0,05 | 0,08–0,02 | 1,0–0,7 |
| Очень низкий | < 0,5 | < 0,02 | < 0,7 |

С учетом группировки по содержанию подвижных форм азота, фосфора и калия составляются картограммы обеспеченности почв элементами питания, которые служат основой для рациональной корректировки уровня эффективного плодородия внесением удобрений.

Эколого-агрохимический мониторинг включает и контроль обеспеченности почв микроэлементами.

Важным этапом агрохимического мониторинга является выполнение балансовых расчетов с учетом выноса элементов питания с урожаем. На основе этого рассчитываются дозы минеральных и органических удобрений для восполнения выноса элементов питания растений и поддержки эффективного плодородия почв на необходимом уровне.

Таблица 110 – Классификация почв по обеспеченности питательными элементами (мг/кг) и кислотности

| Класс | P ₂ O ₅ , по | | | | K ₂ O, по | | | | N, по Тюрину и Кононовой | | | Нитрифицирующая способность | pH _{сол.} |
|-------|------------------------------------|----------|----------|-------------------|----------------------|----------|----------|----------|--------------------------|--------|----------|-----------------------------|--------------------|
| | Кирсанову | Чирикову | Мачигину | Аррениусу, Ониани | Кирсанову | Чирикову | Мачигину | Масловой | pH < 5 | pH 5–6 | pH > 6,0 | | |
| 1 | <25 | <20 | <10 | <80 | <40 | <20 | <100 | <50 | <40 | <30 | <30 | <5 | <4,5 |
| 2 | 25–50 | 20–50 | 10–15 | 80–150 | 40–80 | 20–40 | 100–200 | 50–100 | 41–50 | 31–40 | 31–40 | 5–8 | 4,5 |
| 3* | 51–100 | 51–100 | 15–30 | 151–300 | 81–120 | 41–80 | 201–300 | 101–150 | 51–70 | 41–60 | 41–50 | 8–15 | 4,6–5,0 |
| 4** | 101–150 | 101–150 | 31–45 | 301–450 | 121–170 | 81–120 | 301–400 | 151–200 | 71–100 | 61–80 | 51–70 | 15–30 | 5,1–5,5 |
| 5*** | 151–250 | 151–200 | 46–60 | 451–600 | 171–250 | 121–180 | 401–600 | 201–300 | 101–140 | 81–120 | 71–100 | 31–60 | 5,6–6,0 |
| 6 | > 250 | > 200 | >60 | >600 | >250 | >180 | >600 | >300 | >140 | >120 | >100 | >60 | >6,0 |

* Средняя обеспеченность для зерновых, зернобобовых, однолетних и многолетних трав,

** Средняя обеспеченность для пропашных культур.

*** Средняя обеспеченность для овощных, а по фосфору и для технических культур.

Таблица 111 – Градации обеспеченности почв подвижными формами микроэлементов, мг/кг почвы

| Микроэлемент | Биогеохимическая зона | Вытяжка | Обеспеченность почвы | | | | |
|----------------|-----------------------------|---|----------------------|---------------|-----------|-----------|---------------|
| | | | очень бедная | бедная | средняя | богатая | очень богатая |
| B | таежно-лесная | водная | <0,2 | 0,2–0,4 | 0,4–0,7 | 0,7–1,1 | >1,1 |
| Cu | | 1 н HCl | <0,9 | 0,9–2,1 | 2,1–4,0 | 4,0–6,6 | >6,6 |
| Mo | | оксалатная | <0,08 | 0,08–0,14 | 0,14–0,30 | 0,30–0,46 | >0,46 |
| Mn | | 0,1 н H ₂ SO ₄ | < 1,0 | 1,0–25 | 25–60 | 60–100 | > 100 |
| Co | | 1,0 н HNO ₃ | <0,4 | 0,4–1,0 | 1,0–2,3 | 2,3–5,0 | >5,0 |
| Zn | | 1,0 н KCl | <0,2 | 0,2–0,8 | 0,8–2,0 | 2,0–4,0 | >4,0 |
| B | лесостепная и степная | водная | <0,2 | 0,2–0,4 | 0,4–0,8 | 0,8–1,2 | > 1,2 |
| Cu | | 1 н HCl | < 1,4 | 1,4–3,0 | 3,0–4,4 | 4,4–5,6 | >5,6 |
| Mo | | оксалатная | <0,1 | 0,1–0,23 | 0,23–0,38 | 0,38–0,55 | > 0,55 |
| Mn | | 0,1 н H ₂ SO ₄ | <25 | 25–55 | 55–90 | 90–170 | > 170 |
| Co | | 1,0 н HNO ₃ | < 1,0 | 1,0–1,8 | 1,8–2,9 | 2,9–3,6 | >3,6 |
| Zn | | 1,0 н KCl | <0,15 | 0,15–0,3 | 0,3–1,0 | 1,0–2,0 | >2,0 |
| Zn, Cu, Mn, Co | | ацетатно-аммонийная | <4,0 | 4,0–6,0 | 6,0–0,8 | 8,8 | – |
| B | сухостепная и полупустынная | водная | <0,4 | 0,4–1,2 | 0,4–1,2 | 1,2–1,7 | >4,5 |
| Cu | | | < 1,0 | 1,0–1,8 0,05– | 1,8–2,0 | 3,0–7,0 | >6,0 |
| Mo | | 1,0 н KNO ₃ + HNO ₃ (по Гюльяхмедову) | <0,05 | 0,15 | 0,15–0,5 | 0,5–12 | > 1,2 |
| Mn | | | <6,6 | 6,6–12,0 | 12–30 | 30–90 | > 90 |
| Co | | | <0,6 | 0,8–1,3 | 1,3–2,4 | >2,4 | – |
| Zn | | | <0,3 | 0,3–1,3 | 1,3–4,0 | 4,0–16,4 | > 16,4 |

В последнее время ведется разработка многоэлементной диагностики минерального питания растений. Этот вид диагностики предполагает учитывать не только обеспеченность растений азотом, фосфором, калием и микроэлементами, характеризующее сбалансированность элементов питания в почве.

На современном этапе в задачи эколого-агрохимического мониторинга входит и оценка загрязнения пахотных земель тяжелыми элементами, в связи с чем параллельно с агрохимическим картированием проводится крупномасштабное картографирование почв с целью их эколого-токсикологической оценки на содержание тяжелых элементов, мышьяка и фтора. Оценка проводится в соответствии с уровнями предельно-допустимой концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимой концентрации (ОДК) этих элементов для почв. Эколого-агрохимический мониторинг земель с целью оценки загрязнения проводится с 1991 г. в подразделениях агрохимслужбы [1].

Связь между различными компонентами (почва, вода, растения и др.) агроэкосистемы, как и биосферы в целом, осуществляется через биогеохимические круговороты, представляющие собой синтез согласованных во времени и в пространстве трансформационных и миграционных потоков веществ, носящих циклический характер. Следовательно, для достижения целей эколого-агрохимического мониторинга и последующей разработки методов исследований конкретных элементов (веществ) актуально биогеохимическое районирование территорий.

Для характеристики биогенной миграции химических элементов введены различные показатели: 1) биофильность (B_x) -- отношение кларка элемента в живом веществе к его кларку в литосфере; 2) коэффициент биологического поглощения ($K_b : KBП : A_x$) -- отношение содержания химического элемента в золе растений к его содержанию в почве или горной породе; 3) биогеохимическая активность вида (БХА) -- сумма кларков концентрации (коэффициентов биологического поглощения) элементов в золе растений; 4) ряд биологического поглощения; 5) растительно-почвенный коэффициент (РПК) -- отношение концентрации химического элемента в золе растений к содержанию в почве; 6) растительно-водный коэффициент (РВК) -- отношение концентрации химического элемента в золе растений к содержанию его в воде.

В результате сложных многовековых геохимических процессов поверхность и почвенный покров континентов приобрели специфические геохимические черты. Возникли и сформировались различные геохимические провинции и области, характеризующиеся определенными составом мигрирующих соединений, условиями реакций среды и окислительно-восстановительным режимом, накоплением и выносом макро- и микроэлементов. в связи с этим возникла необходимость глубокого комплексного исследования биогеохимической географии микроэлементов, форм их соединений, закономерностей миграции и аккумуляции, плодородия почв и их значения для гигиены и здоровья человека.

Практически для каждого элемента целесообразно различать четыре уровня концентрации: *дефицит элемента* (организм «страдает» от недостатка элемента); *оптимальное содержание* (отмечается хорошее состояние организма); *допустимые концентрации* (начинают появляться депрессивные явления в организме); *губительные (фатальные)* для данного организма.

Введение системы действенного контроля и обоснованных норм -- сложная комплексная задача, требующая разносторонних исследований и участия специалистов разных профилей [27].

Эколого-агрохимический мониторинг при этом должен включать:

- 1) биогеохимическое обследование почв по зонам с целью уточнения границ и оценки состояния биогеохимических провинций и районов на данный период;
- 2) определение как валового содержания элементов, так и их подвижных форм соединений с помощью современных инструментальных методов для последующего формирования банков и баз данных;
- 3) определение элементного химического состава основных сельскохозяйственных культур по регионам для выявления родовой и видовой биогеохимической специфики растений зональных агроценозов; выявление растений-индикаторов;
- 4) установление средних статистических показателей содержания элементов в различных типах почв в качестве «фоновых» характеристик;
- 5) определение подвижных форм макро-, микро- и ультрамикроэлементов в почве по методике, исключающей изменения их подвижности в результате химических и биологических процессов при хранении образцов;
- 6) контроль динамики анионов в почве, оказывающих значительное влияние на подвижность микро- и ультрамикроэлементов;
- 7) соответствующий абсолютному контролю (экстенсивный способ ведения земледелия), отражающий современное естественное плодородие пахотных угодий данной зоны (*четвертый уровень продуктивности*).

Эколого-агрохимические функции удобрений изучались в 11-польном полевом севообороте (табл. 112; [86, 112]).

Таблица 112 – Схема чередования культур в севообороте и нормы минеральных удобрений

| Поле | Культура | Норма минеральных удобрений |
|------|-------------------------|---|
| 1 | Люцерна | $N_{0-10-20-30}P_{0-10-20-30}K_{0-10-20-30}$ |
| 2 | Люцерна | $N_0P_0K_0$ |
| 3 | Озимая пшеница | $N_{0-40-80-120}P_{0-30-60-90}K_{0-20-40-60}$ |
| 4 | Озимый ячмень | $N_{0-40-80-120}P_{0-30-60-90}K_{0-20-40-60}$ |
| 5 | Подсолнечник | $N_{0-20-40-60}P_{0-30-60-90}K_{0-20-40-60}$ |
| 6 | Озимая пшеница | $N_{0-40-80-120}P_{0-30-60-90}K_{0-20-40-60}$ |
| 7 | Соя | $N_{0-20-40-60}P_{0-40-80-120}K_{0-20-40-60}$ |
| 8 | Озимая пшеница | $N_{0-40-80-120}P_{0-30-60-90}K_{0-20-40-60}$ |
| 9 | Сахарная свекла | $N_{0-40-80-120}P_{0-40-80-120}K_{0-40-80-120}$ |
| 10 | Кукуруза на зерно | $N_{0-30-60-90}P_{0-30-60-90}K_{0-30-60-90}$ |
| 11 | Люцерна + яровой ячмень | $N_0P_0K_0$ |

Опыт заложен в 1981 г. под руководством заведующего кафедрой агрохимии Кубанского госагроуниверситета профессора В.Т. Куркаева. В 2005 г. решением Всероссийского координационного совещания участников Географической сети опытов он включен в «Реестр длительных опытов с удобрениями Российской Федерации» (Аттестат № 078). Включает 16 вариантов и представляет собой выборку 1/4 часть полного факториального эксперимента $4 \times 4 \times 4$, образованную тремя факторами: азотом, фосфором и калием с использованием четырех норм: 0; 1; 2; 3. За единичную норму для люцерны принято $N_{10}P_{10}K_{10}$, подсолнечника – $N_{20}P_{30}K_{20}$, сои – $N_{20}P_{40}K_{20}$, кукурузы – $N_{30}P_{30}K_{30}$, пшеницы и ячменя – $N_{40}P_{30}K_{20}$, сахарной свеклы – $N_{40}P_{40}K_{40}$. Посевная площадь делянок 162 м^2 , учетная – 63 м^2 , размещение вариантов – рендомизированное [86, 112].

8.4.1 Физико-химические свойства почвы

Плодородие почвы – способность почвы удовлетворять потребность растений в элементах питания, воде, обеспечивать ее корневую систему достаточным количеством воздуха, тепла и благоприятной физико-химической средой для нормального роста и развития.

И.С. Кауричев, Н.Н. Розов

Физико-химические ... свойства почвы влияют на ее питательный режим и биологическую активность, эффективность удобрений, величину урожая и качество.

В.Г. Минеев

Физико-химические свойства почв – это свойства почвы, связанные с ее поглощающим комплексом. К ним относятся емкость катионного обмена, состав и сумма поглощенных катионов, степень насыщенности почвы основаниями, различные виды кислотности и рН почвенного раствора.

Физико-химические свойства почвы непосредственно действуют на агрохимические показатели и ее биологическую активность, обуславливают характер трансформации и агроэкологическую эффективность удобрений. В свою очередь внесение удобрений сопровождается изменениями физико-химических свойств почвы. Эти изменения могут иметь как положительный, так и отрицательный характер. Внесение органических удобрений, как правило, способствует увеличению емкости катионного обмена и суммы поглощенных катионов, снижению обменной и гидролитической кислотностей и возрастанию степени насыщенности почвы основаниями. Характер действия минеральных удобрений на физико-химические свойства почвы зависит от природно-территориального комплекса, форм и норм вносимых удобрений и длительности их применения.

Мониторинг за изменением физико-химических свойств чернозема выщелоченного выявил ряд обозначившихся тенденций их изменений, обусловленных продолжительностью сельскохозяйственного использования почвы и применением удобрений. На всех анализируемых вариантах опыта отмечено подкисление почвенного раствора. Наименее заметен этот процесс в севообороте без удобрений, где $pH_{\text{водный}}$ снижался на 0,3 и $pH_{\text{солевой}}$ – на 0,8 единицы (табл. 113).

Применение минеральных удобрений несколько усиливает этот процесс. Так, при оптимальной системе удобрения культур севооборота ($N_{1740}P_{1740}K_{1160}$) $pH_{\text{водный}}$ снижается на 0,4, $pH_{\text{солевой}}$ – на 0,9 единиц. Внесение повышенного количества минеральных удобрений ($N_{2610}P_{2610}K_{1740}$) сопровождается более значительным подкислением почвы.

Гидролитическая кислотность почвы в процессе агрогенеза немного увеличивалась как на севообороте без удобрений, так и с их внесением. В наименьшей мере она повышалась в неудобряемой почве: на 0,15 мг-экв./100 г. Внесение удобрений усиливало повышение гидролитической кислотности тем сильнее, чем выше их внесенное количество – на 0,17–0,31 мг-экв./100 г почвы. Скорость, с которой она возрастала, увеличивалась по мере длительности сельскохозяйственного использования почвы, т. е. от первой ротации к третьей.

Таблица 113 – Изменение рН и гидролитической кислотности чернозема
выщелоченного по ротациям севооборота

| Ротация | Без удобрений | N ₈₇₀ P ₈₇₀ K ₅₈₀ | N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | N ₂₆₁₀ P ₂₆₁₀ K ₁₇₄₀ |
|---|---------------|--|---|---|
| рН_{водный} | | | | |
| Исходное (1981 г.) | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 6,8 |
| Первая | 6,8 | 6,8 | 6,7 | 6,7 |
| Вторая | 6,7 | 6,5 | 6,4 | 6,2 |
| Третья | 6,5 | 6,4 | 6,3 | 6,1 |
| рН_{солевой} | | | | |
| Исходное (1981 г.) | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,6 |
| Первая | 6,2 | 6,1 | 5,9 | 5,8 |
| Вторая | 6,0 | 5,8 | 5,7 | 5,5 |
| Третья | 5,8 | 5,7 | 5,5 | 5,4 |
| Гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г почвы | | | | |
| Исходное (1981 г.) | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 |
| Первая | 1,84 | 1,84 | 1,84 | 1,85 |
| Вторая | 1,92 | 1,97 | 2,05 | 2,10 |
| Третья | 1,98 | 2,00 | 2,10 | 2,14 |

На неудобренном севообороте подкисление вызывается усиливающейся минерализацией гумуса. Высвобождающиеся при этом фульвокислоты имеют явно выраженную повышенную кислотность. Подкисление почвы связано и с физиологической кислотностью применяемых на полях севооборота азотных и калийных удобрений, а также необменным поглощением одновалентных катионов в сочетании с отсутствием условий для вымывания ионов водорода и кислотных остатков. Гидролитическая кислотность повышалась, в частности, из-за обеднения почвы кальцием в результате его выщелачивания из почвы и потребления растениями. Следует также отметить, что влияние минеральных удобрений на кислотность почвенного раствора значительно слабее, чем минерализации гумуса.

Реакция почвенного раствора, как правило, тесно связана с составом почвенного поглощающего комплекса. После первой ротации неудобряемого севооборота сумма поглощенных катионов почвы уменьшилась на 0,88 мг-экв., второй – 1,51, третьей – 2,13 мг-экв./100 г (табл. 114). При оптимальной (N₁₇₄₀P₁₇₄₀K₁₁₆₀) для питания растений системе удобрения севооборота эти изменения были значительно ниже и составляли соответственно – 0,69 мг-экв., 0,94 и 1,22 мг-экв./100 г почвы, а при повышенных нормах (N₂₆₁₀P₂₆₁₀K₁₇₄₀) – выше – 0,91, 1,87 и 2,38 мг-экв./100 г. При такой общей тенденции на всех вариантах применения удобрений в почвенном поглощающем комплексе уменьшалось количество катионов кальция и магния и повышалось – калия и аммония. В неудобряемой почве содержание двух- и одновалентных катионов сокращалось. Следовательно, удобрения, внесенные в оптимальных количествах, сдерживая обеднение почвы обменно-поглощенными катионами, выполняют экологическую функцию.

Процесс подкисления почвы и снижения содержания суммы поглощенных оснований сопровождался изменением емкости катионного обмена. Обозначилась общая тенденция к ее сокращению, но весьма незначительному. В наибольшей мере она снижалась в почве на севообороте без применения удобрений и внесении в избыточном количестве. Удобрения, внесенные в оптимальной норме (N₁₇₄₀P₁₇₄₀K₁₁₆₀), выступали фактором, сдерживающим сокращение емкости катионного обмена почвы.

Таблица 114 – Содержание обменных катионов, емкость катионного обмена и степень насыщенности основаниями чернозема выщелоченного

| Вариант | Обменные катионы, мг-экв./100 г | | | | | Емкость катионного обмена, мг-экв./100 г | Степень насыщенности основаниями, % |
|---|---------------------------------|------------------|----------------|------------------------------|-------|--|-------------------------------------|
| | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | NH ₄ ⁺ | сумма | | |
| Исходное (1981 г.) | 31,6 | 11,2 | 0,14 | 0,16 | 43,1 | 44,93 | 95,93 |
| Первая ротация | | | | | | | |
| N ₀ P ₀ K ₀ | 31,0 | 11,0 | 0,12 | 0,10 | 42,22 | 44,06 | 95,82 |
| N ₈₇₀ P ₈₇₀ K ₅₈₀ | 31,0 | 11,2 | 0,13 | 0,12 | 42,45 | 44,29 | 95,85 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 30,9 | 11,1 | 0,19 | 0,22 | 42,41 | 44,25 | 95,84 |
| N ₂₆₁₀ P ₂₆₁₀ K ₁₇₄₀ | 30,6 | 11,0 | 0,31 | 0,28 | 42,19 | 44,04 | 95,80 |
| Вторая ротация | | | | | | | |
| N ₀ P ₀ K ₀ | 30,5 | 10,9 | 0,10 | 0,09 | 41,59 | 43,51 | 95,59 |
| N ₈₇₀ P ₈₇₀ K ₅₈₀ | 30,4 | 11,0 | 0,21 | 0,22 | 41,83 | 43,80 | 95,50 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 30,5 | 10,9 | 0,32 | 0,44 | 42,16 | 44,21 | 95,36 |
| N ₂₆₁₀ P ₂₆₁₀ K ₁₇₄₀ | 30,0 | 10,6 | 0,18 | 0,45 | 41,23 | 43,33 | 95,15 |
| Третья ротация | | | | | | | |
| N ₀ P ₀ K ₀ | 30,0 | 10,8 | 0,09 | 0,08 | 40,97 | 42,95 | 95,39 |
| N ₈₇₀ P ₈₇₀ K ₅₈₀ | 29,9 | 10,7 | 0,25 | 0,23 | 41,08 | 43,08 | 95,36 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 29,8 | 10,7 | 0,66 | 0,72 | 41,88 | 43,98 | 95,23 |
| N ₂₆₁₀ P ₂₆₁₀ K ₁₇₄₀ | 28,7 | 10,5 | 0,78 | 0,74 | 40,72 | 42,86 | 95,01 |

Степень насыщенности почвенного поглощающего комплекса катионами не подверглась значительным изменениям, хотя наблюдается слабая тенденция ее уменьшения как на неудобряемых, так и на систематически удобряемых полях севооборота. Степень насыщенности катионами систематически удобряемой почвы несколько ниже, чем неудобряемой [77, 98, 102, 103].

Выводы. По завершении третьей ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота в целом не отмечено значительных изменений физико-химических свойств почвы как в севообороте без удобрений, так и с их внесением, что указывает на высокую его буферность. Применение минеральных удобрений в научно обоснованных нормах не приводит к существенному изменению гидролитической кислотности и рН почвенного раствора, суммы поглощенных катионов, емкости катионного обмена, степени насыщенности чернозема выщелоченного основаниями. Гипотеза об отрицательном их влиянии на эти показатели не подтвердилась. Научно обоснованная система удобрения является неотъемлемым звеном высокой культуры земледелия и не служит фактором деградации почв. Последнее возможно лишь как следствие применения удобрений без учета условий природно-территориального комплекса в количестве, превышающем потребность культур севооборота.

8.4.2 Гумусное состояние почвы

Гумус различных почв отличается не только по своему элементарному составу, но и по соотношению входящих в него компонентов и по степени дисперсности, в свою очередь связанной с химизмом и физическими свойствами отдельных фракций.

А.Н. Соколовский, 1956

Гумус – не только химическое и биохимическое понятие, но и экологическое, результат приспособления растений к использованию минеральных питательных веществ из геологического образования верхнего слоя земной коры.

А.М. Лыков, 1985

Почвенный покров выполняет на поверхности суши Земли роль тончайшей глобальной мембраны, через которую осуществляются многочисленные процессы обмена веществ и энергии между атмосферой, гидросферой, литосферой и всеми организмами на суше, включая и человека. Эта важная функция почвенного покрова проявляется благодаря формированию в нем гумуса, который является мощным геохимическим аккумулятором преобразования и накопления солнечной энергии. Содержание гумуса в почве принято считать одним из основных показателей ее плодородия.

Роль гумуса в почве многогранна. От его содержания зависят физические, водно-физические, химические, физико-химические и экологические свойства почвы, ее микробиологическая активность. Гумус является одним из основных звеньев непрерывной цепи трофических связей между различными группами микроорганизмов. Он замыкает эту цепь и в то же время служит ее первым звеном. В его состав входят практически все элементы, необходимые для питания растений. Гумус может поглощать токсические вещества и тяжелые элементы, попадающие в почву, и тем самым затруднять их поступление в грунтовые воды и в растения. Это имеет важное значение с точки зрения качества сельскохозяйственной продукции и кормов, а также охраны окружающей среды. В данном случае гумус почвы выполняет санитарно-гигиеническую роль.

Увеличение содержания гумуса на 0,1% вызывает положительное смещение суммы поглощенных кальция и магния на почвах, связанных по гранулометрическому составу, на 0,10–0,18, а на легких – до 0,31–0,37 мг-экв/100 г почвы. Емкость поглощения соответственно возрастает на 0,6 мг-экв на суглинках и 0,3–0,4 мг-экв/100 г почвы на супесях и песках.

Поэтому интенсивное земледелие должно предусматривать не только бездефицитный баланс гумуса, но и расширенное его воспроизводство в почве. Это возможно при рациональном сочетании применения органических и минеральных удобрений с учетом специализации севооборота и конкретных почвенных и климатических условий.

По данным длительных стационарных опытов с удобрениями, выполненных под руководством В.Г. Минеева [34], наблюдается практическое равенство урожаев от минеральных удобрений и навоза, если они применяются по эквивалентному количеству основных питательных веществ. Это объясняется тем, что полевые культуры при хорошем минеральном питании сами обогащают почву органическим веществом не менее чем на 40–45 ц/га.

Научно-исследовательскими учреждениями нашей страны проведены многочисленные исследования трансформации органического вещества в почве, что позволило разработать методику баланса гумуса, определить размеры его воспроизводства в зависимости от типа почвы, специализации севооборота, климатических особенностей зоны и др.

Известно, что потери гумуса зависят от ряда факторов: почвенно-климатических условий, структуры посевных площадей, интенсивности обработки почвы, уровня химизации и интенсивности эрозионных процессов. Установлено, что почвы под зерновыми культурами ежегодно теряют 0,4–1,0 т/га гумуса, под пропашными культурами потери в 1,5–3 раза выше; максимальная минерализация гумуса происходит в чистых парах. При прочих равных условиях минерализация (расход) гумуса возрастает на почвах легкого механического состава и при орошении.

При определении баланса гумуса наиболее важными являются следующие показатели:

1. Расход гумуса в почвах при современном уровне агротехники с учетом структуры посевных площадей.

2. Масштабы естественного восполнения гумуса за счет пожнивно-корневых остатков сельскохозяйственных культур с учетом уровней их урожайности, включая многолетние травы.

3. Количество стандартного навоза, необходимое для покрытия дефицита гумуса, не восполняемого растительными остатками.

Ориентировочные данные о ежегодной минерализации гумуса под различными группами сельскохозяйственных культур, полученные на основании размеров выноса ими почвенного азота, представлены в таблице 115.

Ежегодное восполнение гумуса за счет корневых и пожнивных остатков сельскохозяйственных культур (таблице 116) представлено с учетом их ежегодного поступления, по обобщенным данным В.Г. Минеева [34].

Коэффициенты гумификации корневых и пожнивных остатков для зерновых культур и многолетних трав приравниваются к коэффициенту гумификации подстилочного навоза, а для пропашных культур в два раза меньше. Под зернобобовыми культурами и однолетними травами минерализация гумуса обычно компенсируется за счет их корневых и пожнивных остатков (табл. 117).

Таблица 115 – Ежегодная минерализация гумуса в пахотном слое почв, т/га

| Экономический район | Зерновые | Пропашные | Чистый пар |
|------------------------|----------|-----------|------------|
| Северо-Западный | 1,0 | 1,4 | 2,0 |
| Центральный | 1,0 | 1,8 | 2,0 |
| Волго-Вятский | 1,0 | 1,7 | 2,0 |
| Центрально-Черноземный | 0,7 | 2,0 | 2,2 |
| Поволжский | 0,5 | 1,8 | 2,2 |
| Северо-Кавказский | 0,7 | 2,4 | 2,8 |
| Уральский | | | |
| нечерноземная часть | 1,0 | 1,6 | 2,0 |
| черноземная часть | 0,5 | 1,5 | 2,2 |
| Западно-Сибирский | 0,4 | 1,7 | 2,0 |
| Восточно-Сибирский | 0,5 | 1,6 | 2,0 |
| Дальневосточный | 0,8 | 1,7 | 2,0 |

Таблица 116 – Ежегодное восполнение гумуса в почвах за счет пожнивных и корневых остатков сельскохозяйственных культур, т/га

| Экономический район | Зерновые | Пропашные | Многолетние травы |
|------------------------|----------|-----------|-------------------|
| Северо-Западный | 0,4 | 0,2 | 0,6 |
| Центральный | 0,4 | 0,2 | 0,6 |
| Волго-Вятский | 0,4 | 0,2 | 0,5 |
| Центрально-Черноземный | 0,5 | 0,25 | 0,8 |
| Поволжский | 0,4 | 0,2 | 0,6 |
| Северо-Кавказский | 0,7 | 0,35 | 0,8 |
| Уральский | | | |
| нечерноземная часть | 0,4 | 0,2 | 0,5 |
| черноземная часть | 0,3 | 0,15 | 0,5 |
| Западно-Сибирский | 0,3 | 0,15 | 0,4 |
| Восточно-Сибирский | 0,3 | 0,15 | 0,5 |
| Дальневосточный | 0,3 | 0,24 | 0,5 |

Таблица 117 – Коэффициенты гумификации навоза и содержание в нем сухого вещества

| Экономический район | Коэффициент гумификации навоза, % на сухое вещество | Содержание сухого вещества в навозе, % |
|------------------------|---|--|
| Северо-Западный | 20 | 25 |
| Центральный | 20 | 25 |
| Волго-Вятский | 20 | 25 |
| Центрально-Черноземный | 30 | 30 |
| Поволжский | 25 | 50 |
| Северо-Кавказский | 25 | 50 |
| Уральский | | |
| нечерноземная часть | 20 | 25 |
| черноземная часть | 30 | 30 |
| Западно-Сибирский | 20 | 45 |
| Восточно-Сибирский | 25 | 30 |
| Дальневосточный | 20 | 25 |

Коэффициенты гумификации представлены по данным научных учреждений, а также получены экспертным путем, а содержание сухого вещества в навозе – по данным агрохимслужбы.

Содержание гумуса и соотношение отдельных групп гумусовых веществ в черноземах считаются близкими к оптимальным, что обеспечивает их высокое плодородие. Однако в последние годы у ученых-аграрников вызывает беспокойство ухудшение этих генетических характеристик, связанное с интенсификацией сельскохозяйственного производства. Оценка и прогнозирование гумусового состояния почв – важная научно-практическая задача, от результатов решения которой зависят плодородие почвы, эффективность удобрений и продуктивность агроценоза.

Учитывая, что содержание гумуса – это относительно стабильная почвенная характеристика, выявить ее изменения в большинстве случаев возможно только в ходе длительных наблюдений. В связи с этим содержание и фракционно-групповой состав гумуса в черноземе выщелоченном в стационарном опыте сравнивали с первоначальными величинами этих показателей (табл. 118).

Таблица 118 –Содержание и фракционно-групповой состав гумуса чернозема выщелоченного

| Вариант | Слой, см | Гумус, % | C _{общ.} , % | Фракция ГК | | | | Фракция ФК | | | | | ГК+ ФК | C _{ГК} :C _{ФК} | Гуми- ны, % от C _{общ.} |
|---|----------|-------------|--------------------------|------------------------|-------|-----|-------|------------|------|------|-----|-------|-----------|----------------------------------|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 | сумма | 1а | 1 | 2 | 3 | сумма | | | |
| | | | | % от C _{общ.} | | | | | | | | | | | |
| До освоения севооборота | 0–20 | 3,48 | 2,02 | 4,70 | 34,40 | 6,4 | 45,5 | 4,10 | 1,09 | 3,81 | 9,4 | 18,4 | 63,9 | 2,56 | 36,8 |
| | 21–40 | 3,30 | 1,91 | 3,14 | 36,15 | 5,2 | 44,5 | 4,19 | 2,62 | 2,08 | 9,4 | 18,3 | 62,8 | 2,43 | 37,2 |
| После 3-х ротаций севооборота | | | | | | | | | | | | | | | |
| Контроль | 0–20 | 3,24 | 1,88 | 8,5 | 30,3 | 7,2 | 46,0 | 3,6 | 5,4 | 3,2 | 6,3 | 18,5 | 64,5 | 2,49 | 35,5 |
| | 21–40 | 2,81 | 1,63 | 7,9 | 27,7 | 6,7 | 42,3 | 4,5 | 4,6 | 4,3 | 6,8 | 20,2 | 62,5 | 2,09 | 37,5 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 3,52 | 2,04 | 8,6 | 30,4 | 7,3 | 46,3 | 4,3 | 6,5 | 5,7 | 8,0 | 24,5 | 70,8 | 1,89 | 27,2 |
| | 21–40 | 2,98 | 1,73 | 9,1 | 29,5 | 6,9 | 45,5 | 5,3 | 5,6 | 4,6 | 6,2 | 21,7 | 67,2 | 2,10 | 31,8 |

До закладки стационарного опыта почва содержала 3,48 % гумуса. После трех ротаций 11-польного севооборота его количество на контрольном неудобрявшемся варианте снизилось до 3,24 %, т. е. на 0,24 %. В варианте опыта с внесением минеральных удобрений за указанный период количество гумуса в слое 0–20 см несколько возросло и составило 3,52 %. Стабилизация содержания гумуса в почве произошла за счет большего по сравнению с контролем поступления нетоварной части урожая, корневых и пожнивных остатков. К аналогичным выводам пришли А.П. Карабутов и Г.И. Уваров [22]. Обобщая результаты своих многолетних исследований на базе стационарного полевого многофакторного опыта, они пришли к выводу, что: «действие минеральных удобрений на содержание гумуса зависит от вида севооборота. Так, в зерно–травяно–пропашном севообороте с наличием многолетних трав, его содержание возросло на 0,10 %, а в зерно–паро–пропашном – произошло его снижение. Однако снижение содержание гумуса наблюдалось в меньшей степени, чем без удобрений». Е.В. Навольнева, В.Д. Соловиченко, А.Г. Ступаков и М.А. Куликова [40] также зафиксировали положительное влияние минеральных удобрений на гумусное состояние чернозема типичного в условиях зерно–травяно–пропашного севооборота.

Гумус стационарного участка до закладки опыта характеризовался гуматным составом, при этом отношение $S_{гк} : S_{фк}$ в пахотном слое было несколько ниже, чем в подпахотном. Использование почвы в зерно–травяно–пропашном севообороте в течение трех ротаций без применения удобрений сопровождалось несущественными изменениями этого показателя. В этом варианте соотношение $S_{гк} : S_{фк}$ в пахотном 0–20 см слое осталось на начальном уровне. В нижележащем слое 21–40 см оно заметно уменьшилось, однако смены типа гумуса в этом варианте не произошло.

Более заметное изменение соотношения $S_{гк} : S_{фк}$ отмечено в пахотном слое почвы при внесении минеральных удобрений. В этом варианте за указанный период установлено увеличение доли фульвокислот и переход типа гумуса в слое 0–20 см из гуматного в фульватно–гуматный – $S_{гк} : S_{фк} = 1,89$. В подпахотном слое 21–40 см как в варианте без применения минеральных удобрений, так и с их внесением, отношение $S_{гк} : S_{фк}$ в образцах почвы, отобранных в конце третьей ротации севооборота, не отличалось от исходного.

После многолетнего использования почв в зерно–травяно–пропашном севообороте, как с применением минеральных удобрений, так и без них, не отмечено существенного изменения доли гуминовых кислот. При этом участие фульвокислот в составе гумуса возросло, причем в большей степени в варианте с применением минеральных удобрений. Приращение составило в слоях 0–20 и 21–40 см соответственно 0,8 и 1,9 % в варианте без внесения удобрений и 6,8 и 2,6 % с их использованием. Одновременно снижалась доля негидролиземого, т. е. инертного остатка.

В черноземе выщелоченном стационарного опыта в составе гуминовых кислот преобладали гуматы кальция (ГК-2), на них приходилось более 60 % от суммы фракций гуминовых кислот. Доли фракций ГК-1 (свободные и связанные с подвижными полуторными оксидами) и ГК-3 (связанные с глинистыми минералами и неподвижными формами полуторных оксидов) составили 18,5–20,0 % и 15,2–15,8 % соответственно. Между вариантами опыта существенных разли-

чий в содержании фракций гуминовых кислот не установлено – после трех ротаций севооборота не произошло старения и усложнения гумуса под воздействием удобрений: доля связанных с кальцием (ГК-2) и устойчивыми формами оксидов железа, алюминия и глинистыми минералами (ГК-3) гуминовых кислот не возросла. Таким образом, не обнаружено перераспределения между фракциями в составе гуминовых кислот под влиянием минеральных удобрений.

Вместе с тем следует отметить, что в обоих вариантах опыта после третьей ротации севооборота выявлено повышение в среднем в 2 раза доли фракции ГК-1 и снижение доли фракции ГК-2 по сравнению с исходной почвой. Это обусловлено комплексом причин, в числе которых – некомпенсируемые потери кальция из корнеобитаемого слоя почвы в результате его выноса сельскохозяйственными культурами, а также более интенсивного вымывания в нижележащие горизонты из-за увеличения количества осадков за период наблюдения – более чем на 20 % по сравнению со средними многолетними данными. Кроме того, повышение увлажненности почв способствует увеличению подвижности полуторных оксидов и их соединений, что может являться одним из факторов, приведшим к росту количества фракции ГК-1.

На долю свободных фульвокислот (ФК-1а), связанных с подвижными полуторными оксидами (ФК-1), кальцием (ФК-2) и неподвижными полуторными оксидами (ФК-3), приходится соответственно 17,6–24,4 %, 22,7–29,2, 17,3–23,3 и 28,6–34,0 % от их суммы. Ярко выраженной закономерности в распределение фракций ФК по профилю почвы не выявлено. Отмечается более высокое содержание всех фракций фульвокислот, кроме ФК-1а, в почве удобряемого участка по сравнению с контрольным. Обогащение чернозема выщелоченного фульвокислотами, связанными с кальцием (ФК-2), а также неподвижными формами полуторных оксидов и глинистыми минералами (ФК-3), в некоторой степени способствует повышению устойчивости гумуса к минерализации.

При сравнительном анализе данных, полученных после третьей ротации севооборота и до закладки стационарного опыта, установлено, что за прошедший период произошло увеличение количества фракций ФК-1 и ФК-2 и уменьшение доли ФК-3.

Длительное применение минеральных удобрений снизило долю неэкстрагируемой части гумуса – гуминов на 8,3 % от $C_{\text{общ}}$ в пахотном 0–20 см слое чернозема выщелоченного и на 5,7 % – в подпахотном 21–40 см слое. Между содержанием гуминов и фульвокислот установлена тесная обратная связь ($r = -0,71$). Данный факт может объясняться тем, что новообразование гумусовых веществ сопровождается фракционированием системы на гуминовые кислоты и фульвокислоты: чем ниже содержание негидролизуемого остатка, который может разрушаться при длительном воздействии минеральных удобрений, тем больше количество гуминовых кислот и фульвокислот. С другой стороны, при новообразовании гумусовых соединений образуются, прежде всего, менее сложные организованные фульвокислоты, в результате чего возрастает именно их доля в составе гумуса [80, 86].

Выводы. Сельскохозяйственное использование чернозема выщелоченного Западного Предкавказья в течение трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота без применения удобрений привело к снижению содержания гумуса на 0,24 %. Научно обоснованная система приме-

нения минеральных удобрений в севообороте обеспечивала стабилизацию содержания гумуса за счет большего поступления в почву нетоварной части урожая, корневых и пожнивных остатков. Применение минеральных удобрений под культуры севооборота не отразилось на доле гуминовых кислот в гумусе, но способствовало увеличению в его составе фульвокислот и снижению гуминов. Основываясь на результатах анализа фракционного состава гумуса, следует отметить, что оптимизация питания растений за счет минеральных удобрений способствует обогащению чернозема выщелоченного фульвокислотами, связанными с кальцием (ФК-2), а также неподвижными полуторными оксидами и глинистыми минералами (ФК-3), что в некоторой степени способствует повышению его устойчивости к минерализации.

8.4.3 Содержание биогенных элементов и трансформация их соединений в почве

Биогенными называют химические элементы, входящие в состав организмов и выполняющие определенные биологические функции. Растения берут эти элементы из почвы, если они находятся в доступном состоянии, или из вносимых удобрений. И те, и другие формы питательных элементов растения в одинаковой степени используют для создания урожая. Поэтому наличие в почве доступных для растений форм питательных элементов в должном соотношении между ними является основным условием формирования высоких урожаев. Это обстоятельство и определяет эффективное плодородие почв.

В.Г. Минеев, 1988

8.4.3.1 Макроэлементы

Азот. Изучение агрохимических свойств почв и определение их оптимальных параметров являются составной частью проблемы установления взаимосвязи между ними и продуктивностью сельскохозяйственных культур. Среди этих свойств одно из ведущих мест занимает азотный режим почв, который во многом обуславливает их плодородие. Азот является наиболее дефицитным элементом для растений практически во всех зонах, где возделывают сельскохозяйственные культуры. Роль азота почвы, как фактора продуктивности агроценозов, остается значительной и при внесении азотных удобрений – около $\frac{3}{4}$ выноса элемента приходится именно на долю азота почв. Ежегодный дефицит азота составляет 20–40 кг/га от выноса его урожаем сельскохозяйственных культур.

Азотный фонд почвы включает минеральные и органические соединения. Минеральные формы азота подразделяются на: 1) водорастворимые – нитраты, нитриты и соли аммония; 2) обменно-поглощенный аммоний; 3) необменно-поглощенный (фиксированный) аммоний, входящий в кристаллическую решетку глинистых минералов. Органические соединения этого элемента складываются из растительных и животных остатков, микробной биомассы, продуктов метаболизма почвенной фауны, а также гумуса. В их состав входят: амины и амиды, аминокислоты, простые и сложные белки, мочевина, хитин, мочева и гиппуровая кислоты [8, 73].

Изучение азотного фонда почвы является научной базой для эффективного использования азотных удобрений в агроценозах и получения экологически безопасной продукции.

До закладки стационарного опыта содержание азота общего в слое почвы 0–20 см и 21–40 см составляло соответственно 2400 и 2000 мг/кг (табл. 119). После завершения третьей ротации севооборота в почве варианта без внесения удобрений отмечено снижение количества азота соответственно до 2250 и 1900 мг/кг. Это обусловлено выносом с урожаем сельскохозяйственных культур, потерями в газообразной форме вследствие денитрификации и вымыванием нитратного азота выпадающими атмосферными осадками.

Таблица 119 – Содержание азота общего в черноземе выщелоченном при длительном применении минеральных удобрений, мг/кг почвы

| Слой почвы, см | Исходное содержание | После трех ротаций севооборота | |
|----------------|---------------------|--------------------------------|---|
| | | без удобрений | N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ |
| 0–20 | 2400 | 2250 | 2600 |
| 21–40 | 2000 | 1900 | 2250 |

Систематическое применение минеральных удобрений под культурами севооборота привело к повышению содержания азота общего в почве. Так, в 0–20 см слое почвы количество его возросло на 200 мг/кг, или на 8,3 % по сравнению с исходным содержанием. Это можно объяснить неполным использованием растениями азота, закреплением части внесенного азота в почве, а также большим накоплением в почве пожнивных и корневых остатков под воздействием вносимых удобрений. Положительное влияние удобрений на содержание азота общего имело место и в подпахотном 21–40 см слое почвы. Здесь его количество возросло на 250 мг/кг, или 12,5 %, по всей вероятности, вследствие перераспределения его с помощью корней и вымывания части минерального азота из пахотного слоя почвы.

Из общего количества азота, содержащегося в пахотном слое почвы, на долю минеральных форм приходится 7,3 % и органических соединений – 92,7 %; в подпахотном – соответственно 7,8 и 92,2 % (табл. 120).

Таблица 120 – Содержание минерального и органического азота в черноземе выщелоченном при длительном применении минеральных удобрений

| Вариант | Слой почвы, см | Азот | | | |
|---|----------------|--------------|-------------|---------------|-------------|
| | | минеральный, | | органический, | |
| | | мг/кг | % от общего | мг/кг | % от общего |
| Без удобрений | 0–20 | 164 | 7,3 | 2086 | 92,7 |
| | 21–40 | 149 | 7,8 | 1751 | 92,2 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 240 | 9,2 | 2360 | 90,8 |
| | 21–40 | 217 | 9,6 | 2033 | 90,4 |

Под влиянием вносимых удобрений это соотношение изменяется: увеличивается доля минерального азота и уменьшается – органического. В пахотном слое доля минеральных форм стала на 1,9 % больше, а в подпахотном – 1,8 %, чем на неудобренном варианте.

В первый год исследований (до закладки полевого опыта) в пахотном слое почвы на долю легкогидролизующего азота приходилось 2,5 %; трудногидролизующего – 12,6 и негидролизующего – 83,2 %; в подпахотном соответственно – 2,0 %, 11,5 и 84,6 % от общего его содержания (табл. 121).

Таблица 121 – Фракционный состав органических соединений азота чернозема выщелоченного при длительном применении минеральных удобрений, мг/кг почвы

| Вариант | Слой почвы, см | Фракция органических соединений | | |
|---|----------------|---------------------------------|---------------------|-----------------|
| | | легкогидролизующая | трудногидролизующая | негидролизующая |
| До освоения севооборота | 0–20 | 60 | 302 | 1996 |
| | 21–40 | 40 | 230 | 1691 |
| После трех ротаций севооборота | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 38 | 261 | 1787 |
| | 21–40 | 37 | 182 | 1532 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 62 | 310 | 1988 |
| | 21–40 | 46 | 254 | 1733 |

Общее количество гидролизующего азота в верхнем 0–20 см слое чернозема выщелоченного составляет всего лишь 15,1 % от азотного фонда почвы. Преобладающая часть азота органических соединений – 83,2 % от общего его содержания в почве представлена весьма стойкими соединениями, которые практически не участвуют в биологическом круговороте и не имеют агрономического значения. С глубиной количество гидролизующего азота в почве уменьшается. Так, в слое 21–40 см легкогидролизующая фракция была на 0,5 % и трудногидролизующая – 1,1 % меньше, чем в пахотном слое почвы.

Длительное возделывание сельскохозяйственных культур без внесения удобрений ведет к постепенному снижению содержания всех фракций органических соединений азота. Это имеет место как в пахотном, так и подпахотном слоях почвы. Так, после завершения третьей ротации севооборота доля фракций легкогидролизующего, трудногидролизующего и негидролизующего азота в общем азотном фонде почвы снизилась в пахотном слое соответственно на 0,8 %, 1,0 и 3,8 %; в подпахотном слое – 0,1 %, 1,2 и 4,0 %.

За три ротации севооборота вносимые на посевах сельскохозяйственных культур удобрения способствовали увеличению абсолютного содержания в пахотном слое почвы азота органических соединений легко- и трудногидролизующей фракций, но не оказали влияния на количество негидролизующей. Очевидно, остаточный азот удобрений прежде всего накапливается в легко- и трудногидролизующих фракциях. В то же время доля легкогидролизующих соединений в общем азоте почвы не претерпевает существенных изменений, а трудногидролизующих и, особенно, негидролизующих органических соединений снижается. Это свидетельствует о более интенсивной минерализации фракции негидролизующего азота под воздействием удобрений.

С точки зрения питания растений наибольший интерес представляет минеральный азот. Количество подвижных минеральных форм – нитратов, нитритов и обменно-поглощенного аммония невелико. В пахотном слое неудобренного варианта оно составляет 1,5 % от общего азота (табл. 122).

Таблица 122 – Содержание минеральных форм азота в черноземе выщелоченном при длительном применении удобрений, мг/кг почвы

| Вариант | Слой почвы, см | Азот | | | |
|---|----------------|-----------|-----------|---------------------|---------------|
| | | нитратный | нитритный | аммонийный | |
| | | | | обменно-поглощенный | фиксированный |
| Без удобрений | 0–20 | 22 | 0,06 | 12 | 130 |
| | 21–40 | 20 | 0,08 | 11 | 118 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 30 | 0,10 | 16 | 194 |
| | 21–40 | 28 | 0,15 | 15 | 174 |

Основной формой подвижного азота в черноземе выщелоченном является нитратная, которая в общей сумме минерального азота составляет 13,4 %. За ней, по значимости для питания растений, следует азот обменно-поглощенного аммония. Доля его в общей сумме минерального азота в пахотном слое почвы составляет 7,3 %. Содержание нитритов в почве не превышает тысячных долей процента, а, следовательно, они не имеют никакого практического значения для питания растений.

Определение содержания фиксированного аммония в черноземе выщелоченном показало, что почва характеризуется довольно высокой фиксирующей способностью по отношению к аммонии. Так, содержание необменного аммония в пахотном 0–20 см и подпахотном 21–40 см слоях почвы составляет 5,8 и 6,2 % от общего содержания азота и 79,3 и 79,2 % от суммы минеральных форм. При длительном внесении минеральных удобрений содержание фиксированного аммония в черноземе выщелоченном возрастает. Причем данное явление имеет место как для пахотного, так и для подпахотного слоя почвы [78, 112].

Выводы. Возделывание сельскохозяйственных культур без внесения удобрений ведет к постепенному снижению содержания азота общего в черноземе выщелоченном. Применение минеральных азотных удобрений позволяет не только стабилизировать запасы азота почвы, но и постепенно их увеличивать. Под влиянием системы удобрений севооборота изменяется не только количество общего азота в почве, но также качественный состав его соединений в сторону увеличения содержания минеральных форм и гидролизуемых органических соединений. Учитывая, что азот является тем биогенным элементом, трансформация которого в почве всецело определяется микробиологическими процессами, мероприятия по улучшению азотного режима должны быть, прежде всего, направлены на повышение биологической активности почвы и поиск путей снижения его непроизводительного расхода из почвы и удобрений. Эффективность азотных удобрений есть следствие комплекса непрерывных циклических превращений азота в почве, отражающихся на уровне снабжения растений азотом. Обеспечение бездефицитного баланса азота в агроценозе будет способствовать, с одной стороны, повышению эффективности удобрений, с другой – экологически безопасному их применению.

Фосфор. Проблема фосфора в земледелии определяется исключительной значимостью этого элемента в питании растений, обеспеченность которым принято считать одним из основных показателей окультуренности почв. При этом не существует естественных путей возобновления его запасов

в почве. Д.Н. Прянишников [44], подчеркивая «индивидуальность» агробио-геохимического цикла фосфора, писал: «В то время как в случае азота мы имеет дело с элементом, в круговорот которого в земледелии вовлекается азот атмосферы, и поэтому возможно обогащение почвы за счет азота воздуха и без внесения удобрений, в случае фосфора имеет место односторонний процесс отчуждения его из почвы урожаями, которому мы можем противодействовать только внесением удобрений».

Биологический круговорот фосфора в почвах связан со сложным взаимодействием химических, физических, физико-химических, биохимических процессов и зависит от типа почвообразования, экологических условий и антропогенных факторов [19, 64]. Фосфор уникален по количеству различных форм его соединений в почве. Общие запасы фосфора в почве и соотношение его минеральных и органических форм, способных к мобилизации и, прежде всего, доступных для питания растений, определяет фосфатное состояние и уровень плодородия почв.

Как показали исследования, выщелоченный чернозем обладает значительными потенциальными возможностями в отношении обеспечения растений фосфором (табл. 123).

Таблица 123 – Содержание валового фосфора и форм его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Фосфор | | | |
|---|----------------|---------|-------------|--------------|---------------|
| | | валовой | минеральный | органический | неизвлекаемый |
| До освоения севооборота | 0–20 | 1541 | 430 | 610 | 501 |
| | 21–40 | 1458 | 365 | 560 | 533 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 1499 | 415 | 585 | 499 |
| | 21–40 | 1393 | 350 | 515 | 528 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 1646 | 565 | 670 | 431 |
| | 21–40 | 1493 | 425 | 595 | 473 |

До закладки полевого стационарного опыта в пахотном 0–20 см слое почвы содержалось 1541 мг/кг валового фосфора; в подпахотном 21–40 см слое – на 5,4 % меньше. Такое распределение естественных запасов элемента характерно для почв дернового процесса почвообразования.

Валовой фосфор чернозема выщелоченного в пахотном слое на 39,6 % представлен органофосфатами, в подпахотном слое их несколько меньше – 38,4 %. Органические формы – важный источник фосфора для питания растений, т. к. при их минерализации этот элемент высвобождается и частично используется растениями. Высокое содержание органофосфатов, с одной стороны, указывает на низкую обеспеченность растений фосфором, а с другой, – на большие запасы элемента в почве, т. к. в процессе минерализации происходит постепенный их переход в доступные формы.

Непосредственным источником фосфора для питания растений служат его минеральные формы. Исходное содержание минерального фосфора в 0–20 см слое почвы составляло 27,9 %, в 21–40 см – 25,0 % от валового количества. Доля минеральных соединений в общем фосфорном фонде – величина

относительно постоянная, поэтому сокращение валового содержания этого элемента сопровождается уменьшением количества его минеральных форм.

Неизвлекаемый экстрагирующими растворами или остаточный фосфор почвы представлен в основном фосфатами невыветрившихся минералов почвообразующей породы и частично фосфатами прочно фиксированных глинистыми минералами, а в пахотном более гумусированном слое в эту фракцию возможно включение некоторого количества органофосфатов. В исходной почве доля остаточного фосфора в пахотном слое составляла 32,5 %, в подпахотном – 36,6 % от валового его содержания. Это указывает на консервацию фосфора в подпахотном слое почвы и более интенсивную трансформацию его соединений в пахотном слое.

Следствием агрогенеза стало изменение фосфатного состояния чернозема выщелоченного. На варианте без внесения удобрений содержание валового фосфора в пахотном слое почвы снизилось на 2,7 %, подпахотном – 4,5 %. Произошло это преимущественно за счет уменьшения доли органофосфатов, нежели минеральных его соединений. Изменение содержания неизвлекаемого экстрагирующими растворами фосфора количественно менее выражено.

Применяемая система удобрения сельскохозяйственных культур за три ротации севооборота позволила повысить валовое содержание фосфора в 0–20 и 21–40 см слоях почвы соответственно на 6,8 и 2,4 %. Удобрения оказывали положительное влияние на увеличение содержания органофосфатов в почве. Это обусловлено, главным образом, значительным повышением микробиологической активности почвы и увеличением количества растительных остатков вследствие роста биологической продуктивности культур севооборота под воздействием вносимых удобрений, что приводит к интенсивному биологическому поглощению фосфора. Речь в данном случае идет преимущественно о повышении абсолютного содержания органических фосфатов; относительное их количество увеличивалось незначительно. Это связано с тем, что применение удобрений в большей мере способствует увеличению содержания в почве минеральных соединений фосфора, чем его органических форм. Неиспользованный растениями фосфор удобрений сосредотачивается в зоне их внесения, т. е. пахотном слое почвы.

Минеральные удобрения способствовали более интенсивному вовлечению в агробиогехимический цикл «нерастворимых» фосфатов. Под действием удобрений их абсолютное содержание в почве заметно снижалось, это свидетельствует об усилении процесса выветривания фосфорсодержащих минералов и разрушении прочно связанных фосфатов почвы. Обратная связь «нерастворимых» фосфатов и органофосфатов в почве свидетельствует о том, что одним из агентов, разрушающих наиболее прочные соединения фосфатов, являются почвенная биота и органические кислоты.

Эффективное плодородие почвы определяется не столько общим запасом фосфора, сколько подвижными формами его соединений, являющимися основными источниками элемента для питания растений.

Данные анализа группового состава фосфора свидетельствуют, что перед закладкой стационарного опыта почва содержала небольшое количество наиболее подвижных легкодоступных растениям фосфатов I группы (водорастворимые фосфаты). В пахотном слое их количество составляло всего

лишь 1,5 %, а в подпахотном еще меньше – 0,7 % от валового фосфора. После трех ротаций севооборота в варианте без удобрений отмечено уменьшение доли фосфатов I группы в фосфорном фонде почвы: в пахотном и подпахотном слоях их количество снизилось соответственно на 6,0 и 3,5 мг/кг по сравнению с исходным содержанием (табл. 124).

Таблица 124 – Групповой состав фосфатов в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Группа фосфатов | | | | |
|---|----------------|--|-------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------|
| | | I | II | III | IV | V |
| | | 0,05 н H ₂ CO ₃ | 0,5 н CH ₃ COOH | 0,5 н HCl | 3,0 н NH ₄ OH | нерастворимый |
| До освоения севооборота | 0–20 | 22,5 | 158,0 | 325,2 | 630,0 | 405,3 |
| | 21–40 | 10,5 | 156,4 | 286,6 | 520,0 | 485,0 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 16,5 | 138,0 | 324,0 | 620,5 | 400,0 |
| | 21–40 | 7,0 | 132,8 | 280,2 | 516,6 | 456,4 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 32,0 | 174,5 | 360,5 | 701,0 | 378,0 |
| | 21–40 | 14,5 | 168,5 | 300,8 | 602,5 | 406,7 |

Чернозем выщелоченный содержит достаточно большое количество фосфатов II группы (щелочноземельные фосфаты). Однако их доля в фосфорном фонде почвы невелика: в 0–20 и 21–40 см слоях почвы до закладки опыта составляла соответственно 10,2 и 10,7 %. За три ротации севооборота она уменьшилась до 9,2 и 9,5 % в пахотном и подпахотном слоях почвы соответственно, или на 20,0 и 23,6 мг/кг по сравнению с их исходным содержанием.

Таким образом, до закладки эксперимента в пахотном и подпахотном слоях почвы опытного участка, представленного черноземом выщелоченным, содержалось равное количество легкоподвижных фосфатов (I+II группа) – соответственно 11,7 и 11,4 % от валового количества. Возделывание сельскохозяйственных культур без внесения удобрений привело к снижению их содержания в почве. После трех ротаций севооборота их доля в валовом фосфоре снизилась до 10,3 и 10,0 % соответственно.

Выращивание культур севооборота без применения удобрений не оказало влияния на содержание фосфатов III группы (трудноусвояемая растениями слабо растворимая форма соединений фосфора, преимущественно с полуторными оксидами). До закладки опыта на эту фракцию приходилось 21,1 и 19,8 % от валового фосфора, а после трех ротаций севооборота – 21,6 и 20,1 % соответственно в пахотном и подпахотном слое почвы. Это подтверждает, что фосфаты III группы являются устойчивой формой в условиях агрогенеза. Преобладание трудноусвояемой III группы фосфатов над легкоусвояемыми (I + II группы) в общем фосфорном фонде почвы свидетельствует о малоблагоприятном для питания растений фосфорном режиме чернозема выщелоченного.

Основная часть фосфора в почве представлена фосфатами IV группы (органосоединения), составляющими в пахотном слое 40,9–41,1 %, подпахотном – 35,7–37,1 % от валового фосфора. Фосфор органических соединений в значительной своей части связан с аккумулятивной составляющей почвообразовательного процесса. Включение его в органические соединения происходит преимущественно под влиянием живых организмов в отличие от фосфатов группы

I, II и III, представленных минеральными соединениями, образование которых обусловлено химическими реакциями. После трех ротаций зерно-травяно-пропашного севооборота относительная доля фосфатов IV группы в общем фосфорном фонде почвы несколько возросла, хотя абсолютное содержание их уменьшилось. Эта тенденция характерна как для пахотного, так и подпахотного слоя.

Фосфаты V группы («нерастворимые») в черноземе выщелоченном обнаруживаются в значительных количествах. Эта группа фосфатов, состоящая в основном из невыветрившихся минералов материнской породы, недоступна для питания растений. Доля фосфатов V группы в пахотном слое почвы до закладки опыта составляла 26,3 %, подпахотном – 33,3 % от валового фосфора. Возделывание сельскохозяйственных культур в севообороте без внесения удобрений практически не отразилось на содержании «нерастворимых» фосфатов, что подтверждает их инертность и недоступность для питания растений.

Групповой состав фосфатов, являясь одним из важнейших химических показателей состояния почвы, в значительной мере зависит от антропогенных факторов. Аналитические данные показывают существенные количественные изменения всех пяти групп фосфатов под воздействием системы удобрения. Так, содержание фосфатов I, II, III, IV групп в пахотном слое почвы увеличилось на 9,5; 16,5; 35,3; 71,0 мг/кг и в подпахотном – 4,0; 12,1; 14,2; 85,5 мг/кг, а количество фосфатов V группы – уменьшилось, соответственно на 107,0 и 78,3 мг/кг.

Более детальную характеристику количественного состава фосфорного фонда почвы дает фракционный состав минеральных фосфатов – непосредственных источников фосфора для питания растений. Фракционирование минеральных фосфатов позволяет разделить их на соединения, различающиеся по степени подвижности и усвояемости растениями.

По абсолютному содержанию в почве фракции минеральных фосфатов располагаются в следующий возрастающий ряд: Ca-P₁<Al-P<Ca-P₂<Fe-P<Ca-P₃. Содержание в пахотном слое почвы растворимой фракции минеральных фосфатов Ca-P₁, представляющей наибольшую ценность для питания растений, составляет всего лишь 9,8 %, а в подпахотном – 8,2 % от общего количества минеральных фосфатов (табл. 125).

На долю основной фракции подвижных фосфатов (Ca-P₂), являющейся ближайшим резервом для питания растений в пахотном и подпахотном слоях почвы, до закладки опыта приходилось 16,3 и 18,3 % от суммы минеральных фосфатов. Возделывание сельскохозяйственных культур без внесения удобрений обусловило снижение их количества соответственно на 0,9 и 0,6 %.

Таблица 125 – Фракционный состав минеральных фосфатов чернозема выщелоченного, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Фракция фосфора | | | | |
|---|----------------|-------------------|-------------------|------|------|-------------------|
| | | Ca-P ₁ | Ca-P ₂ | Al-P | Fe-P | Ca-P ₃ |
| До освоения севооборота | 0–20 | 42 | 70 | 60 | 122 | 136 |
| | 21–40 | 30 | 68 | 44 | 79 | 144 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 36 | 64 | 59 | 121 | 135 |
| | 21–40 | 24 | 63 | 43 | 77 | 143 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 65 | 95 | 78 | 145 | 182 |
| | 21–40 | 40 | 88 | 62 | 90 | 145 |

Исходное содержание фосфатов полуторных оксидов (Al-P и Fe-P) и наиболее устойчивой фракции высокоосновных фосфатов кальция (Ca-P₃) в пахотном слое чернозема выщелоченного составляло 60, 122 и 136 мг/кг, подпахотном – 44, 79 и 144 мг/кг. За три ротации севооборота абсолютное содержание в почве этих фракций стабилизировалось и осталось примерно на одном уровне, а относительное количество даже несколько возросло.

При систематическом применении фосфорных удобрений в севообороте увеличивается абсолютное содержание в почве минеральных фосфатов всех фракций. Однако трансформация фосфора удобрений и высвобожденных под их влиянием из неактивных (восстановлено растворимых и окклюдируемых) соединений этого элемента происходит в основном в сторону образования фосфатов щелочных и щелочноземельных катионов (Ca-P₁), а также разноосновных фосфатов кальция (Ca-P₂). Хотя абсолютное содержание в почве фосфатов полуторных оксидов (Al-P и Fe-P) и высокоосновных фосфатов кальция (Ca-P₃) на фоне удобрений заметно выросло, но относительное количество их осталось без изменений или несколько уменьшилось. Таким образом, даже при длительном систематическом применении удобрений в севообороте на черноземе выщелоченном не происходит существенной трансформации их в труднорастворимые соединения [85, 101, 112].

Выводы. Чернозем выщелоченный Западного Предкавказья обладает высоким запасом валового фосфора. Содержание и распределение его по пахотному и подпахотному слою определяются дерновым процессом почвообразования. До закладки стационарного опыта в 0–20 см слое почвы содержалось 1541 мг/кг валового фосфора, в 21–40 см – 1458 мг/кг, т. е. меньше на 5,4 %.

За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота при выращивании сельскохозяйственных культур без внесения удобрений произошло снижение валового содержания фосфора в пахотном слое на 2,7 %, подпахотном – 4,5 %. Применяемая система удобрения культур в севообороте, наоборот, способствовала его увеличению соответственно на 6,8 и 2,4 %.

Валовой фосфор чернозема выщелоченного в пахотном слое на 39,6 % представлен органическими и на 27,9 % минеральными соединениями, в подпахотном – соответственно на 38,4 и 25,0 %. Систематическое внесение удобрений на полях севооборота способствовало увеличению доли его минеральных и органических форм соединений в фосфорном фонде почвы.

На долю фосфатов I, II, III, IV и V групп в общем фосфорном фонде пахотного слоя чернозема выщелоченного приходится соответственно 1,5; 10,2; 21,1; 41,4 и 26,3 %, подпахотного – 0,7; 10,7; 19,8; 37,1 и 33,4 %. Фосфор удобрений переходит в формы соединений всех пяти групп. В большей степени это касалось водорастворимых (I группа) и щелочноземельных фосфатов (II группа) и меньшей – «нерастворимых» (V группа).

В черноземе выщелоченном по абсолютным показателям содержания фракции минеральных фосфатов расположились в следующий возрастающий ряд: Ca-P₁ < Al-P < Ca-P₂ < Fe-P < Ca-P₃. При систематическом применении удобрений в почве увеличивается абсолютное количество всех пяти фракций минеральных фосфатов. Однако трансформация фосфора удобрений и высвобожденных под их влиянием из неактивных (восстановлено растворимых и окклюдируемых) соединений этого элемента происходит в основном в

сторону образования Са-Р₁ и Са-Р₂. Хотя абсолютное содержание в почве Al-Р, Fe-Р и Са-Р₃ на фоне удобрений заметно выросло, но относительное количество их осталось без изменений или несколько уменьшилось.

Калий – необходимый и незаменимый элемент питания растений. Кроме того, он выполняет важные агрохимические и экологические функции в агроэкосистемах. Уже более 100 лет этот элемент входит в классическую триаду «азот-фосфор-калий», являющуюся фундаментом агрохимии. Тем не менее, при изучении элементов биофилов калию уделяется наименьшее внимание. Невелик в целом и исследовательский интерес к мониторингу калийного состояния почв. Недостаточное внимание к калийной проблематике объясняется, очевидно, высоким валовым содержанием калия в пахотном слое большинства почв и равномерным его распределением по почвенному профилю.

В действительности некоторый дефицит калия экономически и экологически оправдан, однако это допустимо до определенного предела, после которого наблюдается падение плодородия почвы, снижение урожая и качества полученной продукции. При этом значительно сокращается влияние на продуктивность агроценоза азотно-фосфорных удобрений [44, 70].

В этом отношении показателен следующий пример, который описывает А.В. Соколов [47]. В 1912 г. «Сетью опытных полей Всероссийского общества сахарозаводчиков» была организована Мироновская центральная опытная станция по культуре сахарной свеклы. В программу исследований станции было включено изучение системы удобрения свекловичного севооборота. Для сравнения действия органических и минеральных удобрений была взята тройная комбинация NPK. В 1917 г. калий был исключен из системы удобрения и до 1926 г. не вносился. В этот период отмечено ежегодное снижение урожайности сахарной свеклы. В связи с этим в 1927 г. калий вновь был включен в систему удобрения, и урожаи сразу возросли на 80–90 ц/га.

Содержание калия в почвах обусловлено их минералогическим составом и агрохимическим фоном. Качественный состав почвенных минералов и степень их выветренности определяют как общий запас калия в почвах, так и их способность к поддержанию и воспроизводству уровня подвижных форм элемента.

Трансформация форм соединений калия в почвах, в отличие от азота и фосфора, почти не связана с микробиологическим и химическим закреплением. Внутрипрофильная миграция ионов калия, тем не менее, затруднена в связи с адсорбцией и необменным поглощением их почвенными коллоидами. При естественном ходе почвообразования соотношение форм элемента определяется интенсивностью его мобилизации из кристаллической решетки алюмосиликатов, процессами сорбции и десорбции, которые диагностируются по схеме: силикатный калий → необменный калий ↔ обменный калий ↔ калий почвенного раствора. Все формы калия в почве взаимосвязаны между собой геохимическими процессами и в той или иной степени участвуют в питании растений.

Проведенные исследования показали, что чернозем выщелоченный имеет достаточно высокий уровень обеспеченности калием (табл. 126).

Пахотный слой почвы до закладки стационарного опыта содержал 19820 мг/кг, подпахотный – 19790 мг/кг валового калия. На долю силикатного, необменного инертного, необменного гидролизуемого и обменного калия в общем калийном фонде пахотного слоя почвы приходилось соответственно

66,37; 23,11; 8,65 и 1,87 %, подпахотного – 66,75; 23,19; 8,39 и 1,67 %. Водорастворимого калия в 0–20 см и 21–40 см слоях почвы было 8,65 и 7,57 % от его обменной формы, что, естественно, не может удовлетворить потребность культур севооборота в этом элементе.

Таблица 126 – Содержание калия и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Калий валовой | Калий | | | | | |
|---|----------------|---------------|-----------------|----------|---------------|----------|--------------------------|--------------------------|
| | | | водорастворимый | обменный | необменный | | органической части почвы | силикатный («скелетный») |
| | | | | | гидролизуемый | инертный | | |
| До освоения севооборота | 0–20 | 19820 | 32 | 370 | 1715 | 4580 | 42 | 13155 |
| | 21–40 | 19790 | 28 | 330 | 1660 | 4590 | 28 | 13210 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 19785 | 28 | 350 | 1690 | 4575 | 32 | 13160 |
| | 21–40 | 19740 | 24 | 320 | 1620 | 4590 | 24 | 13210 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 19800 | 39 | 380 | 1720 | 4570 | 46 | 13130 |
| | 21–40 | 19765 | 34 | 370 | 1670 | 4585 | 30 | 13140 |

В связи с небольшим содержанием органических веществ в черноземе выщелоченном, содержание калия в органической части почвы низкое. В общем калийном фонде на его долю приходилось всего лишь 0,21 и 0,14 % соответственно в пахотном и подпахотном слое.

За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота при выращивании сельскохозяйственных культур без внесения удобрений валовое содержание калия в пахотном и подпахотном слоях почвы снизилось незначительно – соответственно на 0,18 и 0,25 %. Произошло это преимущественно за счет уменьшения доли обменного и необменного гидролизующего калия, поскольку количество силикатного практически не изменилось. Выращивание культур севооборота без внесения удобрений сопровождалось снижением содержания калия органической части почвы, но из-за незначительного его количества это не оказывает существенного влияния на калийный статус чернозема выщелоченного.

Систематическое применение удобрений замедлило, но полностью не предотвратило снижение валового содержания калия в черноземе выщелоченном. Обеднение произошло вследствие вымывания богатых калием коллоидных частиц с фильтрационными водами из корнеобитаемого слоя почвы.

Удобрения не влияли на содержание силикатного калия, но в некоторой степени изменяли количество обменных форм этого элемента в почве. В частности, просматривается слабо выраженная тенденция уменьшения содержания необменного инертного и увеличения количества необменного гидролизующего калия. Внесение удобрений не сопровождалось существенным увеличением количества обменного калия в черноземе выщелоченном. Связано это с высокой насыщенностью почвенного поглощающего комплекса двухвалентными основаниями, препятствующими его поглощению. Небольшое увеличение содержания обменного калия в почве под воздействием удобрений происходит в основном за счет мобилизации необменного гидро-

лизуемого. Внесение удобрений способствовало повышению количества водорастворимого калия. Содержание его в пахотном и подпахотном слоях почвы возрастало на 21,9 и 21,4 % по сравнению с исходным количеством. Заметно положительное влияние удобрений и на содержание калия органической части почвы. Это, по-видимому, связано с большим поступлением органических остатков агроценоза под воздействием удобрений, вносимых под культуры севооборота [55, 81, 104, 112].

Выводы. Запасы калия в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья значительны. До закладки стационарного полевого опыта в 0–20 см и 21–40 см слоях почвы валового калия содержалось 19820 и 19790 мг/кг. За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота при выращивании сельскохозяйственных культур без внесения удобрений содержание валового калия в 0–20 и 21–40 см слоях почвы снизилось незначительно – соответственно на 0,18 и 0,25 %. Систематическое применение удобрений на полях севооборота не полностью компенсировало потери этого элемента из почвы.

На долю силикатного, необменного инертного, необменного гидролизуемого и обменного калия в общем калийном фонде пахотного слоя чернозема выщелоченного приходится соответственно 66,37; 23,11; 8,65 и 1,87 %, подпахотного – 66,75; 23,19; 8,39 и 1,67 %. Чернозем выщелоченный характеризуется низким содержанием водорастворимого калия. В связи с небольшим количеством органического вещества содержание в нем калия в органической части почвы также низкое. Суммарная доля этих форм в калийном фонде почвы не превышает 0,5 % и не может удовлетворить потребности растений в этом элементе.

Калийный режим чернозема выщелоченного обуславливается его генетическими особенностями и агрохимическим фоном. Применяемая система удобрения культур севооборота не влияла на содержание в почве силикатного калия, но в некоторой степени изменяла количество обменных форм элемента. Под их воздействием несколько уменьшается содержание необменного инертного и увеличивается количество необменного гидролизуемого калия.

В связи с высокой насыщенностью почвенного поглощающего комплекса чернозема выщелоченного двухвалентными основаниями, систематическое применение удобрений на полях севооборота не приводит к существенному увеличению содержания в почве обменного калия. Хотя тенденция повышения количества этой формы калия под влиянием удобрений четко просматривается.

Кремний. Значение и роль кремния в почве Д.С. Орлов [41] определяет следующими тремя положениями: 1) соединения кремния в большинстве почв и горизонтов создают их материальную базу, основной костяк почвенной массы, выполняя тем самым конституционную роль; 2) количественное распределение кремния по почвенному профилю служит одним из показателей типа протекающих процессов, а по соотношению $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ или $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ различают типы кор выветривания; 3) с соединениями кремния непосредственно связаны многие свойства почвы. От содержания и состава алюмосиликатов зависят связность и липкость почв, их набухаемость, а также емкость катионного обмена. В глинистых и тяжелосуглинистых почвах даже инертный кварц может играть положительную роль, улучшая их водно-воздушный режим.

Под влиянием кремния в почве повышается подвижность фосфора, смягчается токсическое действие марганца и продуктов анаэробного разложения, более рационально используются азот, фосфор, калий, вода, повышается устойчи-

вость растений к полеганию, болезням и вредителям, снижается стерильность, осыпаемость, трещиноватость зерновок, увеличивается их масса.

Вовлечение почв в сельскохозяйственное производство нарушает сложившийся в них баланс элементов питания, поскольку значительная часть их ежегодно безвозвратно отчуждается с полей урожаями. Обычно, растения выносят кремния больше, чем других элементов питания. Так, для картофеля эта величина колеблется от 50 до 70 кг/га, для зерновых культур – от 100 до 300 кг/га. Максимальное количество кремния выносятся растениями риса и сахарным тростником – до 500–700 кг/га. Ежегодно в мире 210–224 млн. т кремния безвозвратно отчуждается. Поэтому в почвах сельскохозяйственного назначения быстро снижается содержание доступного растениям кремния в пахотном горизонте. Нарастающий его дефицит вызывает ряд негативных последствий, т. к. кремний является не только элементом питания растений, но и конструктивным почвенным элементом. Дефицит монокремниевой кислоты и уменьшение содержания аморфного кремнезема приводит к разрушению органо-минерального комплекса почвы, ускорению деградации органического вещества, ухудшению минералогического состава. Для поддержания баланса монокремниевой кислоты с целью обеспечения достаточного уровня питания растений кремнием и предотвращения деградации почв необходимо внесение кремниевых удобрений. Потребность растений в кремнии может возникнуть не только из-за недостатка в почве, но и в результате неблагоприятно складывающихся условий в почве. В первую очередь это относится к кислотности, снижающей подвижность кремния, наличию токсичных для растений соединений, особенно в анаэробных условиях.

Основатель теории минерального питания Ю. Либих [30], опираясь на данные по химическому составу растений, первым пришел к выводу о необходимости внесения кремниевых удобрений под сельскохозяйственные культуры. В 1856 г. Д.Б. Лооз заложил первый полевой опыт «GrassPark» на Ротамстедской станции (Rothamsted Station) в Англии, где в одном из вариантов предусматривалось ежегодное внесение кремниевого удобрения. Этот эксперимент продолжается до сих пор, и вариант с данным видом удобрения обеспечивает стабильную прибавку урожая.

В России инициатором изучения и испытания кремниевых удобрений был Д.И. Менделеев, который в 1870 г. предложил использовать аморфный диоксид кремния. В 1881 г. в США J. Zippicott и J. Zippicott первыми запатентовали коммерческое кремниевое удобрение. В настоящее время кремниевые удобрения получили наибольшее применение в рисоводстве. Установлены критерии необходимости их внесения под рис (табл. 127; [57, 65, 68]).

Таблица 127 – Группировка рисовых почв по содержанию доступного растениям кремния

| Обеспеченность почв | Содержание кремния | | Ожидаемая эффективность кремниевых удобрений |
|---------------------|--------------------|-------------|--|
| | в почве, мг/кг | в соломе, % | |
| Низкая | < 105 | < 11 | высокая |
| Средняя | 105–130 | 11–13 | средняя |
| Высокая | > 130 | > 13 | не эффективно |

Как следует из приведенных данных, если в почве содержится меньше 105 мг/кг доступного растениям кремния, то посевы риса нуждаются во внесении кремниевых удобрений.

Оптимизация кремниевого питания приводит к повышению устойчивости растений к неблагоприятным факторам окружающей среды и их продуктивности. Однако отсутствие надежного и высокоинформативного метода определения доступных для растений форм соединений кремния в почве тормозит широкое применение кремниевых удобрений в земледелии.

Существующие методы определения кремния в почве основаны на применении различных реагентов, включая воду. Несмотря на многообразие способов экстрагирования, при анализе сухих почвенных образцов ни одна из вытяжек не позволяет достоверно оценить количество доступного растениям кремния. Это обусловлено наличием в почвенном растворе доступной для растений монокремниевой и недоступной – поликремниевой кислот. При высушивании почвенного образца обе формы трансформируются в аморфный кремнезем, который и растворяется в экстрактах. Для решения этой проблемы В.В. Матыченковым [33] предложена оригинальная методика с использованием водной вытяжки из сырой почвы и кислотной из сухой. Использование водной вытяжки позволяет экстрагировать монокремниевые кислоты, которые непосредственно потребляются растениями (кремний актуальный). В случае кислотной вытяжки (0,1 н HCl) из почвы определяется кремний потенциальный, который соответствует содержанию аморфного кремнезема биогенного и абиогенного генезиса, являющегося основным источником монокремниевых кислот. Кремний активный, включающий актуальный и потенциальный, служит комплексным показателем кремниевого состояния почв. Его содержание описывается уравнением $Si_{актив.} = 10 \times Si_{актуальн.} + Si_{потенц.}$, где 10 – поправочный коэффициент, учитывающий, что в водный раствор переходит лишь 1/10 часть аморфного кремнезема.

В.В. Матыченков [33] на основе анализа результатов своих исследований, где были определены различные формы соединений кремния, сгруппировал почвы по их содержанию (табл. 128).

Таблица 128 – Градация почв по дефициту доступного для растений кремния

| Уровень дефицита Si в почве | Актуальный Si (водн. вытяжка) | Потенциальный Si (0,1 н HCl вытяжка) | Активный Si, ($Si_{актив.} = 10 \times Si_{актуал.} + Si_{потенц.}$) |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--|
| | мг/кг почвы | | |
| Нет дефицита | >40 | >600 | >1000 |
| Низкий уровень | 20–40 | 300–600 | 500–1000 |
| Дефицит | 10–20 | 100–300 | 200–500 |
| Высокий уровень | 0–10 | 0–100 | 0–200 |

Нет дефицита кремния – этот уровень содержания доступных для растений форм соединений кремния характерен для почв с высоким уровнем плодородия (пойменные, вулканические, некультивируемые черноземы). Кремниевые удобрения или почвенные мелиоранты для этих почв могут быть использованы для оптимизации фосфорного и азотного питания растений.

Низкий уровень дефицита кремния характерен для некультивируемых почв с высоким и средним уровнем плодородия (серая лесная, бурая лесная, серая почва). К почвам, имеющим низкий уровень дефицита кремния для растений, относятся также черноземы, использующиеся в сельском хозяйстве. Кремниевые удобрения и мелиоранты на этих почвах позволят увеличить обеспеченность растений кремнием и эффективность применения минеральных и органических удобрений.

Дефицит кремния характерен для деградированных сельскохозяйственных угодий, почв с низким уровнем плодородия (дерново-подзолистые почвы). Кремниевые удобрения обеспечат снижение скорости или прекращение деградации и эродированности сельскохозяйственных почв, необходимый уровень кремниевого питания растений.

Высокий уровень дефицита кремния характерен для сильно деградированных и песчаных почв. Недостаток активных форм соединений кремния существенно снижает урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность вносимых агрохимикатов.

Валовое содержание кремния в черноземе выщелоченном несколько ниже кларка почв (табл. 129). В варианте севооборота, в котором на протяжении 33 лет в почву не вносились удобрения, оно составляет 33,13% и 32,21% в пахотном и подпахотном слое, а в получившем за этот период $N_{1740}P_{1740}K_{1160}$ – соответственно 31,76% и 31,88%. Просматривается слабовыраженная тенденция вовлечения кремния в агробиогеохимический цикл при длительном применении минеральных удобрений на полях севооборота. Пахотный слой чернозема выщелоченного постепенно «расстается» с кремнием. Обусловлено это с одной стороны воздействием минеральных удобрений как химических реагентов на кремнийсодержащие минералы, образованием в результате этого подвижных соединений элемента и перемещением их в нижние горизонты почвы. С другой стороны – увеличением количества остатков агроценоза и биологической активности почвы вследствие роста продуктивности севооборота под воздействием удобрений.

Таблица 129 – Содержание валового кремния и доступных растениям его форм в черноземе выщелоченном

| Вариант | Слой почвы, см | Валовой, % | Актуальный | Потенциальный | Активный |
|----------------------------|----------------|------------|------------|---------------|----------|
| | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 32,13 | 18,0 | 396 | 576 |
| | 21–40 | 32,21 | 12,2 | 372 | 494 |
| $N_{1740}P_{1740}K_{1160}$ | 0–20 | 31,76 | 19,1 | 408 | 599 |
| | 21–40 | 31,88 | 13,0 | 384 | 514 |

Количество активного кремния в черноземе выщелоченном, т. е. доступного растениям, чрезвычайно мало – всего лишь 0,05–0,06 % валового его содержания. В удобряемой почве его содержание составляет 576 и 494 мг/кг в пахотном и подпахотном слое, удобряемой – 599 и 514 мг/кг соответственно. Следовательно, при внесении минеральных удобрений создаются условия для более интенсивного образования доступного растениям (активного) кремния.

Наиболее «легко» растения потребляют водорастворимый, так называемый актуальный кремний. В выщелоченном черноземе опытного участка его содержание в пахотном и подпахотном слое на неудобренном варианте 18,0 и 12,2 %, удобренном – соответственно на 1,1 и 0,8 мг/кг или 6,1 и 6,6 % больше. В соответствии с классификацией В.В. Матыченкова [33], растения, произрастающие на этой почве, испытывают дефицит кремния.

Потенциального (кислоторастворимого) кремния в почве больше, чем актуального, в 21,4–22 раза в пахотном и 29,5–30,5 раз в подпахотном слое. Распределен он в слое 0–40 см достаточно равномерно, хотя в пахотном слое его содержание несколько выше. Внесение минеральных удобрений положительно отражается на образовании кислоторастворимой формы кремния. Систематическое внесение полного минерального удобрения на полях севооборота привело к увеличению на 3,0–3,2 % его количества. Содержание потенциального кремния, также как и актуального, показывает, что чернозем выщелоченный опытного участка не может обеспечить растения кремнием в достаточном для их роста и развития количестве и наступит время, когда встанет вопрос о необходимости внесения кремниевых удобрений [62, 94, 99].

Выводы. Несмотря на значительные валовые запасы кремния в черноземе выщелоченном (~32 %), растениям в условиях агрогенеза доступно лишь 0,03–0,04 % этого элемента. В слое 0–40 см почвы доступные растениям формы соединений кремния распределяются достаточно равномерно с несколько большей концентрацией в пахотном слое. Внесение минеральных удобрений на полях севооборота стимулирует образование доступных растениям форм соединений кремния в почве. Чернозем выщелоченный содержит недостаточное для оптимального роста и развития растений количество доступного кремния.

8.4.3.2 Мезоэлементы

Кальций по распространенности в земной коре занимает пятое место после кислорода, кремния, алюминия и железа. Содержание его в почвах колеблется от 0,5 до 5,0 %. Основная часть этого элемента находится в почве в форме труднорастворимых минеральных соединений (главные «кальциедержатели») – карбонатов, сульфатов, фосфатов, силикатных и алюмосиликатных минералов. Значительная часть кальция содержится в обменно-поглощенной форме и в очень небольшом количестве – в органическом веществе почвы, а также в почвенном растворе в виде водорастворимых солей – нитратов, хлоридов и бикарбонатов, которые образуются при вытеснении в раствор поглощенного кальция, а также в результате растворения карбонатов и разрушения силикатных и алюмосиликатных минералов. Обменно-поглощенный кальций – основной источник питания растений этим элементом.

Кальций доминирует среди обменных катионов почвенного поглощающего комплекса большинства почв. На его долю приходится 55–85 % катионообменной емкости. Высокая концентрация кальция на участке катионного обмена определяется сравнительно небольшим размером гидратированного иона кальция относительно к его двойному положительному заряду. Концентрация заряда создает предпочтительную адсорбцию катионов Ca^{2+} по сравнению с другими ионами, которые могут присутствовать. Предпочтительная адсорбция

присуща в большой степени глинистым минералам с высокой емкостью катионного обмена, например, монтмориллониту, и менее выражена в таких глинах, как каолинит, которые имеют низкие емкости катионного обмена. В гумусе адсорбция кальция наиболее высока, поскольку он характеризуется повышенной емкостью катионного обмена и, кроме того, некоторые ионы Ca^{2+} могут быть хелатированы органическими соединениями, присутствующим в гумусе.

Кальций в значительной мере определяет экологические свойства почвы: создает условия для трансформации органического вещества, образования глинистых минералов, влияет на природу глиногумусовых комплексов, структуру почвы, реакцию почвенного раствора и связанную с ними интенсивность биологических процессов и подвижности питательных веществ. «Кальций, – писал А.Н. Соколовский [48], – является своего рода «стражем» почвы, охраняя ее структуру, и даже ее собственное тело от изменений, задерживая, коагулируя коллоидную часть, не давая ей вымываться, передвигаться в более глубокие горизонты». «Являясь весьма сильным коагулятором и вызывая свертывание коллоидов, – писал А.А. Шмук [114], – кальций образует тем самым тот цемент, который склеивает отдельные почвенные агрегаты, сообщая им достаточную прочность и обуславливая желательную для земледелия прочную комковатую структуру... Потеря из почвы кальция, вытеснение его из почвенного поглощающего комплекса другими катионами, в особенности натрием, сейчас же сказывается на изменении физических свойств и структурности почвы в нежелательную сторону. Практический случай таких явлений мы видим иногда при длительном удобрении почв чилийской селитрой – почва, мало-помалу утрачивает свои хорошие агрономические свойства, теряет структуру и перед земледельцем стоит необходимость искусственного пополнения запасов кальция в почве».

На формирование 1 т товарной продукции зерновые культуры затрачивают его 0,75–1,25; зернобобовые – 2,0–3,0; корне- и клубнеплоды – 2,75–3,25; овощные культуры – 0,35–0,70 кг [75]. У большинства сельскохозяйственных культур, за исключением бобовых, кальций накапливается преимущественно в вегетативных органах, в результате чего отчуждение его из полей относительно не велико. Однако, в условиях сельскохозяйственного производства корнеобитаемый слой почвы теряет значительное количество кальция с инфильтрационными атмосферными осадками.

Размер потерь кальция, обусловленных вымыванием, зависит от количества атмосферных осадков, валового содержания и гранулометрического состава почвы, и варьирует в пределах 50–350 кг/га. Чем больше кальция содержится в почве, тем легче он теряется вследствие вымывания. На величину его потерь оказывают влияние и вносимые на поля севооборота минеральные удобрения. Аммонийные формы азотных удобрений, способствуют вытеснению обменного кальция из почвенного поглощающего комплекса, и он теряется с просачивающейся водой. На практике внесение 1 ц сульфата аммония влечет за собой потерю кальция, эквивалентную примерно 1 ц карбоната кальция. Калийные удобрения также способствуют, хотя и в меньшей степени, декальцинации почвы. Применение фосфорных удобрений вызывает меньшие потери, поскольку фосфаты химически связываются почвой.

Термодинамическим показателем, характеризующим способность катионов кальция переходить из твердой фазы почвы в почвенный раствор, служит

уровень активности ионов (aCa^{2+}). Существует положительная связь между активностью ионов кальция в почвенном растворе и содержанием его водорастворимой формы. Вместе с тем такая связь с обменной формой наблюдается не всегда.

Важнейшим критерием для оценки плодородия почв является величина кальциевого потенциала – отношение концентрации иона водорода к корню квадратному из концентрации иона кальция. Этот показатель характеризует энергетический уровень перехода ионов кальция из твердой фазы почвы в почвенный раствор. Чем он выше, тем легче ион кальция переходит в почвенный раствор и тем он доступнее растениям.

Несмотря на свое природное совершенство, черноземы неизбежно эволюционируют в процессе агрогенеза. В связи с этим большой практический и теоретический интерес представляет изучение агробиогеохимической трансформации кальция в агроэкосистемах. Основу устойчивости почвы, как элемента структуры и функционирования биосферы, составляют исторически сложившиеся биохимические циклы и потоки вещества и энергии, которые остаются неизменными при антропогенном воздействии.

Сравнительный анализ валового содержания кальция в черноземе выщелоченном позволил установить его снижение после трех ротаций зерно-травяно-пропашного севооборота (табл. 130). Без применения удобрений его уменьшение относительно исходного составило 5,25 % в слое 0–20 см и 3,87 % в слое 21–40 см, с их внесением – 9,14 и 9,35 % соответственно. Выявленная тенденция позволяет говорить о снижении запасов кальция в корнеобитаемом слое чернозема выщелоченного при его сельскохозяйственном использовании, причем более активно данный процесс происходит при использовании минеральных удобрений. Последнее, очевидно, обусловлено большим выносом элемента на удобренном фоне с урожаем сельскохозяйственных культур, а также отчасти воздействием минеральных удобрений как химических реагентов на минеральную часть почвы, высвобождением в результате этого кальция и перемещением его в нижние горизонты почвы.

Таблица 130 – Содержание кальция и форм его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Кальций валовой | Кальций | | | |
|---|----------------|-----------------|-----------------|----------|----------------------------|--------------------------|
| | | | водорастворимый | обменный | резервный неэкстрагируемый | органической части почвы |
| До освоения севооборота | 0–20 | 17500 | 380 | 5680 | 11820 | 160 |
| | 21–40 | 15500 | 410 | 5420 | 10080 | 120 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 16580 | 340 | 5520 | 11060 | 140 |
| | 21–40 | 14900 | 370 | 5340 | 9560 | 100 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 15900 | 450 | 5900 | 10000 | 170 |
| | 21–40 | 14050 | 470 | 5620 | 8430 | 122 |

Более полное представление о трансформациях и динамике соединений кальция в почве позволяют получить данные по содержанию различных его форм. Аналитические данные показывают, что в почве наименее всего

представлен кальций органических соединений. В пахотном слое 0–20 см его содержалось 140–170 мг/кг, в слое 21–40 см – 100–122 мг/кг. Использование чернозема выщелоченного в зерно-травяно-пропашном севообороте не оказало существенного влияния на количество этой формы. Отмечена лишь тенденция его снижения в варианте без внесения минеральных удобрений, что связано со снижением содержания гумуса.

Наличие водорастворимых форм кальция также характеризуется в черноземе выщелоченном невысокими значениями – 340–470 мг/кг. При этом следует отметить незначительное снижение их количества по сравнению с исходным в варианте без удобрений и увеличение при внесении минеральных удобрений. Последнее, очевидно, обусловлено поступлением элемента в почву в составе фосфорных удобрений, а также отчасти более высокой биологической аккумуляцией в удобренном варианте.

Чернозем выщелоченный отличается высоким содержанием обменно-поглощенного кальция. Этот ион является преобладающим в составе поглощенных оснований данного типа почв – на его долю приходится свыше 70 % от их суммы. В почве 32,5–40,0 % кальция представлено обменно-поглощенной формой. В севообороте без удобрений абсолютное ее содержание снизилось по сравнению с исходным, а с их применением – увеличилось почти на 4,0 %. Доля поглощенного кальция в общем запасе элемента в почве после трех ротаций севооборота повысилась в обоих вариантах.

В черноземе выщелоченном более 60,0 % валового содержания кальция находится в резервном неэкстрагируемом состоянии. Так, в исходной почве доля этой формы составляла 67,5 и 65,0 % в пахотном и подпахотном слоях соответственно. После трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота отмечено как относительное, так и абсолютное снижение резервного кальция. Причем в варианте с применением минеральных удобрений потери были выше и составили 15,4 и 16,4 % в слоях 0–20 см и 21–40 см соответственно относительно исходного содержания, в то время как в неудобренном варианте 6,4 и 5,2 % для тех же глубин. Такая динамика данной формы соединений элемента показывает, что: 1) пополнение запасов соединений кальция, доступных для питания растений, происходит главным образом за счет их постепенного высвобождения их резервных минеральных форм; 2) использование минеральных удобрений активизирует процессы выветривания и тем самым ускоряет переход неэкстрагируемых форм в более лабильные; 3) при сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного происходит снижение валовых запасов кальция в корнеобитаемых слоях, преимущественно, за счет уменьшения количества его резервных неэкстрагируемых соединений.

Наряду с валовым содержанием кальция и его форм анализировалась активность ионов кальция и кальциевый потенциал. Активность ионов принято считать мерой их реального участия в почвенно-химических реакциях. Она представляет собой произведение концентрации иона в растворе на коэффициент его активности. Последний является мерой интенсивности взаимно действующих в растворе сил, зависящих от его концентрации, заряда ионов и степени их гидратации. Величину активности часто используют в термодинамических расчетах, а также для решения ряда задач, в числе которых оценка доступности элементов питания растениям.

Как свидетельствуют данные, представленные в таблице 131, к концу третьей ротации севооборота под воздействием минеральных удобрений возросла активность ионов кальция. Это, очевидно, обусловлено в первую очередь увеличением содержания водорастворимых форм этого элемента. Косвенным подтверждением тому является пропорциональное изменение этих двух показателей: в почве варианта с применением минеральных удобрений как количество водорастворимого кальция, так и его активность возросли в 1,3 раза.

Таблица 131 – Активность ионов кальция и величина кальциевого потенциала чернозема выщелоченного

| Вариант | Слой почвы, см | pH _{водн.} | Кальций | | | | Кальциевый потенциал |
|--|----------------|---------------------|----------|-------------------------|-----------------|----------|----------------------|
| | | | активный | | водорастворимый | обменный | |
| | | | pCa | aCa^{2+} мг-экв./л | мг-экв./100 г | | |
| До освоения севооборота N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 6,5 | 3,17 | 1,35 | 1,70 | 27,6 | 5,32 |
| | 21–40 | 6,6 | 3,10 | 1,59 | 1,85 | 26,7 | 5,41 |
| | 0–20 | 6,3 | 3,05 | 1,78 | 2,25 | 29,5 | 5,92 |
| | 21–40 | 6,4 | 3,00 | 2,00 | 2,35 | 28,1 | 6,16 |

Вместе с тем следует отметить, что активность иона может служить показателем «мгновенной» (в данный момент) обеспеченности растений элементом питания. В общей форме она оценивается с помощью потенциала элемента питания (*nutrient potential*) – энергетической характеристикой, определяемой только для равновесных систем «твердая фаза – почвенный раствор». Результаты исследований свидетельствуют, что эта величина в удобренном варианте также превышала таковую в неудобренном, однако различия незначительны – всего в 1,1 раза [63, 69, 89, 112].

Выводы. Кальциевый режим чернозема выщелоченного изменяется в процессе агрогенеза. Длительное использование почвы в зерно-травяно-пропашном севообороте сопровождается снижением валового содержания элемента, преимущественно в результате сокращения количества резервных неэкстрагируемых соединений. Применение минеральных удобрений на полях севооборота способствует активизации этого процесса, повышению содержания водорастворимых и обменно-поглощенных форм кальция в почве, а также активности Ca²⁺ и кальциевого потенциала. С целью обеспечения благоприятного для сельскохозяйственных культур кальциевого режима почв и сохранения его общих запасов в черноземе выщелоченном в условиях агрогенеза необходимо возмещение потерь элемента путем внесения кальциевых удобрений и кальцийсодержащих мелиорантов.

Магний. Среднее валовое содержание магния в подзолистых почвах составляет 0,5 %; серых лесостепных – 0,7 %; черноземах – 0,9; сероземах – 1,5 %., в кубанских черноземах – около 0,8–1,1 %. В пределах каждого типа почвы колебания содержания магния бывают значительными и связаны они с минералогическим составом материнской породы. Почвы, сформированные на породах, где преобладающим минералом является каолинит, бедны магнием, а если наибольшее распространение имеет монтмориллонит – богаты им.

Миграция магния в нижние горизонты почвенного профиля – важная в агрономическом отношении специфическая его особенность. Этот процесс в зоне с промывным водным режимом почв, как правило, значительно преобладает над биологической его аккумуляцией. По выносу из верхних горизонтов почвы магний обычно стоит на первом месте среди химических элементов, уступая лишь в некоторых случаях железу. Почвы зон с непромывным водным режимом характеризуются большим абсолютным и относительным количеством магния и меньшей его подвижностью по почвенному профилю.

Потребность растений в магнии зависит от культуры и уровня урожая. Значительное количество магния из почвы выносят свекла (60–70 кг/га) и картофель (40–60 кг/га), меньше – зерновые (10–15 кг/га) и кормовые злаковые травы (10–12 кг/га). Промежуточное место по выносу занимают бобовые травы (30–50 кг/га). В зависимости от вида севооборота с урожаем выносятся ежегодно 15–50 кг/га магния.

Ежегодные суммарные потери магния из почвы составляют 30–80 кг/га, в т. ч. в результате вымывания – 15–30 кг/га. Для восполнения потерь этого элемента из почвы и с целью поддержания его содержания на уровне, обеспечивающем потребности сельскохозяйственных культур, необходимо ежегодно вносить от Mg_{30-40} (под зерновые) до Mg_{60-70} (под кукурузу, картофель, рис, корнеплоды). На слабо обеспеченных магнием почвах эту норму следует увеличивать на 15–20 % [75].

«В отношении кальция и магния установлено предвзятое утверждение, – писал А.А. Шмук [114], – что растения почти никогда не обнаруживают в нормальных условиях своего роста признаков голодания по отношению к этим, безусловно, необходимым элементам питания растений... Поэтому, несмотря на то, что растения большей частью действительно хорошо обеспечены кальцием, магнием и калием в почвах, изучение форм этих соединений, динамики процессов, при которых они изменяются, а также учет агрохимического значения косвенных влияний, которые вызывает их динамика, заслуживает особого внимания».

Недостаток магния в питании растений может быть вызван не только низким содержанием его в почве, но и с проявлением антагонизма с ионами калия и кальция. Все это способствует активизации исследований в области изучения режима магния в почве в условиях агрогенеза.

Валовое содержание магния в черноземе выщелоченном до начала эксперимента составляло 1,03 и 1,05 % соответственно в пахотном и подпахотном слое. Это указывает на наметившуюся тенденцию миграции элемента в нижележащие горизонты вследствие выщелачивания (табл. 132).

Магний в почве представлен главным образом необменной формой, количество которой оценивается в 90,18 и 91,29 % от валовых его запасов. Обменные формы магния составляют 8,68 и 7,71 % соответственно в пахотном и подпахотном слое. На долю водорастворимой и органической формы приходится менее 1 % – 0,62 и 0,68 и 0,46 и 0,38 % соответственно.

За три ротации 11-польного севооборота валовые запасы магния в почве, на которой культуры выращивались без удобрений, сократились на 0,02 % (200 мг/кг), с удобрениями – 0,03 и 0,02 % (300 и 200 мг/кг). Интенсивнее магний выщелачивался из пахотного слоя почвы.

Таблица 132 – Содержание магния и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Магний валовой | Магний | | | |
|---|----------------|----------------|-----------------|----------|------------|--------------------------|
| | | | водорастворимый | обменный | необменный | органической части почвы |
| До освоения севооборота | 0–20 | 10300 | 70 | 894 | 9289 | 47 |
| | 21–40 | 10500 | 65 | 810 | 9585 | 40 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 10100 | 64 | 858 | 9135 | 43 |
| | 21–40 | 10300 | 58 | 792 | 9414 | 36 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 10030 | 78 | 912 | 9032 | 48 |
| | 21–40 | 10250 | 77 | 834 | 9298 | 41 |

Претерпело изменение и содержание в почве форм магния. В севообороте без удобрений доля необменного магния в общем фонде элемента возросла по сравнению с исходным на 0,27 % в пахотном и 0,11 % подпахотном слое почвы при том, что абсолютное содержание уменьшилось. Количество водорастворимого, обменного и магния органической части почвы снизилось. Уменьшение количества водорастворимого (на 0,05 и 0,06 %) и обменного (на 0,18 и 0,02 %) магния обусловлено его потреблением растениями. Доля магния органической части почвы уменьшается в результате постоянно снижающихся урожаев, а следовательно, и количества органических остатков.

В севообороте с использованием минеральных удобрений отмечена иная динамика соединений магния в почве. Количество необменного магния уменьшилось по сравнению с исходным на 0,13 % в пахотном и 0,58 % подпахотном слое почвы. Содержание обменного магния увеличилось соответственно на 0,43 и 0,41 %, водорастворимого – на 0,13 и 0,10 %, органической части почвы – на 0,02 и 0,02 %.

Продуктивность севооборота с минеральной системой удобрения существенно выше, чем без их применения. Следовательно, вынос элемента урожаем несоизмеримо больше. Наличие магния в качестве примеси в минеральных удобрениях не компенсировало сокращение его валовых запасов. Увеличение содержания водорастворимого и обменного магния, несмотря на больший его вынос с урожаем, обусловлено действием удобрений на физико-химические свойства почвы, а именно, подкислением почвенного раствора. В кислой среде повышается растворимость магниевых соединений, что усиливает переход магния из минералов (необменная форма) в обменную и водорастворимую форму. Увеличение содержания магния органической части почвы обусловлено большим количеством растительных остатков [91, 112].

Выводы. В процессе агрогенеза изменяется магниевый режим чернозема выщелоченного, что выражается в сокращении валовых запасов элемента. И хотя за три ротации севооборота изменения незначительные, наметившаяся тенденция будет усиливаться, т. к. вносимые азотно-фосфорно-калийные удобрения практически не содержат примеси магния. Систематическое применение удобрений ведет к подкислению почвенного раствора, что сопровождается повышением растворимости соединений магния, вследствие

чего количество его водорастворимых и обменных форм увеличивается. Однако существует опасность их выщелачивания из пахотного слоя почвы. Выявленные закономерности в изменении магниевом режиме чернозема выщелоченного диктуют необходимость оптимизации системы удобрения культур севооборота с обязательным включением в нее магниевых удобрений.

Сера – второй после азота протеиногенный элемент, потребляемый растениями преимущественно из почвы. При ее дефиците нарушается азотный обмен в растении, снижаются интенсивность продукционного процесса и урожай.

Содержание серы в почвах зависит от характера почвообразования, определяемого минералогическим составом почвообразующих пород и рельефа, обуславливающего направление геохимического стока, определяющих современное перемещение химических элементов в зоне гипергенеза.

Трансформация соединений серы в почве обусловлена следующими процессами: минерализацией, иммобилизацией, окислением и восстановлением. В почву она поступает в форме органических соединений остатков биогеннозона, а также с атмосферной пылью и «кислотными дождями» в виде сульфат-ионов. При агроэкологической оценке серы в почвах наряду с валовым ее содержанием учитывают подвижную (0,2 н КС1 вытяжка), минеральную (0,2 н НС1 вытяжка) и резервную (органическая + не извлеченная 0,2 н НС1) формы.

Подвижные формы соединений серы являются наиболее доступными для растений. Почвы по содержанию доступной растениям подвижной серы делятся на три группы:

- 1) низкообеспеченные – менее 6 мг/кг;
- 2) среднеобеспеченные – 6–12;
- 3) высокообеспеченные – более 12 мг/кг.

Запасы минеральной формы серы в почвах пополняются при минерализации органического вещества. Интенсивность сульфатификационной способности почвы (процесс окисления сероводорода и элементарной серы до серной кислоты) зависит от биологической активности, аэрации, температуры, рН, влажности, а также от соотношения С : S. При соотношении С : S < 200 в почвах осуществляется исключительно процесс минерализации серы, при С : S > 200 происходит ее иммобилизация и связывание органическим веществом.

Ежегодные потери серы из почв в условиях промывного водного режима составляют 40–60 кг/га и зависят от рН и гранулометрического состава почвы, рельефа, количества осадков и выращиваемой культуры.

Количество серы, отчуждаемой с поля сельскохозяйственными культурами, в зависимости от содержания этого элемента и величины урожая, колеблется от 10–20 до 110–135 кг/га]. Следовательно, при интенсификации земледелия в биологический круговорот включается значительное количество серы, что усиливает вероятность проявления дефицита этого элемента в питании растений.

Результаты исследований показали, что на естественном фоне общее содержание серы в черноземе выщелоченном по слоям 0–20 и 21–40 см составило 334 и 302 мг/кг (табл. 133). После трех ротаций севооборота в почве без внесения удобрений ее валовое содержание уменьшилось соответственно на 8,7 и 6,6 %. Ежегодное внесение минеральных удобрений, хотя и замедляло по сравнению с неудобренным севооборотом обеднение пахотного и подпахотного слоя почвы серой, ее количество все же по сравнению с исходными показателями уменьша-

лось на 6,6 % в 0–20 см и 2,6 % – в 21–40 см слое. Повышенное содержание общей серы в почве на варианте с удобрениями объясняется тем, что в качестве фосфорного удобрения использовался суперфосфат, содержащий примерно 13 % этого элемента. Аналогичная тенденция наблюдалась и в отношении содержания в почве подвижной, минеральной и резервной форм серы.

Таблица 133 – Содержание валовой серы и трансформация ее соединений в черноземе выщелоченном в условиях агрогенеза, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Сера валовая | Сера | | |
|---|----------------|--------------|-----------|-------------|-----------|
| | | | подвижная | минеральная | резервная |
| До освоения севооборота | 0–20 | 334 | 2,7 | 20,8 | 313 |
| | 21–40 | 302 | 3,0 | 22,8 | 279 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 305 | 2,2 | 17,1 | 288 |
| | 21–40 | 282 | 2,5 | 18,0 | 264 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 312 | 2,4 | 19,2 | 293 |
| | 21–40 | 294 | 2,7 | 20,5 | 274 |

За три ротации севооборота количество резервной формы серы в черноземе выщелоченном снизилось. Интенсивнее этот процесс шел в севообороте без удобрений. При этом в пахотном и подпахотном слое почвы доля этой формы в общем фонде элемента практически одинакова – 94,4 и 93,9 % и 93,6 и 93,2 % в неудобренном и удобренном севообороте. Содержание подвижной серы снижалось соответственно на 0,3 и 0,5 мг/кг почвы в пахотном и подпахотном слое, а минеральной – 1,6 и 2,3 мг/кг и 3,7 и 4,8 мг/кг. При этом их доля в общем фонде элемента везде была практически одинаковой. Наибольшее их содержание на всех вариантах отмечено в подпахотном 21–40 см слое почвы. Это объясняется тем, что сульфат ион (SO_4^{2-}) слабо поглощается почвой, что приводит к вымыванию его в нижележащие горизонты. А в условиях агрогенеза накладывается еще такой антропогенный фактор, как внесение удобрений.

Известно, что для достаточного обеспечения сельскохозяйственных культур подвижной серой в почве она должна присутствовать в количестве не менее 10 кг/га. Дефицит серы для растений наблюдается при содержании в почве подвижной ее формы менее 6 мг/кг. В черноземе выщелоченном Западного Предкавказья количество подвижной формы в среднем составило 2,58 мг/кг, что соответствует низкой обеспеченности почвы этим элементом.

В некоторой степени наметившаяся тенденция снижения содержания подвижной серы в черноземе выщелоченном обусловлена уменьшением объемов и изменением ассортимента применяемых удобрений, а также резким сокращением серосодержащих средств защиты растений. В 1 т навоза КРС содержится 1 кг серы (SO_3), или 0,6–0,15 %, сульфате аммония – до 24,0 %, сульфате калия – до 18,0 %, гипсе – до 18,6 %, фосфогипсе – до 22,0 %, простом суперфосфате – до 13,0 %. Слабое использование сульфата аммония в качестве азотного удобрения связано с подкисляющим его действием на почву. Поэтому при его внесении, особенно на почвах с повышенной кислотностью, необходимо предусматривать известкование [61, 67, 79, 87].

Выводы. Чернозем выщелоченный Западного Предкавказья характеризуется невысоким содержанием валовой серы. Основная часть ее приходится на резервную форму и недоступна растениям. Доля подвижной и минеральной серы значительно меньше и составляет в среднем по почвенному профилю соответственно 0,8–1,0 и 6,2–23,1 % от валового ее количества. Для поддержания в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья оптимального содержания доступной для растений серы и предотвращения обеднения почвы за счет выноса с урожаем и вымывания из верхних горизонтов необходимо внесение серных удобрений.

Железо. Валовое содержание железа в почвах колеблется в широких пределах – от 0,05 до 15 %; ожелезненные почвы и почвенные горизонты или конкреции могут содержать 20 и даже 60 % железа. Минимальное содержание валового железа – 0,05–0,5 %, – свойственно торфяным и песчаным почвам. В черноземах и серых лесных почвах его содержится 3–6 %, сероземах и каштановых – 5–6, бурых лесных – 4–6, солонцах – 5–7, красноземах – 8–15 % [9,10,12]. В кубанских черноземах оно находится в пределах 4,0–8,1 %.

По валовому содержанию железа почвы делятся на семь групп (табл. 134; [7]).

Таблица 134 – Группировка почв по валовому содержанию железа

| Степень ожелезненности | Содержание железа, % |
|------------------------|----------------------|
| Очень низкая | < 0,5 |
| Низкая | 0,5–1,0 |
| Умеренно низкая | 1,1–3,0 |
| Средняя | 3,1–5,0 |
| Умеренно высокая | 5,1–10,0 |
| Высокая | 10,1–30,0 |
| Очень высокая | > 30,0 |

Роль железа в почвообразовании многогранна. Выделяют следующие его функции: 1) образование комплексов с гумусовыми кислотами почв; 2) ферролиз – разрушение почвенных минералов в результате воздействия железа; 3) участие в формировании почвенных агрегатов; 4) каталитическая роль в реакциях разложения органических остатков.

Содержание железа в почвах, его распределение по почвенному профилю и в пределах одного горизонта отражает направление и особенности почвообразовательного процесса: меняются цвет, агрегатное состояние, сорбционная способность.

Основным источником железа в почвах являются почвообразующие горные породы и их переотложенные и обогащенные или обедненные этим элементом делювиальные и аллювиальные дериваты. Дифференциация содержания железа в самих породах обусловлена составом железосодержащих минералов. Распространение в почвах тех или иных минералов железа связано с масштабами развития оксидогенеза.

Оксидогенез железа оценивается как широко распространенный природный или антропогенный ландшафтно-педохимический процесс наследования, образования, накопления и превращения оксидов и гидроксидов железа как в новообразованиях, так и в мелкоземе. Он представляет собой элементарный почвенный процесс, распространенный в различных почвенно-климатических усло-

виях, особенно в гумидных регионах. Оксидогенез является прогрессивным почвенно-экологическим процессом, когда он выражается в ограниченном накоплении в поверхностных горизонтах дисперсных слабоокристаллизованных минералов железа, химически связанных с органическим веществом и способствующих агрегированности структуры почвы. Эти минералы повышают буферность почвы к тяжелым элементам. Когда же происходит чрезмерное накопление железа, сопровождаемое ростом окристаллизованности частиц (гидроксидов железа), разрывом их химических связей с гумусом и снижением микроагрегированности структуры почвы, этот процесс рассматривается как экологически регрессивный. К таковым относится формирование рудяков, латеритов, конкреционных горизонтов, кирас.

Значение железа не ограничивается его особой ролью в формировании почвенного профиля и плодородия почв. Этот элемент является необходимым компонентом минерального питания растений.

«Находящееся в почве железо, – писал А.А. Шмук [114], – представлено преимущественно малорастворимыми, малоподвижными коллоидными формами, как, например, гидрат окиси железа. Часть почвенного железа, несомненно, связана с фосфорной кислотой, и образует весьма трудно растворимые и сравнительно малоподвижные соли. Поэтому в почвенном растворе обычно обнаруживаются лишь весьма незначительные количества железа в ионной форме, большая же часть железа, находящаяся в почвенном растворе, представлена коллоидными формами».

С.В. Зонн [16] в заключительной части монографии «Железо в почвах» писал: «На фоне общего достаточного содержания железа в почвах уже сейчас происходит обеднение его свободными формами и, вероятно, обменными в ареалах распространения подзолистых лессивированных и глеевых почв (поверхностно- и грунтово-глеевых), и если не принимать профилактических и мелиоративных мер, то этот процесс будет все усиливаться и снижать плодородие почв, т. к. с содержанием железа связаны азотный режим, обменная способность и т. д. Та же тенденция выявляется и в почвах с феррсиллитным, ферраллитным и аллитными процессами, с тем лишь отличием, что потери железа сказываются и на потере структурности и, следовательно, на ухудшении физических свойств, а также на переходе части железа в конкреционные и кирасные новообразования. Во всех остальных почвах естественный потенциал железа высокий и темпы перевода силикатного железа в свободные его соединения ниже, чем в ранее названных. Здесь более часто ощущается недостаток обменных и потребляемых растением форм соединений железа, что может быть косвенной причиной хлороза ряда культур. Кроме того, укажем, что значение железа как одного из важных элементов, прямо или косвенно влияющих на плодородие, велико, особенно в прогнозировании последнего на ближайшую и отдаленную перспективы... Недоучет намечающихся тенденций в поведении различных форм железа может исказить оптимистические сценарные прогнозы неуклонного роста плодородия».

Сельскохозяйственные культуры с урожаем выносят из почвы от 0,6 до 12,0 кг/га железа, для зерновых эта величина в среднем составляет 1,5 кг/га, зернобобовых – 2,2, клубне- и корнеплодов – 12,0 кг/га. Критический уровень железной недостаточности, оптимум и уровень токсичного содержания для большинства растений составляет соответственно 11–115, 28–250 и 251–500 мг/кг сухой массы.

Дефицит железа является проблемой для многих сельскохозяйственных культур, поскольку значительная часть окультуренных почв отличается низким содержанием доступных для растений подвижных его форм. В подвижном состоянии, как правило, находится не более 0,75–0,92 % общего количества этого элемента в почве. Основная часть железа связана в органические и труднодоступные для растений соединения.

Степень ожелезненности чернозема выщелоченного, согласно общепринятой группировке почв, средняя (табл. 135). В севообороте без удобрений в слое почвы 0–20 см и 21–40 см валовое содержание железа составляло соответственно 3977 и 3922 мг/кг, в удобряемом варианте – 3914 и 3858 мг/кг. Иными словами, не выявлено существенных различий в содержании валового железа между пахотным 0–20 см и подпахотным 21–40 см слоями почвы. Не обнаружено также заметной разницы между удобряемым и не удобряемым вариантами севооборота по его содержанию. Имеющее место незначительное различие между вариантами севооборота по валовому содержанию железа обусловлено ростом подвижности элемента в связи с ацидизацией почвы под влиянием физиологически кислых минеральных удобрений.

Таблица 135 – Содержание и групповой состав железа в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Валовое | Группа | |
|---|----------------|---------|------------|-----------|
| | | | силикатное | свободное |
| Без удобрений | 0–20 | 3977 | 2760 | 1217 |
| | 21–40 | 3922 | 2608 | 1314 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 3914 | 2650 | 1264 |
| | 21–40 | 3858 | 2511 | 1347 |

Силикатное железо относят к неактивному, т. к. миграция его в почвенном профиле весьма ограничена. Оно является потенциальным резервом свободного железа. На неудобренном варианте к концу третьей ротации севооборота валовое железо в пахотном и подпахотном слое чернозема выщелоченного представлено на 69,4 и 66,5 % силикатными соединениями элемента. Применяемая система удобрения сельскохозяйственных культур в севообороте сказалась на содержании силикатного железа в почве. Доля его в валовом запасе в 0–20 см и 21–40 см слое почвы уменьшилась соответственно на 1,7 % и 1,4 % по сравнению с неудобренным вариантом.

На долю свободного железа в пахотном и подпахотном слое почвы неудобренного варианта приходится 30,6 и 33,5 % его валового содержания. Увеличение доли свободного железа в подпахотном слое почвы связано с возможным образованием в нем слабокристаллизованных форм в результате лессиважа. (Лессиваж – процесс, включающий механическое проиливание, комплекс физико-химических явлений, вызывающих диспергирование глинистых частиц и перемещение их с нисходящим током под защитой подвижных органических веществ, комплексобразование и вынос железа). Слабокислая и близкая к нейтральной реакция почвенного раствора и подвижные органические вещества (фульвокислоты) усиливают развитие лессиважа. Удобрения способствуют увеличению содержания свободного железа, как в пахотном, так и в подпахотном слое почвы.

Свободные соединения железа обладают способностью мигрировать по почвенному профилю. Однако степень миграционной способности соединений, входящих в эту группу железа (аморфных и окристаллизованных) различна. Количественной характеристикой трансформации соединений железа в почвах является содержание различных форм свободного железа.

В таблице 136 представлены результаты исследований по содержанию в черноземе выщелоченном окристаллизованных и аморфных форм соединений железа.

Таблица 136 – Содержание различных форм несиликатного железа в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Форма соединений железа | |
|---|----------------|-------------------------|----------|
| | | окристаллизованная | аморфная |
| Без удобрений | 0–20 | 302 | 915 |
| | 21–40 | 344 | 910 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 292 | 972 |
| | 21–40 | 335 | 1012 |

Образование окристаллизованных форм соединений железа связано с существованием в почве устойчивых окислительных условий, аморфных – с восстановительными. Эти формы соединений элемента неустойчивы и легко переходят одна в другую при изменении окислительно-восстановительных условий в годовых и сезонных циклах. Окристаллизованные формы нерастворимы, и передвижение их может осуществляться исключительно с илстыми частицами. В данном случае имеет место элювиальная илесто-железистая миграция. Аморфные – находятся преимущественно в коллоидальном состоянии и представляют железогумусовые комплексы, гидроксидные и закисные соединения, которые мигрируют с почвенным раствором по профилю. Кроме того, они входят в состав ила, образуют пленки на поверхности почвенных коллоидов, и передвижение их может осуществляться, как и окристаллизованных форм, вместе с илстыми частицами.

Данные по содержанию силикатных и свободных форм соединений железа в почве малоинформативны. Значительно более показательным является их соотношение, характеризующее интенсивность выветривания минеральной части почвы. Чем меньше величина этого соотношения, тем интенсивнее выветривание.

Величина соотношения силикатного и свободного железа в пахотном и подпахотном слое почвы в удобренном варианте ниже, чем в не удобренном, т. е. применяемая система удобрения севооборота способствует повышению интенсивности выветривания минеральной части почвы (табл. 137).

Важным показателем, характеризующим агрономические свойства почвы, является соотношение аморфного и окристаллизованного железа. Возрастание величины этого соотношения свидетельствует о разрушении структуры почвы и пептизации глинистой части, что обуславливает развитие процесса слитизации. Судя по полученным данным, просматривается слабо выраженная тенденция увеличения величины этого показателя под воздействием вносимых на поля севооборота минеральных удобрений.

Таблица 137 – Соотношение различных групп и форм железа в черноземе выщелоченном

| Вариант | Слой почвы, см | $\frac{Fe_{\text{сил.}}}{Fe_{\text{своб.}}}$ | $\frac{Fe_{\text{аморф.}}}{Fe_{\text{окр.}}}$ | $\frac{Fe_{\text{аморф.}}}{Fe_{\text{своб.}}}$ |
|---|----------------|--|---|--|
| | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 2,27 | 3,03 | 0,75 |
| | 21–40 | 1,98 | 2,64 | 0,69 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 2,1 | 3,33 | 0,77 |
| | 21–40 | 1,86 | 3,02 | 0,75 |

С точки зрения характеристики почвенных процессов весьма показательным является степень активности железа, т. е. отношение $Fe_{\text{аморф.}} : Fe_{\text{своб.}}$. Преобладание в почве свободного железа свидетельствует о высокой его активности как в пахотном, так и подпахотном слое почвы чернозема выщелоченного. Причем под воздействием удобрений повышается степень активности железа [66, 88].

Выводы. Чернозем выщелоченный характеризуется средней степенью ожелезненности: в пахотном и подпахотном слое валовое содержание железа составляет 3977 и 3922 мг/кг общего железа. За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота в удобренном и неудобренном вариантах не обнаружено заметной тенденции и снижения валового содержания железа в почве.

При длительном использовании чернозема выщелоченного в условиях агрогенеза происходят существенные изменения в содержании различных групп и соединений железа. На неудобренном варианте севооборота валовое содержание этого элемента в 0–20 см и 21–40 см слое почвы на 69,4 и 66,5 % представлено соединениями силикатной и на 30,6 и 33,5 % свободной группы. Применяемая система удобрения севооборота способствует уменьшению доли соединений силикатной группы и увеличению – свободной.

В черноземе выщелоченном группа несиликатного железа в 0–20 см слое на 24,8 % представлена окристаллизованными и на 75,2 % аморфными соединениями, в 21–40 см слое соответственно – на 26,2 и 73,8 %. Под воздействием удобрений возрастает содержание в почве аморфных и снижается количество окристаллизованных форм соединений этого элемента. Количество различных групп и форм соединений железа в черноземе выщелоченном при систематическом применении удобрений в севообороте определяется не только и не столько размерами привнесения данного элемента в качестве примесей, а такими процессами, как отчуждение железа с дополнительно получаемой продукцией, увеличение его подвижности в почве вследствие сдвига реакции почвенного раствора, изменения фракционно-группового состава гумуса.

Диагностическими критериями состояния железа в черноземе выщелоченном являются количественные соотношения содержания в нем различных групп и форм соединений этого элемента. Содержание и соотношение форм железа в почве претерпевает закономерные изменения под влиянием удобрений: величина и $\frac{Fe_{\text{аморф.}}}{Fe_{\text{окр.}}}$ возрастает, а $\frac{Fe_{\text{сил.}}}{Fe_{\text{своб.}}}$ снижается. Все это свидетельствует о повышении активности железа в почве под воздействием вносимых под культуры севооборота удобрений.

8.4.3.3 Микроэлементы

Бор. Вследствие высокого потенциала ионизации и энергетического коэффициента ($E_k=6,0$) бор никогда не встречается в виде катиона. Обычно он легко образует анионы борной (BO_3)³⁻ или полиборных (B_4O_7)⁵⁻, (B_5O_8)⁻, (B_5O_9)³⁻, (B_6O_{11})⁴⁻, (B_8O_{13})²⁻ кислот, а иногда, подобно кремнию, входит центральным атомом в различные комплексные ионы как типичный литофильный элемент. В природе бор образует несколько десятков минералов, которые по происхождению можно разделить на две группы: первичные – кристаллические магматического происхождения, и вторичные – аморфные осадочные.

Бор относится к элементам группы почвенных галофитов. М.Г. Валяшко и Г.К. Годе [5] выделяют следующие черты геохимии этого элемента: 1) в гипергенных условиях хорошо растворимы только бораты щелочных металлов, а соединения с кальцием и магнием относительно растворимы; Ca^{2+} и Mg^{2+} нужно рассматривать как ионы-осадители бора; 2) низкая растворимость борных соединений кальция и магния ограничивает миграционную способность бора по земной поверхности; 3) бор хорошо осаждается с некоторыми соединениями алюминия, железа, марганца; 4) в кислой и особенно щелочной среде бор подвижен, поэтому аккумуляция его приурочена к зонам распространения кислых и щелочных вод и к области их соприкосновения с сульфатными и хлоридными водами, несущими ионы кальция и магния; 5) рассеянный в почвообразующих породах бор водами сульфатного и хлоридного типов уносится в Мировой океан; 6) с процессом испарения морской воды связаны концентрации бора, представленные боратами магния; в повышении его содержания в почвах ряда приморских областей значительную роль играют процессы импульверизации с моря и остатки солей трансгрессий.

Подвижность бора в почвах определяется такими ее показателями как гранулометрический состав, содержание органического вещества, реакция почвенного раствора, состав обменных катионов, водный и солевой режим, наличие полуторных оксидов алюминия и железа как источников положительно заряженных коллоидов. К факторам, способствующим увеличению подвижности в почве и доступности растениям этого элемента, относятся: внесение удобрений, минерализация органического вещества, повышение интенсивности образования и выделения метаболитов корнями в процессе жизнедеятельности растений. К факторам, уменьшающим подвижность в почве и доступность растениям бора, относятся: известкование кислых почв, сопровождающееся образованием комплексных соединений бора с полуторными оксидами, иммобилизация бора микроорганизмами, повышение концентрации ионов кальция в почвенном растворе, сопровождающееся изменением соотношения кальция и бора в почвенном растворе в пользу первого.

Усвояемая растениями часть бора (водорастворимый бор) в почве представлена главным образом в форме борной кислоты и ее растворимыми солями. Борная кислота весьма слабая и имеет очень низкую константу диссоциации; в обычных почвенных условиях она диссоциирует как одноосновная кислота. Как образующаяся в самой почве, так и вносимая в виде удобрения, борная кислота довольно подвижна, слабо фиксируется почвой и может вымываться атмосферными осадками. Поэтому почвы с промывным водным режимом бедны подвижными формами бора [56, 71, 74].

При оценке борного статуса почвы следует учитывать не только водорастворимые, но и кислоторастворимые формы соединений этого элемента, т. к., во-первых, некоторые почвы, например, подзолистые, являются кислыми; во-вторых, корни растений в процессе жизнедеятельности выделяют метаболиты – ферменты и органические кислоты, которые в известной степени растворяют почвенные минералы. Наконец, органические кислоты образуются в почве и в процессе гумификации остатков фитоценоза. Кислоторастворимые формы соединений бора являются потенциальными источниками пополнения его водорастворимых форм, а следовательно, и питания растений. Их доля в большинстве почв составляет 65–90 % его общего количества, и лишь в сильновыщелоченных – 15–30 %.

Наибольшее количество водо- и кислоторастворимого бора содержится в почвах, богатых коллоидной фракцией. Здесь, очевидно, главную роль играет их высокая сорбционная способность. Поэтому повышенное содержание водо- и кислоторастворимого бора в таких почвах следует приписывать способности коллоидной фракции сорбировать и удерживать соединения бора в подвижной форме. Кислотонерастворимый бор содержится в кристаллической решетке первичных и вторичных минералов.

По содержанию водорастворимого бора почвы Кубани Е.В. Тонконоженко [49, 50] разделил на четыре группы. Почвы, содержащие подвижного бора менее 0,65 мг/кг, он относит к бедным, 0,65–0,90 – среднеобеспеченным, 0,91–1,25 – богатым и более 1,25 мг/кг – очень богатым. Валовое содержание бора в черноземе выщелоченном выше кларка почв (табл. 138).

Таблица 138 – Содержание бора и форм его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Бор валовой | Форма соединений бора | | |
|---|----------------|-------------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| | | | кислотонерастворимая | кислоторастворимая | водорастворимая |
| До освоения севооборота | 0–20 | 48,0 | 18,6 | 29,4 | 1,15 |
| | 21–40 | 46,5 | 18,0 | 28,5 | 1,24 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 47,1 | 18,5 | 28,6 | 1,08 |
| | 21–40 | 45,8 | 17,8 | 28,0 | 1,15 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 46,2 | 18,3 | 27,9 | 0,86 |
| | 21–40 | 44,6 | 17,4 | 27,2 | 0,90 |

До освоения севооборота в 0–20 см слое почвы содержалось 48,0 мг/кг бора, в 21–40 см – 46,5 мг/кг. В пахотном слое почвы доля кислоторастворимой и кислотонерастворимой форм соединений в валовом содержании элемента составляла 61,2 и 38,8 %, в подпахотном – соответственно 61,3 и 38,7 %. На долю водорастворимой фракции в 0–20 см слое почвы приходилось 3,9 % кислоторастворимой формы соединений элемента, в 21–40 см – 4,4 %. Судя по запасам подвижного бора, почва до закладки севооборота была достаточно обеспечена доступными для растений формами элемента: по региональной группировке относилась к богатым бором.

В процессе агрогенеза почва «расстается» с запасами бора. В варианте севооборота без внесения удобрений его валовое содержание в пахотном слое

почвы уменьшилось на 0,9 мг/кг, подпахотном – 0,7 мг/кг или на 1,9 и 1,5 % соответственно. Уменьшение содержания бора происходит преимущественно за счет уменьшения количества кислоторастворимой формы соединений микроэлемента. Кислотонерастворимая фракция бора более консервативна в этом отношении. Ее содержание в почве за три ротации 11-польного севооборота уменьшилось лишь на 0,1–0,2 мг/кг, т. е. практически не изменилось. За три ротации севооборота наметилась четко выраженная тенденция снижения содержания в черноземе выщелоченном подвижного бора. Его количество в пахотном слое уменьшилось на 6,1 %, подпахотном – на 7,2 %. Объясняется это отчуждением бора с урожаями культур севооборота и отсутствием существенных источников пополнения почвы этим микроэлементом.

Результаты анализа почвы, отобранной с удобренного варианта, указывают на более интенсивное ее объединение бором по сравнению с не удобренным. Систематическое внесение минеральных удобрений в течение трех ротаций привело к снижению валового количества бора в пахотном слое на 1,8 и 1,9 мг/кг, или на 3,8 и 4,1 %. Влияние минеральных удобрений на содержание кислоторастворимых и кислотонерастворимых форм соединений бора было не равнозначным. Так, если количество кислоторастворимых форм соединений бора в пахотном и подпахотном слое почвы под воздействием удобрений снизилось на 5,1 и 4,6 %, то на содержание кислотонерастворимой фракции они не оказали практически никакого влияния. В то же время применяемая система удобрения севооборота, как свидетельствуют полученные данные, привела к существенному снижению содержания в почве водорастворимой формы соединений бора: в пахотном слое – на 16,5 %, подпахотном – на 27,4 %.

Влияние систематического внесения минеральных удобрений на подвижность бора в почве можно рассматривать с разных сторон. С одной стороны, почва обедняется бором вследствие повышения продуктивности севооборота и соответственно выноса элемента с урожаем (при систематическом внесении минеральных высококонцентрированных безбалластных удобрений практически исключается поступление в почву бора), с другой – пополняются запасы элемента вследствие поступления в почву большего количества корневых и пожнивных остатков. И наконец, набор физиологически кислых или щелочных удобрений, изменяя физико-химические свойства почвы, также оказывает влияние на подвижность и миграцию этого элемента по почвенному профилю [86, 97].

Выводы. Валовое содержание бора в черноземе выщелоченном превышает кларк этого элемента в почвах. Максимальное количество бора содержится в 0–20 см слое почвы, что, вероятно, является следствием его биогенной аккумуляции. За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота наметилась тенденция снижения валового содержания бора в почве. Обеднение почвы этим элементом происходит преимущественно за счет уменьшения количества кислото- и водорастворимой форм соединений микроэлемента. Минеральные удобрения, повышая продуктивность севооборота, способствуют более интенсивному истощению почвы бором. Наметившаяся тенденция снижения содержания бора в черноземе выщелоченном в условиях агрогенеза свидетельствует о возможности эффективного применения борных удобрений под культуры, наиболее чувствительные к недостатку этого микроэлемента в почве.

Кобальт. Валовое содержание кобальта в почвах подчиняется геохимическому правилу четности порядковых номеров элементов в таблице Менделеева. Нечетность порядкового номера кобальта (27) определяет меньшее его содержание сравнительно с соседними четными химическими элементами – железом (26) и никелем (28), что подтверждается данными А.П. Виноградова [6]. Так, кларк железа в почве равен 3,8 %, никеля – 40 мг/кг, а кобальта – 10 мг/кг.

Почвы, как правило, наследуют уровень содержания кобальта в материнских породах. Отсутствие полной корреляции между его количеством в породах и почвах, очевидно, является следствием почвообразования, биогенной и гидрогенной миграции элемента.

В почвах кобальт обнаруживается в различных соединениях, степень доступности которых для растений неодинакова. Он входит в состав почвенных алюмосиликатов, находится в поглощенном состоянии на поверхности минеральных и органических коллоидов.

Основная часть природного кобальта связана с кристаллической решеткой минералов и недоступна для растений. Главным носителем его в почве, несомненно, являются глинистые минералы, в составе которых находится 1/5–1/3 его валового запаса. До 1/4 всего почвенного кобальта связано с органическим веществом, в первую очередь гумусом. Пути его фиксации могут быть различными – это седиментация, адсорбция, комплексообразование, реакции замещения.

Наиболее высокой способностью к фиксации кобальта обладают почвы с нейтральной реакцией и преобладанием в составе гумуса гуминовых кислот. К таким, в первую очередь относятся почвы степного типа почвообразования. Гуминовые кислоты обладают по отношению к кобальту самой высокой комплексообразующей способностью вследствие большего количества карбоксильных групп COOH , водород которых в результате обменной реакции замещается на Co^{2+} . По данным Н.Г. Зырина и А.А. Титовой [18], около 95 % кобальта, закрепленного органическим веществом, в решетке глинистых минералов и окклюдировано полуторными оксидами в труднодоступные для растений соединения.

Растения поглощают кобальт в основном в виде двухвалентного катиона, поэтому для них доступны обменные формы элемента, находящиеся на поверхности коллоидов, а также растворимые в слабых кислотах или водорастворимые соединения, в результате диссоциации которых в растворе появляется Co^{2+} . В почве может находиться и трехвалентный кобальт Co^{3+} , однако он быстро связывается органическим веществом в необменные комплексы. Основные формы подвижного кобальта в почве представлены его хлоридами, сульфатами, бикарбонатами, нитратами, обладающими хорошей растворимостью. В слабых кислотах растворимы и карбонаты кобальта. Источником кобальта для растений может быть его гидроксид $\text{Co}(\text{OH})_2$, образующийся в результате гидролиза бикарбонатов. Гидроксид кобальта выпадает в осадок лишь при pH 6,8, поэтому во всех почвах, за исключением карбонатных, находится в подвижном состоянии.

Содержание подвижного, доступного растениям кобальта в почве зависит от механического состава – увеличивается от песка к глине. Значение механического состава почвы в обеспечении растений кобальтом определяется содержанием в ней коллоидной фракции, связывающей микроэлемент в доступную для растений форму и предохраняющей в известной мере от вымывания или более прочного закрепления. С увеличением карбонатности почвы и при повышении содер-

жания гумуса подвижность кобальта уменьшается в связи его с переходом в малодоступные растениям формы соединений, связанные с органическим веществом.

Б.А. Ягодин и И.В. Тищенко [115] к факторам, способствующим увеличению подвижности кобальта в почве и доступности его растениям, относят: снижение рН почвенного раствора, внесение физиологически кислых минеральных удобрений, обогащение почвы оксидами углерода, разложение остатков биоценоза, внесение органических удобрений, усиление микробиологической активности. К факторам, уменьшающим подвижность кобальта в почве и его доступность растениям, авторы относят внесение физиологически щелочных минеральных удобрений, известкование кислых почв, необменное поглощение микроэлемента минеральной частью почвы и гумусом с образованием внутрикмоплексных соединений.

До освоения 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота в пахотном 0–20 см и подпахотном 21–40 см слоях чернозема выщелоченного содержалось равное количество валового кобальта – 14,8 мг/кг (табл. 139). В пахотном слое почвы на долю легкоподвижного, обменного и резервного кобальта приходилось 10,1; 51,4 и 38,5 %, в подпахотном соответственно – 8,1; 42,6 и 49,3 % валового его запаса.

Таблица 139 – Содержание кобальта и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Кобальт валовой | Форма соединений кобальта | | |
|---|----------------|-----------------|---------------------------|--------------------|------------------|
| | | | легкоподвижная | кислоторастворимая | неэкстрагируемая |
| До освоения севооборота | 0–20 | 14,8 | 1,5 | 7,6 | 5,7 |
| | 20–40 | 14,8 | 1,2 | 6,3 | 7,3 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 14,4 | 1,3 | 7,5 | 5,6 |
| | 20–40 | 14,5 | 1,1 | 6,2 | 7,2 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 14,0 | 0,9 | 8,2 | 4,9 |
| | 20–40 | 14,2 | 0,8 | 7,6 | 5,8 |

После трех ротаций севооборота наметилась тенденция снижения валового содержания кобальта в почве. В варианте севооборота без применения удобрений количество его уменьшилось на 2,7 % в пахотном и подпахотном слое почвы. Систематическое применение минеральных удобрений на полях севооборота привело к более интенсивному «расставанию» почвы с кобальтом. За три ротации севооборота содержание элемента в пахотном слое почвы уменьшилось на 5,4 %, а в подпахотном – 4,0 % от исходного его количества. В процессе агрогенеза наметилась слабо выраженная дифференциация пахотного и подпахотного слоя почвы по содержанию кобальта. Отмечено более сильное снижение его содержания в пахотном, нежели в подпахотном слое почвы. Вероятно, такая дифференциация в распределении кобальта обусловлена большим потреблением микроэлемента растениями с 0–20 см слоя почвы и в некоторой степени выщелачиванием его вниз по почвенному профилю.

В процессе агрогенеза в почве произошли определенные изменения и в содержании всех без исключения форм соединений кобальта. Возделывание

сельскохозяйственных культур в течение 33 лет без внесения минеральных удобрений привело к уменьшению количества легкоподвижного, обменного и резервного кобальта в пахотном слое почвы на 13,3; 1,3 и 1,8 %, в подпахотном – соответственно на 8,3; 1,6 и 1,4 % по сравнению с их исходным содержанием.

Минеральные удобрения, восполняющие элементы питания – азот, фосфор, калий, и поддерживающие агрохимические показатели плодородия почвы, часто сами служат источниками некоторых элементов-примесей, в т. ч. и кобальта, а также являются мощным фактором трансформации собственно почвенных и поступающих с атмосферными выпадениями соединений этого элемента. Влияние длительного применения минеральных удобрений на содержание подвижных соединений кобальта в почвах проявляется в совместном действии самих удобрений и фитocenоза на изменения агробиохимических условий.

Применяемая система удобрений сельскохозяйственных культур не обеспечивала восполнение запасов кобальта в почве. За три ротации севооборота отмечено снижение содержания легкоподвижного и резервного кобальта в пахотном слое почвы на 40,0 и 14,0 %, в подпахотном – на 33,3 и 20,5 % и увеличение количества обменной формы соответственно на 7,9 и 22,2 % [90, 95, 100].

Выводы. Валовое содержание кобальта в черноземе выщелоченном до освоения севооборота составляло 14,4 мг/кг, что выше кларкового значения почв мира – 10 мг/кг. В процессе агрогенеза содержание его в пахотном слое уменьшается на 2,7–5,4 %, подпахотном – 1,4–4,0 %. Максимальное содержание кобальта приурочено к подпахотному 21–40 см слою, что является следствием выноса элемента из корнеобитаемого 0–20 см слоя почвы и выщелачивания его вниз по почвенному профилю. По содержанию в черноземе выщелоченном различные формы соединений кобальта располагаются в следующий убывающий ряд: обменные > резервные > легкоподвижные. В процессе агрогенеза характер распределения форм кобальта в почве не изменяется. Применяемая система удобрения сельскохозяйственных культур не обеспечивает бездефицитный баланс кобальта в черноземе выщелоченном. За три ротации севооборота изменилось соотношение форм соединений кобальта в почве: уменьшилось содержание легкоподвижного и резервного кобальта и увеличилось – обменного.

Марганец известен в 2-, 3-, 4-, 6- и 7-валентных формах, но в почве он присутствует в трех состояниях окисленности – Mn^{2+} , Mn^{3+} и Mn^{4+} . В почвах соединения трехвалентного марганца относительно неустойчивы, поэтому основные формы соединения – двух- и четырехвалентная. Соотношение Mn^{2+} и Mn^{4+} в почве зависит от происходящих в ней окислительно-восстановительных реакций. В сильновосстановительной среде присутствует Mn^{2+} , в хорошо аэрируемой – Mn^{4+} , образующий труднорастворимые соединения. При крайне высоких окислительных потенциалах могут образоваться соединения Mn^{7+} , точнее, легкорастворимого аниона MnO_4^- . Однако в почвах редко встречаются окислительные потенциалы, достаточно высокие для образования этого аниона в значительных количествах.

Соединения марганца участвуют в процессах почвообразования: синтезе гумуса, глинообразовании, оглеении, образовании иллювиальных горизонтов, гидрогенной аккумуляции. При этих процессах марганец закрепляется в почве. Марганец, принимающий участие в оподзоливании и осолодении, выносится из почвы.

В почвах выделяют следующие формы соединений марганца: 1) водорастворимые соли – $MnCl_2$, $Mn(NO_3)_2$, $MnSO_4$; $Mn(HCO_3)_2$, $Mn(H_2PO_4)_2$; слаборастворимый $MnHPO_4$; 2) обменно-поглощенный двухвалентный марганец; 3) нерастворимые в воде: оксиды и гидроксиды марганца (закись-окись – Mn_3O_4 ; окись – Mn_2O_3 ; двуокись – MnO_2) и соли марганца – $MnCO_3$, $Mn_3(PO_4)_2$; 4) в составе органического вещества почвы; 5) в составе кристаллической решетки минералов.

Из перечисленных форм марганца лишь две – водорастворимая и обменная, – легкодоступны для растений. Относительно доступны фосфат и карбонат марганца, а также оксиды и гидроксиды этого элемента, поскольку они представляют собой ближайший резерв для пополнения водорастворимой и обменной форм. Марганец, связанный с органическим веществом, потенциально доступен для растений: при разложении органических соединений он может переходить в усвояемую форму. Марганец, входящий в кристаллическую решетку минералов, растения извлекать не могут.

Валовой фонд марганца чернозема выщелоченного до закладки эксперимента составлял в пахотном слое 491,9 мг/кг, подпахотном – 466,3 мг/кг почвы. В пахотном слое 70,44 % валового содержания марганца было представлено обменными формами, 32,16 % – подвижными и 29,56 – резервными. В подпахотном слое доля подвижных форм была меньше, а резервных – больше, чем в пахотном (табл. 140).

Таблица 140 – Содержание марганца и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Марганец валовой | Форма соединений марганца | | |
|---|----------------|------------------|---------------------------|--------------------|------------------|
| | | | легкоподвижная | кислоторастворимая | неэкстрагируемая |
| До освоения севооборота | 0–20 | 491,9 | 158,2 | 346,5 | 145,4 |
| | 21–40 | 466,3 | 108,9 | 292,3 | 174,0 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 478,3 | 150,7 | 342,0 | 136,3 |
| | 21–40 | 460,1 | 103,8 | 288,5 | 171,6 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 467,0 | 157,5 | 337,4 | 129,6 |
| | 21–40 | 454,4 | 107,3 | 285,2 | 169,2 |

Большее содержание марганца ближе к поверхности почвы связано с жизнедеятельностью растений, которые не только отчуждают элемент с урожаем, но и перемещают определенную его часть из нижних горизонтов к поверхности. Кроме того, в ризосфере почва подкисляется, вследствие чего повышается растворимость соединений марганца в пахотном слое.

После трех ротаций 11-польного севооборота содержание марганца в почве снизилось как в удобряемом, так и неудобряемом севообороте, причем в последнем – в меньшей степени. Так, в пахотном горизонте чернозема выщелоченного оно уменьшилось на 2,76 %, в подпахотном – 1,33 %, а на удобряемых участках – соответственно на 5,06 и 1,91 %.

В неудобряемом варианте севооборота снижение валового содержания марганца происходит, главным образом, за счет сокращения количества

подвижных его форм – на 4,74 и 4,68 % соответственно в пахотном и подпахотном горизонте почвы. Содержание обменных форм элемента снизилось незначительно – на 1,30 %. В пахотном слое на 6,26 % сократились резервы марганца, а в подпахотном – только на 1,38 %.

В почве удобряемого севооборота в наименьшей мере изменилось содержание подвижного марганца – на 0,44 и 1,47 % соответственно в пахотном и подпахотном горизонте. В наибольшей мере изменениям подвержен резервный фонд марганца, который сократился на 10,87 и 5,06 % в пахотном и подпахотном слое почвы [58, 82, 96, 100, 112].

Выводы. За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного удобряемого и неудобряемого севооборота валовое содержание марганца в черноземе выщелоченном снизилось в пахотном горизонте на 2,76 %, в подпахотном – 1,33 %, а на удобряемых участках соответственно на 5,06 и 1,91 %. Более интенсивное обеднение почвы марганцем на удобряемом севообороте обусловлено как большим его выносом с урожаем, который значительно возрастал, так и тем, что длительное применение минеральных удобрений в зерно-травяно-пропашном севообороте и связанное с ним подкисление чернозема выщелоченного увеличивают подвижность марганца, что сопровождается заметным обеднением почвы этим элементом при сохранении относительно высокой его подвижности в почвенном профиле. В результате биологического круговорота поглощаемая растениями доля марганца выносятся из корнеобитаемого слоя почвы. При этом часть ее удаляется с урожаем и не возвращается обратно. Другая часть – с корневыми и пожнивными остатками попадает в дальнейший круговорот, тем самым обогащает пахотный слой почвы и поддерживает в настоящее время нормальную обеспеченность культур севооборота марганцем. Однако, учитывая относительное уменьшение валового содержания марганца в черноземе выщелоченном и высокую его подвижность, в перспективе возможно с большой вероятностью ожидать возникновение его дефицита для питания растений, что и наблюдается в некоторых почвах Северного Кавказа.

Медь принимает участие в агробиогеохимических процессах: 1) содержится в растениях; 2) гумусе; 3) поглощается изоморфно при глинообразовании; 4) сорбируется почвенными коллоидами; 5) аккумулируется при развитии глеевого процесса; 6) накапливается в силу гидрогенной аккумуляции в луговых и болотных почвах; 7) мигрирует при развитии подзолистого процесса.

А.П. Виноградов [6] различает следующие формы меди в почвах: 1) водорастворимая; 2) обменно-поглощенная; 3) медь, связанная с органическим веществом; 4) медь, находящаяся в решетке почвенных минералов и прежде всего алюмосиликатов.

Процессы, контролирующие поведение меди, в большинстве почв связаны с адсорбцией, окклюзией и соосаждением, образованием органических хелатов и комплексообразованием, микробиологической фиксацией.

Для питания растений особое значение имеет не валовое содержание меди, а количество ее подвижных форм в почве. Факторами, увеличивающими подвижность меди в почве, являются: 1) повышение концентрации ионов водорода в почвенном растворе, т. е. подкисление; 2) внесение физиологически кислых минеральных удобрений; 3) минерализация органического вещества микроорга-

низмами; 4) накопление в почве нитратов и аммиака. На кислых песчаных почвах, обладающих малой емкостью поглощения, медь может вымываться, что ведет к уменьшению ее валовых запасов. К факторам, уменьшающим подвижность меди и поступление ее в растение, по мнению автора, служат известкование и связывание меди в форме комплексных органических соединений в почве.

Подвижность и доступность растениям меди находится в тесной связи и с окислительно-восстановительным состоянием почвы. Усиление восстановительных процессов в почве сопровождается снижением подвижности меди. Одной из причин снижения подвижности элемента в данном случае считается образование нерастворимых ее соединений – карбонатов, сульфидов и фосфидов. Повышению подвижности меди способствует усиление процессов аммонификации и нитрификации.

По количеству подвижной меди сильно отличаются не только разные по генезису, но и принадлежащие одной и той же разновидности почвы. Сведения о распределении общего количества и форм соединений меди в почвах необходимы для агроэкологического мониторинга и рационального применения медных удобрений.

Валовое содержание меди в черноземе выщелоченном близко к кларку почвы (20,0 мг/кг), но несколько ниже, чем в курском эталонном черноземе 26 мг/кг (табл. 141). До освоения севооборота меди в нем содержалось 17,2 мг/кг в пахотном и 17,4 мг/кг в подпахотном слое. При этом в кислотную вытяжку переходило меди соответственно 11,1 и 10,1 мг/кг, в буферную 0,30 и 0,31 мг/кг. Доля легкоподвижной, обменной и резервной меди в пахотном слое почвы составляла соответственно 1,7; 64,5 и 33,7 %; в подпахотном – 1,8; 58,0 и 40,2 % от валового ее содержания.

Таблица 141 – Содержание меди и формы ее соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Медь валовая | Форма соединений меди | | |
|---|----------------|--------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| | | | легкоподвижная | кислоторастворимая | неэкстрагируемая |
| До освоения севооборота | 0–20 | 17,2 | 0,30 | 11,1 | 5,79 |
| | 21–40 | 17,4 | 0,31 | 10,1 | 6,99 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 16,8 | 0,22 | 10,9 | 5,68 |
| | 21–40 | 17,0 | 0,22 | 9,8 | 6,98 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 16,5 | 0,47 | 10,6 | 5,43 |
| | 21–40 | 16,8 | 0,49 | 10,0 | 6,31 |

После трех ротаций зерно-травяно-пропашного севооборота без внесения удобрений валовое содержание меди в почве снизилось на 2,32 % в пахотном и на 2,30 % в подпахотном слое. Уменьшение общих запасов микроэлемента в почве произошло за счет снижения содержания практически всех форм ее соединений. В пахотном слое почвы количество легкоподвижной, обменной и резервной форм соединений меди уменьшилось соответственно на 29,0; 1,8 и 1,9 %, в подпахотном – на 29,0; 3,0 и 0,1 %.

Систематическое внесение удобрений в рекомендуемых дозах для питания культур севооборота ведет к снижению валового содержания меди в почве и изменяет ее подвижность. За три ротации севооборота содержание в

ней микроэлемента уменьшилось на 4,1 % в пахотном и на 3,4 % в подпахотном слое. Наблюдаемая тенденция снижения содержания меди в почве обусловлена отчуждением микроэлемента возрастающими под воздействием удобрений урожаями культур севооборота и ростом подвижности, а следовательно, ее миграцией вниз по почвенному профилю.

Действие рН на подвижность меди состоит в том, что при высоких показателях рН: 1) элемент прочнее сорбируется почвенными коллоидами; 2) образует нерастворимые и труднорастворимые соединения – гидроксиды, фосфаты; 3) при значениях $pH > 6$ медь входит в состав органических слабодиссоциирующих прочных комплексов.

Под воздействием удобрений содержание легкорастворимой формы соединений меди в пахотном слое почвы возросло на 51,6 %, подпахотном – на 58,0 %, а количество обменной и резервной меди уменьшилось соответственно на 4,5 и 6,2 % в пахотном и на 1,0 и 9,7 % в подпахотном слое почвы [83, 112].

Выводы. Валовое содержание меди в черноземе выщелоченном несколько ниже кларка почв (20 мг/кг) и составляло до закладки опыта 17,2 мг/кг. За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота ее содержание в почве снизилось на 2,3 % в удобренном и на 4,1 % в удобренном варианте. До закладки полевого опыта на долю легкоподвижной, обменной и резервной форм соединений меди в пахотном слое почвы приходилось 1,7; 64,5 и 33,7 % от ее валового содержания, в подпахотном – 1,8; 58,0 и 40,2 % соответственно.

Выращивание культур севооборота в течение 33 лет без внесения удобрений привело к снижению содержания валовой меди на 2,32 % в пахотном и на 2,30 % в подпахотном слое почвы. Количество легкоподвижных и обменных, наиболее важных с агроэкологических позиций соединений меди, в пахотном слое почвы уменьшилось на 29,0 и 1,8%, подпахотном – на 29,0 и 3,0 % от исходных запасов. Содержание резервной меди в почве после трех ротаций севооборота практически осталось на прежнем уровне. Ее количество в пахотном слое уменьшилось всего лишь на 1,9 %, а в подпахотном слое еще меньше – 0,1 % от исходного содержания этой формы соединений меди.

Систематическое внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений в рекомендуемых дозах под культуры севооборота ведет к обеднению почвы медью. Происходит это за счет снижения содержания обменной и резервной формы ее соединений. В то же время количество легкоподвижных форм соединений меди в почве под воздействием минеральных удобрений заметно возрастает: в пахотном слое на 51,6 %, в подпахотном – на 58,0 % от исходной величины.

Молибден. Атом молибдена может находиться в шести различных степенях окисления: 0; +2; +3; +4; +5; +6. Наибольшее значение в химических реакциях имеют степени окисления +6; +5 и +3. Наиболее подвижным в почвенном растворе является анион MoO_4^{2-} , где молибден шестивалентный. Чем выше рН и окислительно-восстановительный потенциал почв, тем более окислен молибден, тем более он подвижен в почвенном растворе и доступен растениям.

В геохимических реакциях земной коры молибден участвует главным образом как сидерофильный элемент в глубинных зонах и литофильный в биосфере. Для молибдена характерно: образование труднорастворимых солей с трехвалентным железом (молибдит), свинцом (вульфенит), медью (мендгренит) и кальцием (ковеллит); сорбция гидроксидом железа и органически-

ми сорбентами каустобиолитов; восстановление Mo^{6+} органическим веществом до Mo^{4+} с образованием легкогидролизуемых солей и выпадением MoO_2 ; осаждение в сильно восстановительных средах в присутствии сероводорода с образованием кордизита или трехсернистого молибдена, водных соединений дисульфида молибдена.

Различают четыре формы нахождения молибдена в почвах: 1) в кристаллической решетке минералов; 2) обменный, сорбированный на глинистых минералах и гидроксидах алюминия и железа; 3) в составе органического вещества почвы; 4) водорастворимые соединения молибдена – молибдаты аммония и щелочных металлов.

В процессе почвообразования происходит биогенная аккумуляция молибдена в перегнойно-аккумулятивном горизонте. При подзолообразовании наряду с биогенным накоплением идет частичная миграция микроэлемента из верхней части профиля в нижнюю. Биогенное накопление молибдена в перегнойно-аккумулятивном горизонте обусловлено его фиксацией органическим веществом почвы, а повышенное количество в аллювиальном горизонте – большим содержанием илистых частиц и способностью присутствующих здесь глинистых минералов, оксидов железа и алюминия прочно закреплять мигрирующий сверху молибдат-ион.

Формы соединений, подвижность и миграция молибдена в почве определяются: 1) содержанием и характером его соединений в почвообразующих породах; 2) составом и условиями формирования почвы, содержанием в ней глинистых минералов, свободных оксидов алюминия и железа, реакцией среды, водного и окислительно-восстановительного режимов; 3) равновесием между органическими и минеральными соединениями в системе «твердая фаза – почвенный раствор»; 4) круговоротом элементов питания в системе «почва – растение».

Наиболее подвижными и доступными для растений являются водорастворимая и обменная форма соединений молибдена. Входящий в состав органического вещества почвы молибден становится доступным после его минерализации. Молибден, входящий в кристаллическую решетку минералов, недоступен растениям.

Повышают подвижность молибдена в почве и доступность его растениям: 1) увеличение концентрации в почвенном растворе анионов OH^- , PO_4^{3-} , COOH^- ; 2) внесение в почву CaO , Ca(OH)_2 , CaCO_3 ; 3) внесение фосфорных удобрений, содержащих растворимые анионы PO_4^{3-} ; 4) минерализация органического вещества. Уменьшают подвижность молибдена в почве и доступность его растениям: 1) увеличение концентрации катиона H^+ ; 2) обогащение почв Al(OH)_3 , Fe(OH)_3 , наличие обменного иона Al^{3+} , избыток катионов Fe^{3+} и Mn^{2+} . Аморфные гидраты оксида алюминия и железа могут поглощать анион MoO_4^{2-} , тем самым снижая его подвижность. Поэтому в кислых подзолистых почвах, содержащих много алюминия и железа, молибден находится в трудноусвояемых для растений формах; 3) внесение физиологически кислых минеральных удобрений без сочетания с известью; 4) закрепление молибдена кислыми формами гумуса, содержащими полуторные оксиды.

Большинство из перечисленных факторов свидетельствуют, что молибден наиболее подвижен и доступен растениям в щелочной среде. В кислых почвах доступность его растениям резко снижается. Объясняется это

тем, что в кислых почвах много свободных ионов металлов, которые образуют с молибденом труднорастворимые соединения. В почвах со щелочной реакцией, где содержится достаточное количество анионов OH^- , металлы обычно связаны в виде гидратов, и анион MoO_4^{2-} остается свободным.

Валовое содержание молибдена в черноземе выщелоченном значительно ниже кларка почв (табл. 142). Распределение его в 0–40 см слое характеризуется незначительной аккумуляцией в пахотном 0–20 см слое почвы: до освоения севооборота в 21–40 см слое почвы валовое содержание молибдена на 4,7 % меньше, чем в пахотном 0–20 см слое.

Таблица 142 – Содержание молибдена и форм его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Молибден валовой | Форма соединений молибдена | | |
|---|----------------|------------------|----------------------------|----------|-----------------|
| | | | водорастворимая | обменная | прочносвязанная |
| До освоения севооборота | 0–20 | 1,70 | 0,08 | 0,16 | 1,46 |
| | 21–40 | 1,62 | 0,07 | 0,14 | 1,41 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 1,60 | 0,06 | 0,14 | 1,40 |
| | 21–40 | 1,51 | 0,05 | 0,12 | 1,34 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 1,56 | 0,04 | 0,11 | 1,41 |
| | 21–40 | 1,45 | 0,03 | 0,09 | 1,33 |

В условиях агрогенеза чернозем выщелоченный обедняется молибденом. В пахотном и подпахотном слое почвы содержание его за три ротации 11-польного севооборота уменьшилось при выращивании сельскохозяйственных культур без внесения удобрений на 5,88 и 6,79 % соответственно. Тенденция уменьшения валового запаса молибдена в почве проявилась более заметно на удобряемом севообороте. На этом варианте снижение его количества в пахотном слое составило 8,24 %, подпахотном – 10,49 %.

Обеднение чернозема выщелоченного молибденом в процессе агрогенеза можно объяснить миграцией элемента в составе мелкодисперсной фракции почвы вглубь по профилю под воздействием просачивающихся атмосферных осадков, а также выносом его с урожаем культур севооборота. Последнее, что особенно заметно, проявляется при систематическом применении минеральных удобрений на полях севооборота.

Степень подвижности молибдена в черноземе выщелоченном низкая. До освоения севооборота доля обменного молибдена в пахотном слое почвы составляла 9,4 %, а водорастворимого еще меньше – 4,7 % от валового его количества; в подпахотном – соответственно 8,6 и 4,3 %.

На варианте без внесения удобрений к концу третьей ротации севооборота валовой молибден в пахотном слое почвы был представлен на 3,8 % водорастворимой, 8,8 % обменной и на 87,4 % прочносвязанной формой элемента, а в подпахотном – на 3,3; 7,9 и 88,8 % соответственно. По сравнению с исходными значениями доля прочносвязанной формы в молибденовом фонде почвы возросла, а водорастворимой и обменной – уменьшилась.

Применяемая система удобрения культур севооборота сказалась на содержании всех форм соединений молибдена в почве. Подкисление почвы в ре-

зультате применения физиологически кислых минеральных удобрений обусловило уменьшение подвижности молибдена. Разница в содержании водорастворимого и обменного молибдена в почве между неудобряемым и удобряемым вариантами составила соответственно 1,2 и 17 мг/кг [59, 109, 112].

Выводы. Валовое содержание молибдена в черноземе выщелоченном значительно ниже кларка почв. До закладки опыта в 0–20 см и 21–40 см слоях почвы его содержалось 1,70 и 1,62 мг/кг. За три ротации 11-польного севооборота при выращивании сельскохозяйственных культур без внесения удобрений, содержание валового молибдена в пахотном и подпахотном слоях почвы уменьшилось до 1,60 и 1,54 мг/кг. Систематическое внесение минеральных удобрений на полях севооборота привело к еще большему «расставанию» почвы с молибденом. Вступая в почвенные циклы миграции, молибден, как энергичный биофил, поглощается растениями и затем отчуждается с урожаем сельскохозяйственных культур севооборота. В черноземе выщелоченном недостаточно подвижного молибдена для реализации генетического потенциала продуктивности и получения элементарно-сбалансированной продукции районированных высокопродуктивных сортов сельскохозяйственных культур, в связи с чем целесообразно применение молибденовых удобрений.

Цинк в почве присутствует в виде различных соединений. Н.Г. Зырин и его коллеги [17] среди форм соединений цинка выделяют три группы: 1) мобильные – непосредственный источник и резерв питания растений – водорастворимые, ионообменные, непрочнофиксируемые; 2) фиксированные – потенциальный резерв питания растений – хемосорбционные ионы, труднорастворимые соли, входящие в состав комплексных соединений стабильных органических веществ; 3) изоморфные примеси в минералах – стратегический резерв. Согласно данным А.А. Алексеева [2], классификация форм цинка строится с учетом метода выделения форм и перехода соединений элемента в различные растворители: 1) водорастворимые; 2) обменноспособные; 3) легкорастворимые; 4) кислоторастворимые; 5) фиксированные и прочнофиксируемые. С учетом этой общей классификации можно констатировать наличие в почве следующих форм цинка: 1) водорастворимой; 2) обменнопоглощенной минеральными органическими коллоидами; 3) в виде труднорастворимых химических соединений (гидроокиси, карбонаты, фосфиды и сульфиды); 4) в составе органического вещества почвы; 5) в кристаллической решетке почвенных минералов. Существование тех или иных форм цинка определяется: составом и свойствами материнской породы, генезисом почв, процессами почвообразования и массообменом в почвах, реакцией среды и окислительно-восстановительными условиями. Чрезвычайно важное значение в образовании различных форм соединений элемента в почвах имеют антропогенные факторы. Они влияют не только на изменение свойств почв, нарушение соединений в почвах, но и на интенсивное локальное загрязнение отдельных регионов цинком до уровней, во много раз превышающих естественные концентрации элемента в почвах.

Все формы соединений цинка, за исключением находящихся в кристаллической решетке почвенных минералов, в различной степени используются растениями. Наиболее доступной для них является подвижная форма микроэлемента, содержание которой в почвах редко превышает 1 % его валовых запасов.

Растворимость и доступность цинка в почвах имеют отрицательную корреляцию со степенью насыщенности кальцием и с содержанием соединений фосфора. Эти соотношения могут отражать как влияние адсорбции и осаждения, так и взаимодействие между этими элементами.

К факторам, контролирующим подвижность цинка в почвах, относятся: реакция почвенного раствора, содержание органического вещества и окислительно-восстановительные условия. Подвижность цинка увеличивается с повышением кислотности почвы. Влияние подщелачивания на подвижность этого элемента зависит от состава катионов почвенного раствора и поглощающего комплекса: в солонцеватых почвах, содержащих натрий, образуются растворимые цинкаты натрия; в карбонатных почвах, где в избытке кальций – нерастворимые цинкаты кальция. Фосфаты почвы, образуя труднорастворимые соединения с цинком, отрицательно влияют на его подвижность. Она снижается также с возрастанием гумусированности почвы, что объясняется способностью гуминовых и фульвокислот образовывать устойчивые комплексы с цинком. Прослеживается связь между подвижностью цинка и окислительно-восстановительным режимом почвы: с уменьшением окислительно-восстановительного потенциала почвы она снижается.

Интенсификация земледелия предусматривает изучение агробиохимического круговорота цинка, особенно в условиях промывного и периодически промывного типов водного режима. Так, в Центральной агроклиматической зоне Краснодарского края с периодически промывным типом водного режима почв возросли потери этого элемента. Однако, количественные показатели потерь цинка в результате миграции из корнеобитаемого слоя пахотных почв исследованы недостаточно. Не зная эти величины, невозможно высокоэффективное применение цинковых удобрений в сельском хозяйстве.

В пахотном слое чернозема выщелоченного до освоения севооборота (1981 г.) валового цинка содержалось 42,8 мг/кг, в подпахотном – 45,7 мг/кг (табл. 143).

Таблица 143 – Содержание цинка и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Цинк валовой | Форма соединений цинка | | |
|---|----------------|--------------|------------------------|--------------------|------------------|
| | | | легкоподвижная | кислоторастворимая | неэкстрагируемая |
| До освоения севооборота | 0–20 | 42,8 | 1,3 | 5,4 | 36,1 |
| | 21–40 | 45,7 | 0,8 | 5,9 | 39,0 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 42,3 | 1,0 | 8,3 | 33,0 |
| | 21–40 | 45,0 | 0,6 | 9,0 | 35,4 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 41,9 | 1,6 | 10,1 | 30,2 |
| | 21–40 | 44,8 | 1,1 | 10,5 | 34,2 |

Формы соединений цинка по количественному содержанию в почве распределяются в следующий убывающий ряд: Zn_{резервная} > Zn_{обменная} > Zn_{легкоподвижная}. Такая закономерность характерна как для пахотного, так и для подпахотного слоя почвы.

По содержанию легкоподвижного и обменного цинка чернозем выщелоченный следует отнести к низкообеспеченным, т. е. содержание доступного растениям микроэлемента в нем значительно ниже нормы. В буферную вытяжку перешло 3,0 % в пахотном и 1,8 % подпахотном слое почвы, кислоторастворимую соответственно – 12,6 и 12,9 % валового содержания цинка. Доля резервной кислотонерастворимой формы соединений микроэлемента в общем цинковом фонде почвы составляло 84,3 % в пахотном и 85,3 % в подпахотном слое.

После трех ротаций зерно-травяно-пропашного севооборота без внесения минеральных удобрений количество валового цинка в почве практически осталось на прежнем уровне. В подпахотном и пахотном слое почвы его содержание уменьшилось всего лишь на 0,5 и 0,7 мг/кг или на 1,2 и 1,5 %. В то же время на этом варианте произошли изменения в содержании в почве различных форм его соединений. В пахотном слое количество обменного цинка возросло на 2,9 мг/кг, подпахотном – 3,1 мг/кг, а легкоподвижного соответственно на 0,3 и 0,2 мг/кг и резервного – на 3,1 и 3,6 мг/кг.

Длительное внесение минеральных удобрений на полях севооборота привело к уменьшению валового содержания цинка на 0,9 мг/кг по обоим слоям почвы. Ежегодные потери микроэлемента в удобряемом варианте составили 0,027 мг/кг почвы или 0,064 % от валового количества. Минеральные удобрения вызвали также определенную трансформацию форм соединений цинка в почве. Влияние их систематического применения под культуры севооборота проявилось в значительном увеличении содержания в почве легкоподвижной и обменной и снижении резервной формы соединений микроэлемента.

Количество легкоподвижной и обменной форм цинка в пахотном слое почвы за три ротации 11-польного севооборота увеличилось на 0,3 и 4,7 мг/кг, подпахотном – на 0,3 и 4,4 мг/кг. Под воздействием удобрений за 33 года снизилось содержание кислотонерастворимой (резервной) формы соединений цинка на 3,1 мг/кг в пахотном и на 4,8 мг/кг в подпахотном слое почвы или соответственно на 8,6 и 12,3 %. Следовательно, вынос цинка с урожаями культур севооборота не компенсируется поступающими на поля с атмосферными осадками и минеральными удобрениями, содержащими его в качестве элемента-балласта [84, 86].

Выводы. Валовое содержание цинка в черноземе выщелоченном ниже кларка почвы и близко к среднему значению, принятому для черноземов. Максимальное количество его приурочено к подпахотному слою почвы. В условиях агрогенеза просматривается тенденция к снижению содержания цинка в почве, которая приобретает более выраженный характер при применении цинксодержащих удобрений.

Выращивание сельскохозяйственных культур без внесения удобрений за три ротации севооборота привело к снижению содержания в почве легкоподвижной формы цинка. Одновременно с этим произошло возрастание количества обменного и уменьшение содержания резервной кислотонерастворимой формы микроэлемента в почве.

Систематическое применение минеральных удобрений на полях севооборота способствует увеличению подвижности цинка в почве, что приводит к сокращению доли кислотонерастворимой его формы соединений в общем фонде микроэлемента.

8.4.3.4 Ультрамикроэлементы

Ванадий. Атом ванадия имеет пять валентных электронов. Соединения этого элемента отвечают степеням окисления +2, +3, +4 и +5, т. е. валентностям II, III, IV и V. Им соответствуют окислы VO и V₂O₃ (имеющие основной характер), VO₂ (амфотерный) и V₂O₅ (кислотный). В почвах ванадий присутствует, главным образом, в пятивалентном состоянии в виде ванадат-иона. Появление ванадил-иона VO²⁺ возможно лишь при очень низких значениях Eh и pH, как продукт восстановления метаванадат-иона VO₃⁻. Ванадил-ион, как правило, образует комплексы с органическим веществом почвы и глинистыми минералами. Анионная форма ванадия (VO₄³⁻ и VO₃⁻) отличается мобильностью в почвах и относительно высокой токсичностью для почвенной микробиоты. Она способна сорбироваться на различных гидрооксидах. В интервале pH 7,7–8,2 наилучшим сорбентом пяти- и четырехвалентного ванадия является гидроксид железа, за ним следует гидроксид марганца. Сорбированный ванадат-ион может оставаться в обменном состоянии, переходить в химически связанный или непосредственно в состав кристаллической решетки сорбента. При подщелачивании среды этот ион вытесняется гидроксидными ионами и переходит в раствор. С гумусовыми кислотами почвы ванадат-ионы реагируют с восстановлением VO₃⁻ до VO²⁺ (ванадила), который связывается непосредственно с органическим веществом. Основным источником поступления ванадия в почвенный покров являются материнские почвообразующие породы.

Ванадий в почвах находится в: 1) виде легкорастворимых соединений; 2) комплексе с органическим веществом; 3) адсорбированном состоянии на глинистых минералах, оксидах алюминия и железа; 4) кристаллической решетке минералов.

Формы соединений, подвижность и миграция ванадия в почве определяются: 1) содержанием и характером соединений его в почвообразующих породах; 2) составом и условиями формирования почвы, содержанием в ней глинистых минералов, свободных полутораоксидов алюминия и железа, реакций среды, водным и окислительно-восстановительным режимами; 3) равновесием между органическими и минеральными соединениями этого элемента в системе «твердая фаза – почвенный раствор»; круговоротом ванадия в системе «почва–растения».

В мониторинговом опыте кафедры агрохимии Кубанского госагроуниверситета, заложенном в учхозе «Кубань», не выявлено обеднения чернозема выщелоченного ванадием после трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота (табл. 144).

До освоения севооборота пахотный 0–20 см слой почвы содержал 88,0 мг/кг валового ванадия, подпахотный 21–40 см слой – 97,3 мг/кг. Доля подвижной и кислоторастворимой форм соединений в общем фонде элемента в пахотном слое почвы составила 5,3 и 19,2 %, подпахотном – 5,2 и 18,3 % соответственно.

Валовое содержание ванадия в пахотном слое почвы значительно больше, чем в подпахотном. Это относится и к формам его соединений. Вместе взятое это свидетельствует о слабой химической трансформации и вовлеченности этого элемента в биологический круговорот. За три ротации 11-польного севооборота валовое содержание ванадия под воздействием вносимых на поля удобрений практически не изменилось, а в севообороте без внесения удобрений даже в некоторой степени возросло. Это объясняется незначительным его хозяйственным выносом урожаями культур севооборота и возможным поступлением элемента из атмосферы.

Таблица 144 – Содержание ванадия и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Ванадий валовой | Форма соединений ванадия | | |
|---|----------------|-----------------|--------------------------|--------------------|---------------------------------|
| | | | подвижная | кислоторастворимая | резервная, кислотонерастворимая |
| До освоения севооборота | 0–20 | 88,0 | 4,7 | 16,9 | 66,4 |
| | 20–40 | 97,3 | 5,1 | 17,8 | 74,4 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 88,9 | 4,1 | 17,5 | 67,3 |
| | 20–40 | 97,6 | 4,9 | 18,1 | 74,6 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 87,8 | 5,0 | 16,7 | 66,1 |
| | 20–40 | 96,8 | 5,2 | 17,6 | 74,0 |

Характер трансформации кислоторастворимой и кислотонерастворимой форм соединений ванадия был аналогичным изменению валового содержания его в почве. Иначе говоря, как и в случае с валовым содержанием ванадия, в почве количество кислоторастворимой и кислотонерастворимой форм его соединений увеличилось на неудобряемом варианте и несколько уменьшилось на удобряемом. Причем, такой характер изменения их содержания имел место как в пахотном, так и в подпахотном слое почвы. Иначе изменялось содержание подвижного ванадия в почве. В неудобряемом севообороте оно уменьшается, а удобряемом, за счет подкисляющего действия вносимых на полях севооборота минеральных удобрений, наоборот, – увеличивается [60, 108, 112].

Выводы. Содержание ванадия в пахотном слое чернозема выщелоченного составляет 81,0–87,0 мг/кг, что близко к кларку в почвах мира – 100 мг/кг. С глубиной его количество по почвенному профилю постепенно возрастает и достигает в горизонте С 180,3 мг/кг. Это свидетельствует о слабом вовлечении этого элемента в биологический круговорот.

В процессе агрогенеза валовое содержание ванадия в почве неудобряемого варианта несколько возросло, что свидетельствует о преобладании его поступления из атмосферы над отчуждением с урожаями культур севооборота.

Применяемая система удобрения севооборота не привела к накоплению ванадия в почве. Наоборот, его содержание несколько уменьшилось, что объясняется ростом урожая под воздействием удобрений. Поступление ванадия из атмосферы и с удобрениями, в которых он присутствует в виде балласта, не компенсировало его хозяйственный вынос с урожаями культур севооборота.

В ванадиевом фонде чернозема выщелоченного доля его подвижной формы не превышает 4,6–5,7 %, и составляет 4,1–5,0 мг/кг. Такие почвы по региональной шкале относятся к среднеобеспеченным этим элементом, и сельскохозяйственные культуры, возделываемые на них, будут положительно отзываться на ванадиевые удобрения при их внесении.

Йод. Основные физико-химические свойства йода – высокая химическая активность, летучесть в элементном состоянии, способность к проявлению переменной валентности, высокая растворимость солей йодистоводородной и йодноватой кислот, а также выраженная биофильность обуславливают рассеяние йода и многообразие форм его нахождения в природе.

Ведущими факторами, определяющими содержание йода в почвах, являются: концентрация в почвообразующих породах, удаленность от моря, характер водного режима, особенности ландшафтного строения территории и содержание органического вещества.

Огромным резервуаром йода является Мировой океан, который служит источником его поступления в атмосферу. Воздушные массы переносят йод в пределы суши, а с атмосферными осадками он поступает в почву. Поэтому содержание его в почвах в значительной степени зависит от близости к морю, направления господствующих ветров и высоты над уровнем моря. В районах активной вулканической деятельности заметное количество этого элемента поступает в атмосферу при извержениях вулканов. В ноосфере со сжиганием угля, нефти, торфа доставляется в атмосферу «захороненный» йод. Следовательно, его миграция ускоряется. Этому способствует повышение окислительного потенциала почв при осушении болот.

Валовое содержание йода в почвах во многом зависит от подстилающих пород и их физического состояния. Массивные кристаллические породы содержат его меньше, чем породы, затронутые в той или иной степени процессами разрушения. Рыхлые сыпучие породы – пески, гравий, речной аллювий – бедны йодом независимо от того, из какого материала они образовались. Глины, сланцы, мергели, глинистые и богатые кальцием почвы, наоборот, богаты этим элементом. Почвы с более высоким содержанием органического вещества, т. е. поверхностные горизонты, богаче йодом, чем нижележащие – минеральные. Почвы с нейтральной средой или близкой к ней при прочих равных условиях, как правило, содержат больше его, чем кислые.

Йод в почвах находится в органической и минеральной формах, в газовой, жидкой и твердой фазах. Практически весь йод в почвах связан с органическим веществом, с которым, он образует прочные комплексные соединения. Минеральная форма йода в почвах, представлена йодидами и йодатами. Ю.Г. Покатилов [42] и В.К. Кашин [24], исходя из степени прочности удержания йода почвой, выделяют следующие формы его соединений: свободный, водорастворимый, соле-, кислото-, щелочнорастворимый и прочносвязанный. Свободный йод образуется в результате освобождения из органического вещества при его минерализации. В силу высокой химической активности элементного йода, длительность существования его свободной формы незначительна, т. к. он вторично связывается гумусом или улетучивается из верхнего слоя почвы в атмосферу. Тем не менее, свободный газообразный йод в следовых количествах постоянно присутствует в почве, так же как и постоянно идут в ней окислительные процессы и распад органических веществ, а также обмен этим элементом между почвой и атмосферой.

Водорастворимый йод – одна из наиболее важных форм миграции его в почвах, в которых представлено, в большинстве случаев, от 1 до 20 % валового количества микроэлемента.

Соле-, кислото- и щелочнорастворимые соединения йода в меньшей степени вовлекаются в биологические процессы. Доля их в йодном фонде почвы составляет 20–50 %, а в отдельных случаях может достигать и до 80 %.

Прочносвязанный йод в почве находится в фиксированном состоянии, представлен в основном нерастворимыми гуминами, вовлекается в биологи-

ческий круговорот и используется для питания растений только после минерализации этих фракций органического вещества. Содержание прочно связанного йода в почвах колеблется от 15 до 95 % от валового его запаса.

Между формами соединений йода в почве происходят постоянные взаимопревращения, главными факторами которых являются процессы сорбции, окислительно-восстановительные и гидротермические условия. Наиболее доступен растениям йод водорастворимых соединений, отдельные фракции которых различаются по степени подвижности в почве. Наименее доступен растениям йод, входящий в состав органоминеральных комплексов твердой фазы почвы. Миграция йода из почв происходит в результате вымывания водорастворимых форм в нижележащие слои с поверхностными стоками и улетучивания газообразной его формы с поверхности почв в атмосферу, а также поглощения растениями и почвенной микрофлорой.

Валовое содержание йода в черноземе выщелоченном незначительно ниже мирового кларка этого элемента. До освоения севооборота в пахотном слое почвы его содержалось 4,30, подпахотном – 3,80 мг/кг (табл. 145).

Таблица 145 – Содержание йода и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Йод валовой | Форма соединений йода | | | |
|---|----------------|-------------|-----------------------|-------------------|-----------|-----------|
| | | | водорастворимая | кислотно-щелочная | подвижная | резервная |
| До освоения севооборота | 0–20 | 4,30 | 0,22 | 0,74 | 0,96 | 3,34 |
| | 21–40 | 3,80 | 0,15 | 0,59 | 0,74 | 3,06 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 4,31 | 0,20 | 0,74 | 0,94 | 3,37 |
| | 21–40 | 3,78 | 0,11 | 0,60 | 0,71 | 3,07 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 4,05 | 0,31 | 0,70 | 1,01 | 3,04 |
| | 21–40 | 3,77 | 0,19 | 0,58 | 0,77 | 3,00 |

В почве до закладки эксперимента на долю водорастворимой, кислотно-щелочной и резервной форм йода приходилось соответственно в пахотном слое 5,12; 17,21 и 77,68 %, подпахотном – 3,95; 15,53 и 80,52 % от валового содержания элемента.

После трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота валовое содержание йода в почве на варианте без применения удобрений осталось на прежнем уровне. Вынос элемента с урожаями культур севооборота покрывался его поступлением с атмосферными осадками. Не подверглось каким-либо изменениям и количество кислотно-щелочной и резервной формы йода в почве. В то же время содержание водорастворимой формы элемента в почве снизилось на 0,02 мг/кг в пахотном и на 0,04 мг/кг подпахотном слое.

Систематическое внесение минеральных удобрений на поля севооборота сопровождается снижением валового содержания йода в почве, что наиболее заметно проявляется в пахотном ее слое. Вынос элемента с возросшим под влиянием удобрений урожаем не покрывается его поступлением на поля с атмосферными осадками. Удобрения влияли и на трансформацию соединений йода в почве. Под их воздействием заметно возросло содержание

водорастворимой формы микроэлемента, главным образом, за счет сокращения резервного фонда йода почвы. На количество кислотно-щелочной формы соединений микроэлемента вносимые на поля севооборота удобрения практически не оказали влияние [86, 112].

Выводы. Валовое содержание йода в черноземе выщелоченном значительно ниже (4,30 мг/кг) мирового кларка (5,0 мг/кг) этого элемента. На валовое содержание йода и трансформацию его соединений влияет агрогенез. За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота возделывание сельскохозяйственных культур без внесения минеральных удобрений не привело к снижению его валового содержания в почве, не уменьшилось в ней и количество кислотно-щелочной и резервной формы соединений микроэлемента. В тоже время произошло обеднение почвы воднорастворимым йодом. Систематическое внесение минеральных удобрений на полях за три ротации севооборота привело к сокращению в почве валового запаса йода и содержания его резервной (неподвижной) формы, и увеличению количества водорастворимых соединений микроэлемента.

Селен. Для селена характерны степени окисления – 2, + 4, + 6; он образует диоксид SeO_2 и триоксид SeO_3 , соответственно селенистую H_2SeO_3 и селеновую кислоты H_2SeO_4 (соли – селениты и селенаты). Селенистая кислота слабая, ее константы диссоциации $K_1 = 2 \cdot 10^{-3}$ и $K_2 = 5 \cdot 10^{-9}$. Селеновая кислота сильная, степень ее диссоциации близка к степени диссоциации серной кислоты. Селениты щелочных металлов хорошо растворимы, другие селениты имеют низкую растворимость. Селенаты, как правило, хорошо растворимы в воде. Для содержания селенатов в воде установлен ПДК $0,2 \text{ мг/м}^3$ в расчете на селен. Соли слабой селеноводородной кислоты H_2Se – селениды – сходны по своим свойствам с сульфидами. Для селена характерно также образование селеноорганических соединений, содержащих связь – Se–C; в их числе различают следующие основные классы: 1) селенолы; 2) селениды; 3) селениевые соединения; 4) селеноальдегиды и селенокетоны; 5) моно- и диселенокарбоновые кислоты; 6) селенсодержащие аминокислоты; 7) гетероциклические соединения селена. В биосфере встречаются немногие из них. Возможно и присутствие в почве элементарного селена.

Источником селена для биосферы служат изверженные породы, вулканические дымы, гидротермы, поэтому в районах современного и древнего вулканизма почвы и осадочные породы нередко им обогащены. Селен содержится в сульфидных рудах, ураново-молибденовых и серных месторождениях. Обнаруживается он в комплексе с фосфоритами, свинцом, цинком, ртутью, серебром и медью.

Почвы по содержанию селена делятся на три класса:

- 1) почвы с токсичным уровнем содержания селена (карбонатные и щелочные почвы, в которых селен находится в форме селенатов);
- 2) почвы не токсичные по селену (кислые почвы, обогащенные железом, и содержащие селен в количествах 1–15 мг/кг);
- 3) почвы с низким содержанием селена (почвы на изверженных породах и молодых вулканических отложениях).

Селен в почвах представлен селенидами (Se^{2-}), элементарным селеном (Se^0), селенитами (SeO_3^{2-}), селенатами (SeO_4^{2-}) и органическими соединениями,

преимущественно в окисленной форме (белки и аминокислоты растительных остатков). Наличие химических форм неорганического селена в почвах определяется величиной рН и окислительно-восстановительного потенциала. В аэрируемых и щелочных почвах элемент присутствует преимущественно в форме селенатов, в кислых почвах влажных районов с низким окислительно-восстановительным потенциалом – в форме селенитов или даже селенидов (при восстановлении элементарного селена). Наиболее высоко окисленные формы – селениды и селенаты (в основном селенаты) – считаются доступными для растений.

Антропогенное воздействие, в первую очередь связанное со сжиганием ископаемого топлива, резко увеличивает долю атмосферного селена таким образом, что последний, наряду с депонированными в земле формами, становится важным источником этого микроэлемента для растений. Однако далеко не весь селен почвы доступен для растений. Так, в кислых, сильно заболоченных почвах биодоступность микроэлемента низка, хотя общее содержание может быть и значительным. Здесь большое значение имеет образование нерастворимых комплексов четырехвалентного селена с железом. В аэробных щелочных условиях преобладающая часть селена находится в окисленной форме (Se^{6+}) и легкодоступна для растений.

При изучении форм нахождения и трансформации соединений селена в почвах рекомендуют обратить внимание на следующие моменты:

– в кислых глеевых почвах и в почвах с высоким содержанием органического вещества преобладают селениды и сульфиды селена, которые малоподвижны и поэтому труднодоступны для растений;

– в хорошо дренируемых минеральных почвах, рН которых близок к нейтральному, доминируют исключительно селениты, при этом селениты щелочных минералов растворимы, а селениты железа нерастворимы. Кроме того, селениты активно фиксируются гидроксидами и оксидами железа и поэтому труднодоступны для растений;

– в щелочных и хорошо аэрируемых почвах имеют место селенаты. Они легко растворимы, слабо фиксируются оксидами железа и достаточно подвижны, что делает их доступными для растений.

Содержание соединений селена в биосфере и его трансформация обусловлены следующими факторами:

1) окислительно-восстановительные условия и рН, от которых зависят формы минеральных и частично органических соединений селена;

2) деятельность микроорганизмов и высших растений, накапливающих селен или трансформирующих его соединения в летучие органические формы;

3) адсорбция, влияющая на закрепление соединений селена в почвах и породах;

4) миграция с водными потоками, включающая выщелачивание в гумидных ландшафтах и аккумуляцию при соленакоплении в аридных областях.

Весь селен почвы делится на пять фракций: первая – растворимая в K_2SO_4 , представленная органическими соединениями, селенатами и селенитами; вторая – сорбированные селениты, извлекаемые методом изотопного обмена; третья – формы селена, извлекаемые HCl и NH_4OH (без идентификации); четвертая – органические соединения селена, растворимые в NH_4OH ; пятая – элементарный селен и селениды, извлекаемые азотной кислотой.

Валовое содержание селена в черноземе выщелоченном зависело от условий агрогенеза (табл. 146).

Таблица 146 – Содержание селена в черноземе выщелоченном

| Слой почвы, см | Se валовой, мг/кг | Se водорастворимый, % от валового | Se валовой, мг/кг | Se водорастворимый, % от валового |
|----------------|-------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
| | без удобрений | | N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | |
| 0–20 | 0,34 | 14,9 | 0,32 | 16,1 |
| 21–40 | 0,29 | 14,1 | 0,28 | 15,6 |

Количество селена было больше в почве неудобренной в течение трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота. В систематически удобряемой почве за 33 года валовое содержание элемента снизилось на 5,9 % в пахотном и 3,4 % – подпахотном слое. Видимо, под воздействием вносимых на полях севооборота минеральных удобрений, почвенные запасы селена интенсивнее вовлекались в биологический круговорот. Поступление селена в виде примеси с минеральными удобрениями не компенсируется его отчуждением с полей возросшими урожаями сельскохозяйственных культур.

В отношении водорастворимых соединений селена в почве в условиях агрогенеза наблюдаются другие закономерности. Под воздействием минеральных удобрений доля водорастворимого селена в валовом его содержании возросла на 1,2 % в пахотном и 1,5 % – подпахотном слое. Иными словами, при систематическом применении минеральных удобрений подвижность селена возрастает, т. е. почва интенсивней «расстается» с этим элементом [76, 107, 112].

Выводы. Систематическое применение минеральных удобрений на полях севооборота приводит к снижению валового содержания селена в черноземе выщелоченном. Удобрения способствуют повышению подвижности этого элемента и более интенсивному вовлечению его в биологический круговорот.

Литий. Для лития характерна слабовыраженная щелочность, по сравнению с другими щелочными элементами, высокий парамагнетизм и гидрофильность. Многие соединения этого элемента токсичны. Наиболее растворимы галогениды, сульфид и гидрид лития, труднорастворимы – карбонат и фосфат лития, нерастворим – силикат лития. В эндогенных процессах для лития характерны исключительная фторофильность и высокая хлорофильность – образование флюидов с фтором и хлором. Близость ионных радиусов Li⁺, Fe²⁺ и Mg²⁺ позволяет литию входить в решетки магнезиально-железистых силикатов – пироксенов и амфиболов. В гранитоидах он содержится в виде изоморфной примеси в слюдах. При выветривании горных пород литий сравнительно легко высвобождается и затем захватывается глинистыми минералами. В небольшой степени он фиксируется также в органическом веществе, поэтому содержание лития в почвах контролируется больше условиями почвообразования, нежели его начальным содержанием в материнских породах.

В связи с различным количеством лития в минералах и почвообразующих породах содержание его в различных биогеохимических зонах и провинциях неодинаково. Кроме того, в почвах одного генетического типа содержание лития подвержено значительным колебаниям.

Валовое содержание лития в почвах зависит от их генезиса, особенностей почвообразовательного процесса и характера материнской породы. Гор-

ные почвы богаче литием, чем равнинные, что является следствием их меньшей выветренности и более сильного влияния коренных пород. В почвах, сформированных на песчано-грубообломочных аллювиальных или моренных отложениях, общий уровень содержания лития ниже, чем в почвах на кристаллических породах. Пониженное содержание этого элемента установлено для светлых песчаных почв, особенно если они образовались на ледниковых отложениях в условиях гумидного климата. В аридной климатической зоне литий вовлекается в восходящее движение почвенных растворов и может осаждаться в верхних горизонтах в составе легкорастворимых солей – хлоридов, сульфатов и боратов. Этими реакциями объясняется относительно высокое содержание его в солончаках, каштановых почвах и почвах прерий. Повышенные концентрации лития выявлены и в интразональных молодых почвах, развитых на аллювиальных отложениях. В начале почвообразовательного процесса литий более подвижен, затем он становится более консервативным из-за сильного связывания глинистыми минералами.

Содержание лития в почве определяется ее гумусированностью, гранулометрическим составом и величиной рН. Его накопление в солонцеватых и оподзоленных почвах связано с развитием в них иллювиальных горизонтов.

На основании обобщения и критического анализа литературы, можно выделить 4 формы лития в почвах: 1) литий почвенного раствора – часть лития почвы, находящаяся в почвенном растворе, в наибольшей степени подверженная внешнему воздействию и тесно связанная со всеми формами лития в почве; 2) литий обменный – часть лития почвы, расположенная на поверхности органо-минеральных коллоидов, в основном способствующая достижению динамического равновесия элемента за счет процессов сорбции и десорбции, взаимодействуя с необменным литием; 3) литий необменный – часть лития почвы, находящаяся в структуре минералов и органо-минеральных смектитовых комплексов, участвующая в формировании равновесной системы; 4) литий минерального скелета – часть лития почвы, обусловленная почвообразующими литийсодержащими первичными и вторичными минералами.

Для характеристики обеспеченности растений литием наиболее важным считается содержание в почве водо- и кислоторастворимых форм элемента, т. е. литий почвенного раствора и обменный. Количество этих форм соединений лития в почве в значительной степени зависит от содержания гумуса и карбонатов кальция, а также мощности гумусового горизонта. Значительные изменения претерпевают формы лития в верхних горизонтах профиля под влиянием эрозионных процессов, которые способствуют выносу его из верхнего горизонта и заметному уменьшению их содержания в этих слоях почвы.

В пахотном слое чернозема выщелоченного после завершения третьей ротации зерно-травяно-пропашного севооборота валового лития содержалось 43,5 мг/кг, подпахотном 46,0 мг/кг (табл. 147).

После 33 лет внесения минеральных удобрений на полях севооборота содержание лития в почве уменьшилось на 6,9 % – в пахотном и на 1,1 % – подпахотном слое. Это является следствием изменения физико-химических свойств почвы под воздействием применяемых удобрений, в результате чего усилилось выщелачивание элемента из верхнего слоя. В какой-то степени оно обусловлено и увеличением выноса элемента с полей прибавкой урожая.

Таблица 147 – Содержание лития в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Литий валовой | Форма соединений лития | | |
|---|----------------|---------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| | | | водорастворимая | кислоторастворимая | кислотонерастворимая |
| Без удобрений | 0–20 | 43,5 | 2,0 | 17,8 | 25,7 |
| | 21–40 | 46,0 | 1,6 | 18,1 | 27,9 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 40,5 | 2,7 | 17,9 | 22,6 |
| | 21–40 | 45,5 | 1,8 | 18,3 | 27,2 |

Длительное применение минеральных удобрений на полях севооборота приводит к повышению подвижности лития в почве. Доля водорастворимой и кислоторастворимой форм соединений этого элемента возросла с 11,2 до 15,1 % в подпахотном и с 8,8 до 9,8 % подпахотном слое. При этом содержание в почве кислоторастворимой формы осталась практически без изменений.

При длительном применении минеральных удобрений на черноземе выщелоченном кислотонерастворимая форма соединений лития в пахотном слое интенсивнее вовлекается в биологический круговорот нежели в подпахотном. В пахотном слое почвы его количество уменьшилось на 8,6 %, а в подпахотном всего лишь на 2,5 % [72, 112].

Выводы. Содержание лития в черноземе выщелоченном превышает его кларк в почве (30 мг/кг). Для лития, элемента с ярко выраженными литофильными свойствами, биогенная аккумуляция весьма незначительна, о чем свидетельствует его меньшее содержание в пахотном (43,5 мг/кг), нежели в подпахотном слое (46,0 мг/кг) слое почвы.

Длительное применение минеральных удобрений приводит к повышению подвижности лития и более быстрому «расставанию» пахотного слоя почвы с этим элементом. В обозримом будущем нельзя исключить необходимость включения лития в систему удобрения сельскохозяйственных культур.

Титан относится к группе слабоподвижных и инертных элементов. Минералы титана отличаются высокой стойкостью в процессах выветривания и почвообразования. В ходе выветривания этот элемент мигрирует и накапливается главным образом механическим путем в форме первичных минералов-россыпей. Истинная миграция его возможна лишь в очень кислых растворах, в противном случае происходит гидролиз солей. При химическом выветривании минералов титан освобождается в виде двуокиси в коллоидальной форме. В результате осадочной дифференциации кристаллические зерна устойчивых титансодержащих минералов концентрируются в песках, а коллоидальная двуокись титана – в глинистом материале.

Накопление титана в почвах зависит от материнской породы, на которой они образуется, и от интенсивности почвообразовательного процесса. Богаче им почвы, формирующиеся на основных породах, беднее – песчаные, лессовые, болотные и известковые.

Титан находится в почве в виде твердых минералов – конечных продуктов выветривания основных пород, а также титаната железа и в рассеянном виде – в алюмосиликатах. Значительная часть его находится в неветренных частицах глин, слюдах, амфиболе, лепидомелане. Небольшая часть титана в

почве представлена в коллоидной форме – гидратом TiO_2 , который образуется в процессе разрушения титансодержащих минералов. Этот элемент может находиться в почвах и в виде $Ti(HPO_4)_2$, что является новообразованием. Ввиду неспособности титана давать соединения, легко растворимые в условиях биосферы, количество его в почвенном растворе ничтожно мало – $7 \cdot 10^{-6} \%$, несмотря на высокое содержание в почвах. На то, что растворимость титана в почвах весьма ограничена, указывает латеритный процесс. В тропиках и субтропиках, где идет интенсивное выветривание, при этом процессе из верхних горизонтов выносятся огромное количество свободного $SiO_2 \cdot nH_2O$, $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ и $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$; содержание же TiO_2 к верхним горизонтам этого профиля заметно нарастает. Это значит, что TiO_2 остается на месте.

Научно обоснованная система удобрения культур севооборота позволяет решать задачи бездефицитного баланса элементов питания в системе «почва-растение-удобрение», увеличения количества и улучшения качества урожая. В то же время их применение – это активное влияние на природную среду. В почву с вносимыми удобрениями поступает большой набор химических элементов. Кроме того, в силу своей физиологической кислотности или щелочности, удобрения способны в той или иной степени влиять на физико-химические свойства почвы.

Применение минеральных удобрений в научно обоснованных дозах на полях севооборота в течение 33 лет практически не отразилось на содержании титана в черноземе выщелоченном (табл. 148).

Таблица 148 – Влияние систематического применения минеральных удобрений на содержание титана в черноземе выщелоченном

| Слой почвы, см | Содержание титана, мг/кг | |
|----------------|--------------------------|----------------------------|
| | без удобрений | $N_{1740}P_{1740}K_{1160}$ |
| 0–20 | 4700 | 4800 |
| 21–40 | 5600 | 5600 |

В пахотном слое количество титана возросло лишь на 2,1 %, а в подпахотном – оно такое же, как и в севообороте без удобрений. Обогащение верхнего слоя почвы титаном происходит вследствие десиликации горных пород при выветривании. Из-за малой растворимости минералов титана они более продолжительное время остаются на месте, а, значит, содержание элемента в почве возрастает. Как известно, минеральные удобрения, применяемые на полях севооборота, повышают интенсивность биологического круговорота веществ и тем самым усиливают процесс разрушения почвообразующих пород [93, 112].

Выводы. Почвообразующие породы в Краснодарском крае, особенно в горной зоне, где они весьма разнообразны, заметно различаются по содержанию титана. Мало его в известняках, мергелях, песчаниках, лессовидных суглинках, аллювиальных отложениях пойм и дельт рек. Богаты этим элементом аллювий глинистый, лессовидные глины и тяжелые суглинки. Выветривание почвенных минералов и почвообразование приводят к более равномерному распределению титана в почвах, особенно в горной зоне края с пестрым сочетанием почвообразующих пород. Содержание титана в черно-

земе выщелоченном близко к кларку почв мира – 4600 мг/кг. Количество его от материнского горизонта к гумусово-аккумулятивному постепенно убывает, т. е. этот элемент характеризуется низким биологическим захватом. Вносимые на полях минеральные удобрения, повышая интенсивность биологического круговорота веществ, усиливают процесс разрушения почвообразующих пород и, как следствие, повышают титановый статус почвы.

Никель проявляет и сидерофильные (в ультраосновной магме, земной коре), и халькофильные (при дифференциации основной магмы, в гидротермах), и литофильные (в биосфере) свойства.

В континентальных отложениях никель присутствует главным образом в виде сульфидов и арсенидов и часто замещает железо в железомagneзиальных соединениях. Он также ассоциируется с карбонатами, фосфатами и силикатами. При выветривании горных пород никель легко высвобождается, а затем осаждается преимущественно с оксидами железа и марганца. Однако, подобно катионам Mn^{2+} и Fe^{2+} , двухвалентный никель относительно стабилен в водных растворах и способен мигрировать на значительные расстояния. При выветривании никельсодержащих горных пород возможно образование глинистого минерала гарниерита $(Ni,Mg)SiO_3 \cdot nH_2O$. Последнее главным образом происходит в условиях тропического климата. Органическое вещество обнаруживает способность к абсорбции никеля, вероятно, поэтому он концентрируется в угле и нефти.

Никель в почве обычно содержится в количестве 20–50 мг/кг, а в загрязненных почвах – до 1000 мг/кг. Предельно допустимая концентрация (ПДК) этого элемента в почвах сильно варьирует в зависимости от реакции почвенного раствора, окислительно-восстановительного потенциала и буферной способности почвы, фракционно-группового состава гумуса, а также условий агрогенеза. Ориентировочно-допустимая концентрация (ОДК) в песчаных и супесчаных почвах равна 20 мг/кг, кислых ($pH_{KCl} < 5,5$) суглинистых и глинистых – 40, близких к нейтральным ($pH_{KCl} > 5,5$) суглинистых и глинистых – 80 мг/кг. ПДК подвижной формы этого элемента, т. е. извлекаемой из почвы буферной вытяжкой (ацетатно-аммонийным буферным раствором pH 4,8), составляет 4 мг/кг.

Самое высокое содержание никеля наблюдается в глинистых и суглинистых почвах, в почвах на основных и вулканических породах и в почвах, богатых органикой. Особенно высокими уровнями содержания отличаются торфянистые серпентинитовые почвы, в которых этот элемент присутствует в виде легкорастворимых органических комплексов. Почвы аридных и семиаридных регионов также характеризуются высокими концентрациями никеля.

В почвах никель тесно связан с оксидами железа и марганца, присутствует в составе первичных и вторичных минералов, в органически связанных формах, часть из которых может быть представлена легкорастворимыми хелатами, а также в ионной форме. В почвенном растворе возможны ионные формы этого элемента: Ni^{2+} , $NiOH^+$, $HNiO_2^-$ и $Ni(OH)_2^-$. Концентрация никеля в почвенном растворе в основном равна 0,005–0,05 мг/кг.

Никель относится к группе элементов подвижных и слабоподвижных в окислительных условиях и инертных – в восстановительных. Этот элемент более подвижен в кислой и слабокислой среде и менее подвижен в нейтральной и щелочной. На щелочном барьере он осаждается, и миграция осуществляется исключительно в составе взвесей.

В настоящее время никель считается приоритетным поллютантом, поступающим в окружающую среду с выбросами металлообрабатывающих предприятий и в связи с растущими темпами сжигания угля и нефти. Применение осадка сточных вод и фосфорных удобрений также в какой-то степени может стать причиной его накопления в почвах.

Токсическое действие повышенных концентраций никеля проявляется в широком диапазоне реакций растений. Наблюдается хлороз листьев, торможение скорости роста, снижение репродуктивной способности, морфобиологические нарушения. В то же время никель относится к необходимым для растений микроэлементам, играющим важную роль в ферментативных процессах. Его дефицит в почве вызывает специфические заболевания растений, снижает урожай, ухудшает его качество. Токсичность никеля не противоречит его биологической необходимости. Даже самый токсичный элемент имеет свое узкое «концентрационное окно», внутри которого он становится необходимым. Как правильно подметил Д.И. Менделеев, «в мире нет вредных веществ, в мире есть вредные количества». В связи с этим необходимы данные о содержании никеля в почве и трансформации его соединений, выносе с урожаем в зависимости от обеспеченности растений, пороговых уровнях токсичности.

Валовое содержание никеля до освоения 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота (1981 г.) в черноземе выщелоченном составляло 28,8 мг/кг в пахотном и 31,4 мг/кг – подпахотном слое (табл. 149). Буферной вытяжкой извлекалось 1,8 и 1,7 мг/кг, а кислотной – соответственно 9,5 и 9,8 мг/кг, или 33,0 и 31,2 % от всего его количества.

Таблица 149 – Содержание никеля и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Никель валовой | Форма соединений никеля | | |
|---|----------------|----------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | | подвижная | кислотораст- творимая | кислотонераст- воримая |
| До освоения севооборота | 0–20 | 28,8 | 1,8 | 9,5 | 19,3 |
| | 21–40 | 31,4 | 1,7 | 9,8 | 21,3 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 28,0 | 1,9 | 9,9 | 18,1 |
| | 21–40 | 30,6 | 1,8 | 10,0 | 20,6 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 28,7 | 2,1 | 10,3 | 18,4 |
| | 21–40 | 31,3 | 1,9 | 10,5 | 20,8 |

Наибольшая часть валового никеля в почве была представлена кислотонерастворимой формой соединений элемента. Доля его в никелевом фонде составляла 67,0 % в пахотном и 68,8 % – подпахотном слое почвы.

Таким образом, содержание никеля в черноземе выщелоченном до освоения севооборота в целом было близко к кларку почв мира (40 мг/кг) и значительно ниже ОДК (80 мг/кг), что благоприятствует получению высококачественной продукции.

После трех ротаций севооборота без применения удобрений валовое содержание никеля и кислотонерастворимой формы его соединений в почве несколько снизилось, но количество элемента, извлекаемого буферной и кис-

лотной вытяжкой, незначительно возросло. Снижение валового содержания никеля и его резервного (кислотонерастворимого) фонда в почве можно объяснить ежегодным отчуждением элемента с урожаями культур севооборота с полей, а наметившаяся тенденция возрастания подвижного и кислоторастворимого – минерализацией гумуса, сопровождаемая подкислением почвы.

Систематическое внесение минеральных удобрений на поля севооборота несколько восполняло никелевый фонд почвы, но не обеспечивало восстановление исходного уровня. В то же время на удобряемом севообороте отмечается четко выраженная тенденция к повышению количества подвижного и кислоторастворимого никеля. Если учесть, что величина ПДК подвижного никеля равна 6 мг/кг, то эти изменения не могут иметь никаких негативных экологических последствий, а, наоборот, будут благоприятствовать использованию этого ультрамикрорезерва растениями [92, 112].

Выводы. Содержание никеля в черноземе выщелоченном близко к кларку в почвах мира (40 мг/кг) и значительно ниже ОДК (80 мг/кг). Научно обоснованная система удобрения культур севооборота не ведет к накоплению никеля в почве, но создает условия для повышения его подвижности. В перспективе никель может быть включен в систему удобрения сельскохозяйственных культур, выращиваемых на черноземе выщелоченном.

Хром образует три оксида: CrO, обладающий свойствами оснований, Cr₂O₃ – амфотерный и CrO₃ – кислот. В почве этот элемент формирует комплексные ионы: Cr(OH)²⁺, CrO₄²⁻, CrO₃⁻. Высоко окисленные формы его менее стабильны, чем Cr³⁺. Гидроксид хрома [Cr(OH)₃] имеет амфотерный характер. Большая часть хрома в почвах присутствует в виде Cr³⁺, который образует оксиды с ионами железа. В кислой среде ион Cr³⁺ инертен, при pH 5,5 почти полностью выпадет в осадок. Ион Cr⁶⁺ крайне нестабилен и легко мобилизуется в кислых и щелочных почвах. Реакция среды определяет и интенсивность адсорбции хрома глинистыми минералами: с увеличением pH адсорбция Cr⁶⁺ уменьшается, Cr³⁺ – увеличивается. Органическое вещество почвы стимулирует восстановление Cr⁶⁺ до Cr³⁺.

Формы, подвижность и миграция хрома в почве определяются: 1) содержанием и характером его соединений в почвообразующих породах; 2) составом и условиями формирования почвы, содержанием в ней глинистых минералов, свободных полтораоксидов железа и алюминия, реакцией среды, водным и окислительно-восстановительным режимом; 3) равновесием между органическими и минеральными соединениями элемента в системе «почва-растение».

В почвах хром представлен следующими формами его соединений: 1) неподвижный; 2) прочносвязанный в составе первичных и частично вторичных глинистых минералов, с полуторными гидроксидами алюминия и железа; 3) обменносвязанный на поверхности полуторных оксидов и глинистых минералов; 4) связанный с органическим веществом почв; 5) водорастворимые соединения.

Легкорастворимые и обменные формы хрома, появляющиеся спонтанно в результате биологических процессов, воздействия корневой системы, микроорганизмов, наличия в почвенном растворе органических кислот и углекислоты, – эфемерны. Сорбированные, вначале непрочно, ионы хрома образуют химические труднорастворимые соединения (хемосорбированное состояние) и со временем окклюдуются гидроксидами алюминия и железа, прочно фиксируются гумусом.

Хром относится к группе элементов среднего захвата и слабого накопления. Коэффициент биологического поглощения хрома равен единице. Имеются данные о положительном влиянии этого элемента на физико-биохимические процессы и продуктивность растений.

Валовое содержание хрома в черноземе выщелоченном значительно ниже его кларка в земной коре, литосфере и почвах мира (табл. 150). В пахотном слое содержание этого элемента в 1981 г., т. е. до закладки опыта, составляло 70,5 мг/кг, подпахотном – 78,0 мг/кг. При этом в буферную вытяжку по обоим слоям переходило 0,01 мг/кг хрома, кислоторастворимую – 5,0 мг/кг. Кислотонерастворимого хрома в почве содержалось – 65,5 мг/кг в пахотном и 73,0 мг/кг – подпахотном слое.

Таблица 150 – Содержание хрома и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Хром валовой | Форма соединений хрома | | |
|---|----------------|--------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| | | | подвижная | кислоторастворимая | кислотонерастворимая |
| До освоения севооборота | 0–20 | 70,5 | 0,01 | 5,0 | 65,5 |
| | 21–40 | 78,0 | 0,01 | 5,0 | 73,0 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 70,1 | 0,01 | 4,8 | 65,3 |
| | 21–40 | 77,8 | 0,01 | 4,9 | 72,9 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 70,7 | 0,02 | 5,2 | 65,5 |
| | 21–40 | 78,3 | 0,02 | 5,1 | 73,2 |

После трех ротаций севооборота без применения удобрений содержание хрома в почве незначительно уменьшилось: в пахотном слое на 0,6 %, подпахотном – на 0,3 %. При этом количество подвижного хрома в почве осталось на прежнем уровне, а содержание кислоторастворимых и кислотонерастворимых соединений элемента несколько уменьшилось.

Систематическое внесение минеральных удобрений на поля севооборота способствовало очень незначительному увеличению валового содержания хрома и всех форм его соединений в почве. Наблюдаемая слабая тенденция накопления хрома в почве объясняется его поступлением в виде примесей с вносимыми на поля севооборота минеральными удобрениями и слабой биологической аккумуляцией.

Академик В.Г. Минеев [36] в своем выступлении на научно-практической конференции «Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах» (М., 21–24 декабря 1992 г.) сказал: «Что же касается тяжелых металлов, то в химическом составе минеральных удобрений их нет. Они являются примесью, сопутствующими элементами, попадающими с сырьем или вследствие несовершенства технологических приемов их производства... В связи с высоким качеством российских агрохимических руд, минеральные удобрения отличаются низким содержанием тяжелых металлов. Поэтому с учетом доз применения, они с точки зрения загрязнения тяжелыми металлами, не представляют опасности».

Проведенные исследования подтверждают, что принятая научно обоснованная система удобрений севооборота не ведет к антропогенному загрязне-

нию почвы хромом. Содержание его в черноземе выщелоченном значительно ниже предельно допустимой концентрации (100 мг/кг) в почве [86, 112].

Выводы. Валовое содержание хрома (70,1–78,3 мг/кг) в черноземе выщелоченном значительно ниже кларка почв мира (100 мг/кг). Доля подвижной, кислоторастворимой и кислотонерастворимой форм соединений элемента составляет соответственно 0,01; 7,09 и 92,9 % валового его содержания. После трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота без внесения минеральных удобрений содержание хрома в черноземе выщелоченном не претерпело существенных изменений, даже в какой-то степени наметилась тенденция его уменьшения. Это свидетельствует об отсутствии серьезных природных источников поступления хрома в почву. Научно обоснованная система удобрения сельскохозяйственных культур не ведет к антропогенному загрязнению чернозема выщелоченного хромом. Вынос этого элемента с урожаями сельскохозяйственных культур севооборота компенсируется его поступлением в виде балласта с минеральными удобрениями.

Кадмий. Присутствие кадмия в окружающей среде определяется двумя его физико-химическими свойствами: 1) сравнительно высоким давлением паров, определяющих легкость его испарения, например, при плавлении или сгорании углей; 2) высокой растворимостью в воде, особенно при слабокислой реакции среды. Широкое распространение кадмия в топливе, удобрениях, агрорудах и его физико-химические свойства способствуют постоянному увеличению содержания этого элемента в окружающей среде.

Валовое содержание кадмия в почвах обусловлено его количеством в почвообразующих породах, генезисом, петрохимией, фаціальными различиями материнского субстрата и процессами почвообразования. Помимо этих факторов оно также связано с содержанием в почве органического вещества, ее гранулометрическим составом и реакцией среды, биологическим круговоротом и процессами миграции элемента в почвенно-грунтовой среде с участием природных вод и с неоднородностью видового состава растительного покрова. Пестрота содержания кадмия в почвах обусловлена и его дифференциацией по минералам-носителям. Биологический круговорот кадмия в системе «почва–растение» обеспечивает поступление его в верхние горизонты. Различные миграционные процессы, водная эрозия и дефляция почв могут нивелировать процессы биологической аккумуляции элемента, поэтому гумусовые горизонты иногда содержат меньше его, чем иллювиальные или материнские породы.

Высокое содержание кадмия в почве может быть результатом геохимических аномалий, т. е. естественной диффузии из близко залегающих рудных жил, эксплуатации минеральных ресурсов и загрязнения среды осадками сточных вод, отходами добывающей промышленности, пылевыми и дымовыми выбросами металлургических предприятий. Источниками поступления этого элемента в почву также являются органические и минеральные удобрения.

Основные пути попадания в почву кадмия, связанные с производством и применением минеральных удобрений, следующие:

1. Накопление огромного количества отходов при добыче агрохимических руд. Они занимают большие территории. При размывании осадками кадмий и другие элементы попадают в реки и водоемы, а также разносятся ветром в виде пыли на большие расстояния. С атмосферными осадками и пы-

лю, например, в почвы Европейского континента поступает ежегодно 1,9–5,4 г/га кадмия;

2. Использование несовершенных технологий и оборудования при производстве минеральных удобрений. Выбросы кадмия и других тяжелых элементов в окружающую среду нередко превышают проектные величины в 2–3 раза;

3. При современных технологиях производства минеральных удобрений значительная часть кадмия и других балластных элементов, содержащихся в агрохимических рудах, переходит в готовую продукцию. Например, существует корреляция между концентрацией кадмия в фосфорных удобрениях и фосфорных рудах.

Минеральные удобрения, производимые в Российской Федерации, очень высокого качества, в связи с этим их удельный вес в общем загрязнении почв кадмием незначителен. Поэтому с учетом доз применения они с точки зрения загрязнения кадмием, не представляют опасности. Так, при дозе NPK 100–200 кг/га в год на поля поступает его лишь 0,20–0,30 г/га, что далеко не сопоставимо с выносом его фитоценозом и потерями с фильтрационными водами.

Кадмий в почвах присутствует в различных формах: в почвенном растворе – в форме свободных катионов и ассоциатов (надмолекулярных соединений) с компонентами раствора; в твердой фазе – в форме обменных катионов и их заряженных комплексных соединений, адсорбированных на поверхности почвенных частиц, в виде изоморфных примесей в структурах глинистых минералов, окклюдируемых ионов в составе осадков микрокомпонентов, солей алюминия, железа и марганца, а также в форме собственных минералов, устойчивых осадков малорастворимых солей. Существование тех или иных форм кадмия в почвах определяется, прежде всего, составом и свойствами материнской породы, генезисом почв, процессами почвообразования и массообмена, реакцией среды и окислительно-восстановительными условиями. Чрезвычайно важное значение в образовании различных форм кадмия в почвах имеют антропогенные факторы. Они вызывают изменения свойств почв, нарушение естественных механизмов миграции и трансформации кадмия и его соединений в почвах. Соединения кадмия, поступающие в почву из антропогенных источников, как правило, термодинамически неустойчивы в почвенных условиях и сравнительно быстро переходят в более устойчивые формы.

Среди форм соединений кадмия выделяют 3 группы: 1) подвижные (водорастворимые, ионообменные, непрочносвязанные); 2) кислоторастворимые (хемосорбционные ионы, труднорастворимые соли, кадмий в составе комплексных соединений стабильных органических веществ); 3) кислотонерастворимые (изоморфные примеси в минералах, фиксированные и прочнофиксированные).

В Российской Федерации почвы группируют по валовому содержанию и количеству подвижных форм соединений кадмия, используя принцип арифметической прогрессии. Нулевая группа – фон, представляет собой величину кларка по А.П. Виноградову [6]. Первая группа по загрязненности – 2 кларка, вторая – 3 кларка. Согласно этой классификации, содержание кадмия для первой группы по загрязненности составляет 2 мг/кг, второй – 8 мг/кг, третьей – 32 мг/кг.

Нормирование кадмия в условиях загрязнения обычно сводится к установлению ПДК, при которой гарантируется получение гигиенически пригодной для человека и животных растительной продукции. Предельно

допустимая концентрация кадмия в почвах будет сильно варьировать в зависимости от конкретной почвенно-экологической обстановки. Госкомэпиднадзором Российской Федерации установлена ориентировочно-допустимая концентрация (ОДК) кадмия для песчаных и супесчаных почв 0,5 мг/кг, кислых ($pH_{KCl} < 5,5$) суглинистых и глинистых – 1,0, близких к нейтральным ($pH_{KCl} > 5,5$) суглинистых и глинистых – 2,0 мг/кг.

Степень загрязнения пищевой цепи и торможения роста растений находятся в прямой, но слабой корреляционной связи с валовым содержанием кадмия в почве, т. к. он накапливается преимущественно в форме нерастворимых или слабо растворимых форм соединений и плюс к тому почва и растения сами обладают защитными механизмами. Поэтому при установлении ПДК В.В. Попов и Г.А. Соловьев [43] предлагают использовать не валовое количество кадмия, а содержание кислоторастворимых (1 н HCl вытяжка) форм соединений. По разработанной ими шкале нормирования кадмия почв со слабокислой и кислой реакцией среды содержание элемента $< 0,1$ мг/кг считается низким, 0,1–0,3 – средним, 0,3–0,5 – умеренно опасным, 0,5–2,0 – повышено опасным и $> 2,0$ мг/кг – не сельскохозяйственного использования. Таким образом, мониторинг кадмиевого статуса почв должен предусматривать определение не только валового содержания элемента, но и подвижных форм его соединений.

Содержание кадмия в черноземе выщелоченном больше кларка почв мира (0,5 мг/кг), но близко к среднему значению для черноземов (0,9 мг/кг). В пахотном слое до освоения 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота количество его составляло 0,75 мг/кг, подпахотном – 86 мг/кг почвы (табл. 151).

Таблица 151 – Содержание кадмия и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Кадмий валовой | Форма соединений кадмия | | |
|---|----------------|----------------|-------------------------|--------------------|----------------------|
| | | | подвижная | кислоторастворимая | кислотонерастворимая |
| До освоения севооборота | 0–20 | 0,75 | 0,03 | 0,27 | 0,48 |
| | 21–40 | 0,86 | 0,03 | 0,27 | 0,59 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 0,77 | 0,03 | 0,27 | 0,50 |
| | 21–40 | 0,87 | 0,03 | 0,27 | 0,60 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 0,80 | 0,01 | 0,25 | 0,55 |
| | 21–40 | 0,88 | 0,02 | 0,25 | 0,63 |

Доля кислоторастворимой и кислотонерастворимой форм соединений кадмия в валовом его содержании составляла соответственно 36,0 и 64,0 % в пахотном и 31,4 и 68,6 % – подпахотном слое почвы. В буферную вытяжку переходило 11,1 % кислоторастворимой формы соединений кадмия, что составляет в пахотном слое 4,0 % и подпахотном – 3,5 % валового его содержания.

После трех ротаций севооборота в почве без удобрений валовое содержание кадмия незначительно возросло – на 2,7 % в пахотном и на 1,2 % – подпахотном слое почвы. Это является следствием техногенного его поступления на поверхность почвы в составе пыли, переносимой ветром, и с атмосферными осадками. Увеличение содержания элемента в почве произошло за счет возрастания

тания количества кислотонерастворимых форм его соединений. Абсолютное содержание подвижной и кислоторастворимой форм соединений элемента по обоим слоям почвы осталось на прежнем уровне, а относительное – уменьшилось соответственно в пахотном слое 0,1 и 0,9 %, подпахотном – 0,1 и 0,4 %.

Наметившиеся в процессе агрогенеза тенденции накопления кадмия в почве наиболее четко проявились при систематическом внесении минеральных удобрений на полях севооборота. Под их воздействием валовое содержание элемента возросло на 0,05 мг/кг в пахотном и на 0,01 мг/кг – подпахотном слое почвы. Такое приращение содержания кадмия в почве является следствием поступления элемента на поля севооборота, кроме отмеченных для неудобренного севооборота, как примесь с минеральными удобрениями. Увеличение содержания в почве произошло за счет кислотонерастворимой формы его соединений, т. к. количество кислоторастворимой формы на удобренном севообороте уменьшилось. Аналогичная картина наблюдается и в отношении подвижного кадмия. Содержание его под воздействием удобрений снизилось существенно на 66,7 % в пахотном и на 33,3 % – подпахотном слое почвы. Такое уменьшение подвижности элемента в первую очередь обусловлено высоким содержанием подвижных форм фосфора в почве, которые связывают кадмий в труднорастворимые фосфаты и комплексы различной степени устойчивости [112].

Выводы. Содержание кадмия в черноземе выщелоченном находится в пределах 0,75–0,80 мг/кг в пахотном и 0,86–0,88 мг/кг – подпахотном слое, что близко к среднему значению для черноземов (0,90 мг/кг). Преобладающая часть валового кадмия в почве представлена кислотонерастворимыми соединениями элемента. В целом за три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота не произошло существенного накопления кадмия в черноземе выщелоченном. Выявленная в процессе агрогенеза слабовыраженная тенденция увеличения валового содержания элемента и трансформации форм его соединений не вызывают экологической опасности. По количеству кадмия, переходящего в кислотную вытяжку (1 н HCl), чернозем выщелоченный относится к среднему фону содержания данного элемента в почвах – 0,1–0,3 мг/кг.

Свинец является постоянным компонентом атмосферы, гидросферы и литосферы Земли. Его миграция имеет четко выраженный циклический характер. Вне живого вещества рассеянный свинец мигрирует либо в растворимых формах, либо в связанных с твердой фазой. Главным источником форм свинца, связанных с твердой фазой, служат континенты. Перенос соединений свинца в океан осуществляется преимущественно с речным стоком и отчасти через атмосферу. Природными источниками этого элемента в атмосфере являются горные породы, почва, вулканические газы и аэрозоли, дымы лесных пожаров и морские аэрозоли; антропогенными – металлургические заводы и предприятия, производящие красители, химикаты, пестициды, батареи, аккумуляторы; сжигание угля, торфа, масел, городских отходов; производство и применение боеприпасов; распашка земель.

Характерной особенностью свинца является тенденция к образованию им соединений слабой растворимости с главными компонентами – анионами природных вод и почвенного раствора. Гидроксиды, карбонаты и сульфиды свинца могут выступать в качестве ограничителей растворимости и миграции элемента. В широком диапазоне природных условий (Eh-pH) свинец присутствует преимущественно в двухвалентной форме.

Растворимость соединений свинца в диапазоне рН 8,5–11,0 и в восстановительных условиях при рН 2 – низкая, – менее чем 1 мкг/л; в интервале рН 6–8 растворимость элемента является сложной функцией рН, концентрации CO_2 и соединений серы в воде. Восстановительные условия ведут к образованию осадка сульфида свинца, который характеризуется очень низкой растворимостью.

Наличие значительного количества фосфат-ионов в природных растворах снижает концентрацию свинца. Но, как правило, в природных водах фосфат-ионы не присутствуют в количестве, достаточном для определения судьбы растворенного свинца. Однако этот фактор может быть определяющим для содержания свинца в почвенном растворе при внесении фосфорных удобрений. При рН выше 6 из 0,1 М растворов соединений свинца осаждается его гидроксид, который неустойчив и, теряя гидратную воду, переходит в оксид (PbO).

Содержание свинца в почвах определяется, прежде всего, региональными факторами: составом почвообразующих пород, рельефом местности, климатом, растительным покровом. Концентрация свинца в почвах увеличивается за счет его поступления из атмосферы, с оросительной водой, при дренаже горнорудных разработок, в результате использования в сельском хозяйстве свинецсодержащих химикатов.

Уровень содержания свинца в почвах, при котором он становится токсичным для растений, сильно варьирует в зависимости от конкретной экологической обстановки. Согласно гигиеническим нормативам, утвержденным Государственным комитетом санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации, ориентировочно допустимая концентрация свинца для песчаных и супесчаных почв составляет 32 мг/кг, кислых ($\text{pH}_{\text{KCl}} < 5,5$) суглинистых и глинистых – 65 мг/кг и близких к нейтральной ($\text{pH}_{\text{KCl}} > 5,5$) суглинистых и глинистых – 130 мг/кг, а предельно допустимая концентрация элемента, извлекаемая из почвы ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8, равна 6 мг/кг.

Свинец легко сорбируется глинистыми минералами, сорбция может быть обменной и специфической. Он может соосаждаться с карбонатами и гидроксидами металлов. Кроме того, этот элемент может быть представлен индивидуальными труднорастворимыми соединениями, например гидроксилпироморфитом, а в присутствии хлорид-иона – хлорпироморфитом.

Органическое вещество является важным компонентом, ответственным за перераспределение свинца в почве. Механизмы соединения свинца с органическим веществом могут быть различными: образование труднорастворимых соединений типа солей с гумусовыми кислотами, адсорбция на поверхности молекул гумусовых кислот за счет электростатических сил или с образованием химических связей (хемосорбция), образование комплексных соединений с органическим веществом. Как и другие поливалентные элементы, свинец обладает значительной способностью к образованию внутрикомплексных соединений (хелатов). Хелатирующими агентами могут быть неспецифические и специфические гумусовые вещества.

Свинец образует стабильные комплексы с гуминовыми кислотами (ГК) и фульвокислотами (ФК). Количество элемента, комплексируемое единицей ФК, относительно высокое по сравнению с другими. Комплексы Pb-ГК более устойчивы, чем комплексы ГК с цинком и кадмием. Адсорбция свинца гумусом, способность к комплексообразованию и устойчивость образующих-

ся соединений увеличиваются с повышением рН. В кислой среде свинец, как кадмий и цинк, более подвижен.

Растворимость свинца может быть сильно понижена известкованием. При высоких значениях рН он будет осаждаться в почве в виде гидроксида, фосфата, карбоната; эти же условия способствуют образованию свинецорганических комплексов.

Уровень концентрации свинца в почвенных растворах некарбонатных почв регулируется растворимостью таких соединений, как $Pb(OH)_2$, $Pb_3(PO_4)_2$, $Pb_4O(PO_4)_2$ и $Pb_5(PO_4)_3OH$, а в карбонатных почвах – еще и $PbCO_3$. При взаимодействии свинца с почвами устойчивые соединения в твердой фазе образуются не сразу и не обязательно путем прямой реакции. Осаждение, например, труднорастворимых соединений происходит ступенчато: от менее к более стабильным соединениям. На растворимость соединений свинца в почвах влияют также процессы гидролиза и комплексообразования с хлоридами. При концентрации хлоридов порядка 350–6000 мг/кг свинец, как и цинк, находится в растворе преимущественно в виде гидроксокомплексов; ртуть и кадмий в этих условиях комплексируются, главным образом, с хлоридами.

Содержащиеся в почвах формы соединений свинца подразделены на четыре группы: 1) водорастворимые; 2) обменные и непрочносвязанные; 3) кислоторастворимые; 4) прочнофиксированные. Для идентификации форм нахождения свинца в почвах используют различные вытяжки. Подвижные формы соединений элемента извлекают ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8; обменные – 1 н CH_3COONH_4 ; кислоторастворимые – 1 н HCl.

Чернозем выщелоченный до освоения 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота содержал 26,6 мг/кг свинца в пахотном и 25,6 мг/кг – подпахотном слое (табл. 152). При этом в буферную вытяжку переходило соответственно 3,0 и 2,7 мг/кг элемента, а в 1 н солянокислую вытяжку – 11,4 и 9,9 мг/кг, или 43,0 и 39,0 % от всего количества. Большая часть валового свинца приходилось на долю кислотонерастворимых соединений этого элемента – 57,1 % в пахотном и 42,9 % – подпахотном слое почвы.

Таблица 152 – Содержание свинца и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант | Слой почвы, см | Свинец валовой | Форма соединений свинца | | |
|---|----------------|----------------|-------------------------|--------------------|----------------------|
| | | | подвижная | кислоторастворимая | кислотонерастворимая |
| До освоения севооборота | 0–20 | 26,6 | 3,0 | 11,4 | 15,2 |
| | 21–40 | 25,6 | 2,7 | 9,9 | 15,7 |
| После трех ротаций севооборота | | | | | |
| Без удобрений | 0–20 | 26,7 | 2,8 | 12,0 | 14,7 |
| | 21–40 | 25,9 | 2,6 | 10,7 | 15,2 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 26,8 | 2,3 | 12,2 | 14,6 |
| | 21–40 | 26,1 | 2,1 | 11,0 | 15,1 |

После трех ротаций севооборота без удобрений валовое содержание свинца в почве сохранилось на исходном уровне. Длительное антропогенное воздействие на почву в данном случае проявилось лишь в трансформации

форм его соединений. Содержание подвижных и кислотонерастворимой формы соединений элемента в почве уменьшилось соответственно на 6,7 и 3,3 % в пахотном и на 3,7 и 3,2 % в подпахотном слое. Наибольшие количественные изменения претерпела кислоторастворимая форма соединений свинца. Ее содержание за три ротации севооборота возросло на 5,36 % в пахотном и на 8,1 % в подпахотном слое почвы по сравнению с исходным количеством. Наметившаяся тенденция изменения содержания форм соединений свинца в процессе выращивания сельскохозяйственных культур без внесения удобрений объясняется дефицитом поступления корневых и пожнивных остатков, усилением минерализации гумуса, подкислением почвы, а также выносом высокодисперсных почвенных частиц из пахотного слоя.

Научно обоснованная система удобрений культур севооборота не привела к заметному увеличению количества свинца в почве. Под воздействием удобрений валовое содержание элемента в почве возросло за три ротации 11-польного севооборота всего лишь на 0,8 % в пахотном и на 2,0 % – подпахотном слое. В то же время систематическое применение минеральных удобрений в течение 33 лет привело к определенным качественным изменениям фонда свинца в почве. В большей степени оно затронуло подвижную, в меньшей – кислоторастворимую и кислотонерастворимую формы соединений элемента. Так, содержание подвижного свинца в почве уменьшилось на 23,3 % в пахотном и на 22,3 % – в подпахотном слое, тогда как количество кислоторастворимой формы в пахотном и подпахотном слое возросло только на 5,3 и 11,1 % соответственно. Еще в меньшей степени изменения коснулись кислотонерастворимой формы соединений свинца. Содержание его в пахотном слое почвы уменьшилось всего лишь на 3,9 %, подпахотном – на 3,8 %.

Уменьшение подвижности свинца обусловлено повышением фосфатного статуса почвы, как следствие длительного применения фосфорных удобрений на полях севооборота. Как известно, подвижные формы фосфора легко связывают свинец почвенного раствора и обменно-сорбированный глинистыми минералами в труднорастворимые соединения. В целом выявленные в процессе агрогенеза количественные и качественные изменения содержания свинца в черноземе выщелоченном не настолько весомы, чтобы оказать существенное негативное влияние на его экологическое состояние [86, 110].

Выводы. Содержание свинца в черноземе выщелоченном превышает кларк почв мира, но близок к среднему значению, установленному для почв Европейской части Российской Федерации – 15–47 мг/кг. В пахотном и подпахотном слое почвы на долю кислоторастворимой формы соединений элемента приходится 42,8 и 38,7 %, кислотонерастворимой соответственно – 57,2 и 61,3 % валового его количества. Подвижного свинца в пахотном слое почвы содержится 2,7 мг/кг или 11,3 % от всего количества. Длительное систематическое применение минеральных удобрений на полях севооборота не привело к существенному накоплению свинца в почве. Сравнивая полученные результаты с существующими в настоящее время допустимыми концентрациями (ОДК, ПДК), можно отметить, что содержание свинца в черноземе выщелоченном после трех ротаций севооборота не может вызвать каких-либо нежелательных изменений или аномалий в ходе биологических процессов и привести к накоплению в сельскохозяйственных растениях, а следовательно, не может нарушить биологический оптитум.

8.4.4 Микрофлора и биологическая активность почвы

Никогда не постигнуть силы и величия природы, если дух будет охватывать только ее части, а не целое.

Плиний Старший

8.4.4.1. Микрофлора

Микроорганизмам принадлежит ведущая роль в разложении остатков биоценоза, синтезе и деструкции гумуса, формировании фитосанитарного состояния почвы и накоплении в ней биологически активных веществ, фиксации молекулярного азота атмосферы. Уровень плодородия почвы в значительной мере обуславливается интенсивностью и направленностью названных процессов. «Эволюция, – пишет Г.С. Муромцев [39], – закрепила за микроорганизмами важнейшие звенья круговорота веществ в биосфере – переработку и минерализацию громадной массы органического вещества, непрерывно поступающего в почву и водоемы, возвращение в почву вынесенных из неё растениями зольных элементов, а также синтез азотистых соединений из газообразного азота атмосферы».

Микрофлора почвы представлена бактериями, актиномицетами, грибами, водорослями, вирусами и бактериофагами. Бактерии участвуют в трансформации органического вещества почв. Они способны разлагать почти все органические соединения. Эти микроорганизмы с помощью своих экзоферментов как источник пищи и энергии используют белок, сахара, крахмал, спирты, альдегиды, разлагают клетчатку и имеют преимущество в разложении углеводов. Актиномицеты участвуют в разложении органического вещества почвы. Они способны использовать углеводы, в т. ч. активно разрушают маннаны, пектиновые вещества, целлюлозу, кератин, хитин, могут разрывать длинные цепи жирных кислот и углеводов. Актиномицеты рода *Nocardia* с помощью фермента фенолоксидазы разлагают гумус с утилизацией азота гетероциклов. Особенно большую роль актиномицеты играют в трансформации органического вещества черноземов. Грибы обладают широким спектром ферментов, способны совершать многие процессы трансформации органического вещества, но, как правило, с меньшей скоростью, чем бактерии. В то же время разложение ароматических соединений грибы ведут активнее, чем бактерии; расщепление лигнина и танинов в природе идет преимущественно под их воздействием. Грибы осуществляют и минерализацию гумуса. Функции грибов определяются стадией сукцессии, периодом изменения видового состава микробиоценоза, зависящей от способности организмов, его составляющих, к переработке и использованию компонентов субстрата. Грибы-сахаролитики выступают пионерами в процессе распада органического вещества почвы. За ними следуют грибы, разрушающие флоэму растений, так называемые первичные сапрофиты. Вторичные сапрофиты разрушают эпидермис клеток. Медленнее всего происходит разрушение целлюлозы и лигнина. Почвообитающие водоросли – автотрофы, участвующие в создании органического вещества почвы. Запасы органического вещества, созданного водорослями, составляют 0,05–0,2 % от его валового содержания в пахотном слое почвы. Вирусы – ультрамикроскопические облигатные внутриклеточные формы, способные размножаться только в клетках живых одноклеточных и многоклеточных организмов.

Вирусы, вызывающие гибель бактерий, т. е. так называемые бактериофаги, широко распространены в почвах и способны вызывать лизис, т. е. гибель различных физиологических групп микроорганизмов. Результатом накопления активных фагов является почвоутомление – клеверное, люцерновое.

Численность микроорганизмов и состав микробных сообществ зависят от гидротермических условий, ботанического состава фитоценоза, типа почвы. Так, в подзолистых и дерново-подзолистых почвах заселенность микроорганизмами составляет около 1 млн. клеток микроорганизмов, черноземах и каштановых – 3,4–3,6; бурых и сероземных – 4,5 млн. клеток в 1 г почвы [12]. Существенное влияние на микрофлору почвы оказывают макро- и микроудобрения. В удобренных почвах возрастает общая численность микроорганизмов, а подчас наблюдается и смена доминантных видов, входящих в те или иные физиологические группы. На микрофлору почвы особенно сильно действуют азотные удобрения, несколько меньше фосфорные, еще слабее калийные и микроудобрения.

В данной работе приведены результаты изучения влияния минеральных удобрений на микрофлору и биологическую активность чернозема выщелоченного Западного Предкавказья за три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота.

Чернозем выщелоченный характеризуется высокой биогенностью. Максимальная численность микроорганизмов отмечена в пахотном 0–20 см слое – 271×10^6 клеток в 1 г почвы. В подпахотном 21–40 см слое – их количество заметно снижается – $188,9 \times 10^6$ клеток в 1 г почвы. Микрофлора почвы в основном представлена бактериями, в убывающем порядке встречались актиномицеты и грибы (табл. 153).

Таблица 153 – Изменение численности микроорганизмов в почве при длительном применении минеральных удобрений

| Вариант | Слой почвы, см | Бактерии | Актиномицеты | Грибы |
|---|----------------|-------------------------------------|--------------|-------|
| | | ×10 ⁶ клеток в 1 г почвы | | |
| Без удобрений | 0–20 | 172,5 | 92,6 | 5,9 |
| | 21–40 | 98,7 | 68,1 | 2,1 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 191,3 | 90,5 | 9,6 |
| | 21–40 | 112,4 | 66,3 | 3,2 |

По данным О.В. Енкиной и Н.Ф. Коробского [13] бактерии на черноземе выщелоченном представлены в основном неспоровыми формами, среди которых преобладают представители рода *Pseudomonas*. Численность споробразующих бактерий на 1–2 порядка ниже. Доминирующими видами среди бацилл являются *Bac. megaterium* и *Bac. mesentericus*. Значительно реже здесь встречаются *Bac. idosus* и *Bac. mycoides*. Среди актиномицетов в черноземе выщелоченном наиболее широко распространены *Act. albidus*, *Act. griseus* и *Act. violaceus*. В составе микрофлоры доминируют представители родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, много аспорогенных форм *Alternaria*, реже встречается *Cladosporium*. Под воздействием вносимых в почву минеральных удобрений увеличивается численность видов *Penicillium* и *Fusarium*.

Доля бактерий, актиномицетов и грибов в общем микробоценозе пахотного слоя чернозема выщелоченного составляла соответственно 63,6; 34,2 и

2,2 %, подпахотного – 52,3; 46,6 и 1,1 %. Такая дифференциация биогенности почвы, связанной с углублением, объясняется как с изменением содержания гумуса, так и с большим поступлением в верхний ее слой остатков агроценоза. Более равномерное распределение актиномицетов в пахотном и подпахотном слоях почвы говорит о наличии у них развитой ферментативной системы, позволяющей использовать трудногидролизуемые органические соединения азота.

Научно обоснованная система удобрения сельскохозяйственных культур, применяемая в зерно-травяно-пропашном севообороте, в определенной степени отразилась на численности и видовом составе микрофлоры чернозема выщелоченного. Систематическое внесение минеральных удобрений в течение трех ротаций севооборота привело к возрастанию численности бактерий в пахотном слое почвы на 10,9 %, подпахотном – 13,9 %. Здесь сказывается прежде всего влияние азотного компонента системы удобрения культур севооборота. Под воздействием удобрений заметно увеличилась и заселенность почвы грибами: в пахотном слое почвы она выросла на 62,7 %, подпахотном – на 52,4 %. В то же время удобрения оказывали депрессивное действие на актиномицеты. Их численность в пахотном и подпахотном слоях почвы снизилась на 2,3 и 2,6 % соответственно. Уменьшение количества актиномицетов обусловлено некоторым подкислением почвы вносимыми под культуры физиологически кислыми минеральными удобрениями.

При определении биогенности почвы важно знать не только общую, но и численность различных физиологических групп микроорганизмов, которыми она представлена. Одним из многочисленных групп микрофлоры почв являются микроорганизмы, осуществляющие трансформацию азота органического вещества.

Среди микроорганизмов, участвующих в превращениях азота в почве, наиболее распространены аммонифицирующие бактерии, численность которых в пахотном слое составляет 87,2 %, подпахотном – 92,2 % от всей этой физиологической группы (табл. 154).

Таблица 154 – Численность физиологических групп микроорганизмов, осуществляющих трансформацию азота почвы

| Вариант | Слой почвы, см | Аммонифицирующие | Нитрифицирующие | Денитрифицирующие |
|---|----------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------|
| | | ×10 ⁴ клеток в 1 г почвы | | |
| Без удобрений | 0–20 | 226,0 | 0,59 | 32,6 |
| | 21–40 | 200,6 | 0,23 | 16,7 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 334,3 | 0,72 | 34,8 |
| | 21–40 | 264,0 | 0,28 | 16,9 |

Аммонифицирующие микроорганизмы при помощи ферментов протеаз, выделяемых ими в почву, расщепляют сложные белковые молекулы на простые соединения – аминокислоты. Последние, проникая в клетки микроорганизмов, под действием ферментов дезаминаз подвергаются дезаминированию, при котором высвобождается аммиак. Аммиак, образующийся в почве, под воздействием нитрифицирующих микроорганизмов окисляется в азотистую, а затем в азотную кислоту. Значительная часть нитратов почвы используется растениями и микроорганизмами, вымывается фильтрационными

водами и под воздействием денитрифицирующих микроорганизмов восстанавливается до свободного азота.

Численность нитрифицирующих бактерий в пахотном и подпахотном слоях чернозема выщелоченного представлена в более чем в 200 раз меньше количества аммонифицирующих микроорганизмов. Причем численность нитрифицирующих бактерий по слоям почвы резко дифференцирована: с углублением их количество резко уменьшается. Так, если в подпахотном слое численность аммонифицирующих микроорганизмов уменьшилась по сравнению с пахотным всего лишь на 11,8 %, то нитрифицирующих – на 40,0 %.

По сравнению с нитрифицирующими микроорганизмами микрофлора чернозема выщелоченного более широко представлена денитрифицирующими бактериями, но их значительно меньше, чем аммонифицирующих микроорганизмов. Заселенность этой физиологической группы в изучаемых слоях почвы идентична характеру изменения численности нитрифицирующих бактерий: с глубиной их количество уменьшается практически в два раза.

Таким образом, по численности микроорганизмы, осуществляющие трансформацию азота органического вещества почвы, располагаются в следующем возрастающем порядке: нитрифицирующие < денитрифицирующие < аммонифицирующие.

Применяемые под сельскохозяйственные культуры минеральные удобрения оказывают влияние на экологию почвы: изменяются физические, химические и физико-химические ее свойства, что в свою очередь отражается на общей численности и составе микрофлоры [37].

Проведенные исследования показали, что научно обоснованная система удобрения, применяемая на полях 11-польного севооборота, положительно сказалась на численности микроорганизмов, обуславливающих превращение азота почвы. Степень влияния удобрений на различные физиологические группы микроорганизмов, осуществляющих трансформацию азота органического вещества почвы, различна. Наибольшее воздействие они оказали на заселенность почвы аммонифицирующими микроорганизмами, наименьшее – денитрифицирующими. Так, в пахотном слое почвы численность аммонифицирующих, нитрифицирующих и денитрифицирующих микроорганизмов возросла на 47,9; 22,0 и 6,7 %, подпахотном – на 30,6; 21,7 и 1,2 % соответственно.

Следовательно, под воздействием минеральных удобрений происходит оптимизация структуры микробного азотного цикла, то есть сдвиг численности микрофлоры в сторону увеличения аммонифицирующих и нитрифицирующих; количество денитрифицирующих бактерий при этом остается практически на одном и том же уровне – свойственном почве с естественным уровнем плодородия.

Численность почвенной микрофлоры динамичный показатель. Это, прежде всего, связано с количеством и составом поступающих в почву остатков биоценоза, погодными условиями и применяемой агротехникой. Наиболее полную информацию о действии удобрений на биогенность почвы позволяет получить мониторинг микрофлоры в условиях длительного стационарного опыта. В этом плане представляют интерес данные О.В. Енкиной и Н.Ф. Коробского [13] по изучению действия минеральных удобрений на биогенность чернозема выщелоченного по ротациям зерно-травяно-пропашного севооборота (табл. 155).

Таблица 155 – Влияние минеральных удобрений на численность микроорганизмов в пахотном слое почвы по ротациям севооборота, % к контролю

| Микроорганизмы | Доза удобрения | | | | | |
|----------------------|----------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
| | оптимальная | высокая | оптимальная | высокая | оптимальная | высокая |
| | 1-ротация | | 2-ротация | | 3-ротация | |
| Бактерии: | | | | | | |
| аммонифицирующие | 155 | 257 | 137 | 128 | 132 | 147 |
| нитрифицирующие | 100 | 109 | 192 | 267 | 144 | 151 |
| денитрифицирующие | 142 | 180 | 230 | 295 | 126 | 131 |
| использующие N | | | | | | |
| минеральный | 107 | 114 | 112 | 127 | 133 | 133 |
| расщепляющие | | | | | | |
| органофосфаты | 112 | 131 | 130 | 128 | 104 | 116 |
| расщепляющие | | | | | | |
| олигофосфаты | 127 | 124 | 109 | 139 | 135 | 135 |
| целлюлозоразлагающие | 96 | 96 | 115 | 115 | 118 | 118 |
| Актиномицеты | 108 | 109 | 111 | 137 | 99 | 96 |
| Грибы | 104 | 109 | 108 | 110 | 126 | 126 |

Как видно из данных таблицы 155, приведенных авторами, минеральные удобрения повышали общую биогенность почвы, при этом степень влияния на различные физиологические группы микроорганизмов была не одинакова. Наиболее сильное влияние удобрения оказали на заселенность почвы бактериями, участвующие в трансформации азота и олигофосфатов. Повышение численности целлюлозоразлагающих микроорганизмов на удобренных полях севооборота обнаружено лишь со второй ротации, что, по мнению О.В. Енкиной и Н.Ф. Коробского [13], объясняется постепенным накоплением минерального азота в почве, к которому у этих организмов повышенная требовательность. Актиномицеты в течение всех трех ротаций севооборота слабо реагировали на удобрения. Заметный рост численности грибов под влиянием удобрений произошел лишь в третьей ротации севооборота. По мнению авторов, это связано с большой буферностью чернозема выщелоченного и незначительным изменением реакции почвенного раствора.

Таким образом, мониторинг показывает, что научно обоснованная система удобрения севооборота положительно отражается на численности бактерий, участвующих в трансформации азота, но в то же время не приводит к существенному изменению количества актиномицетов и грибов, населяющих почву [3, 105, 106].

8.4.4.2 Ферментативная активность

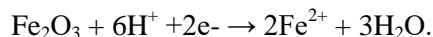
Минеральные удобрения, изменяя питательный режим почвы, существенным образом воздействуют на ее ферментативную активность. Поэтому сведения о характере изменении этих показателей необходимы для объективной оценки действия удобрений.

Ферментативная активность почвы – совокупность процессов, катализируемых внеклеточными (иммобилизованными на почвенных частицах и

стабилизированными в почвенном растворе) и внутриклеточными ферментами почвенной биоты. В почве накапливается определенный «пул» ферментов, количественный и качественный состав которого характерен для данного типа почвы. Интенсивность ферментативных процессов в почве определяется наличием и концентрацией в ней субстрата, окислительно-восстановительными, кислотнo-щелочными и гидротермическими условиями. Ферментативная активность почвы – один из показателей ее биологической активности, характеризующий потенциальную способность системы сохранять гомеостаз.

В настоящее время в почве обнаружено около 25 ферментов. Однако, наибольшее внимание исследователей привлекают протеаза, уреазы, фосфатаза, нитратредуктаза, инвертаза, каталаза, ферриредуктаза, дегидрогеназа, полифенолоксидаза и пероксидаза. Функции этих ферментов различны. Так, уреазы катализируют гидролиз мочевины. Фосфатаза осуществляет процессы минерализации органических фосфорсодержащих соединений. Каталаза участвует в реакциях разложения перекиси водорода на воду и кислород. Полифенолоксидаза катализирует окисление моно-, ди- и трифенолов до хинонов, инвертаза – превращения соединений углерода, пероксидаза – ароматических веществ. Следовательно, ферменты связаны с наиболее ключевыми биохимическими процессами, происходящими в почве: питанием растений, плодородием, превращением гумусовых веществ и окислительно-восстановительным режимом.

Одним из показателей, характеризующих интенсивность биохимических процессов почвы, служит также активность ферриредуктазы – фермента, использующего кислород оксида железа в качестве акцептора электронов в цепи окислительно-восстановительных процессов в почве. При этом оксид железа восстанавливается в закисную форму:



Донорами водорода, как правило, служат органические соединения почвы. Многие почвенные микроорганизмы способны восстанавливать оксид железа и обладают высокой ферриредуктазной активностью. Оптимальные условия для их развития создаются при одновременном наличии в почвенной среде окисленных форм железа и растворенных органических веществ.

Согласно оценочной шкале Д.Г. Звягинцева [15] чернозем выщелоченный после третьей ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота имеет среднюю степень обогащенности гидролитическими ферментами (табл. 156).

Таблица 156 – Активность гидролитических ферментов в черноземе выщелоченном

| Вариант | Слой почвы, см | Инвертаза, мг глюкозы на 1 г почвы за 24 ч. | Уреазы, мг N-NH ₃ на 10 г почвы за 24 ч. | Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ на 10 г почвы за 24 ч. |
|---|----------------|---|---|--|
| Без удобрений | 0–20 | 15,6 | 10,7 | 2,9 |
| | 21–40 | 11,1 | 6,3 | 1,6 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 20,8 | 14,5 | 2,7 |
| | 21–40 | 13,4 | 8,6 | 1,4 |

Как видно из таблицы 156, активность инвертазы, уреазы и фосфатазы различалась по слоям почвы и зависела от внесения удобрений. Относительно высокой ферментативной активностью отличается верхний 0–20 см слой почвы, который характеризуется высокой биогенностью. Активность инвертазы, уреазы и фосфатазы в 0–20 см слое превышала соответствующие показатели на 28,8; 58,9 и 55,2 % по сравнению с показателями в 21–40 см слоя почвы.

Влияние минеральных удобрений на активность гидролитических ферментов было неоднозначным. Наблюдалась тенденция к повышению активности инвертазы и уреазы, и снижению активности фосфатазы. Причем такая закономерность действия минеральных удобрений на активность гидролитических энзимов проявлялась как в пахотном, так и подпахотном слоях почвы. Так, активность ферментов инвертазы и уреазы под воздействием вносимых под культуры севооборота минеральных удобрений возрастала соответственно на 33,3 и 35,5 % в пахотном, на 20,7 и 36,5 % – в подпахотном слоях почвы. Активность фосфатазы систематически удобряемой почвы несколько ниже, чем неудобряемой. Причем такое влияние минеральных удобрений на данный показатель проявляется как для 0–20 см, так и для 21–40 см слоя почвы. Вероятно, снижение темпов минерализации фосфорсодержащих органических соединений происходит вследствие высокого содержания подвижных фосфатов в удобренной почве.

Из класса оксидогеназ объектами исследования служили ферменты каталаза, пероксидаза, ферриредуктаза и полифенолоксидаза (табл. 157).

Таблица 157 – Активность окислительно-восстановительных ферментов в черноземе выщелоченном

| Вариант | Слой почвы, см | Каталаза, см ³ O ₂ на 1 г почвы за 2 мин. | Пероксидаза, мг пурпургалина на 100 г почвы за 30 мин. | Полифенолоксидаза, мг пурпургалина на 100 г почвы за 30 мин. | Ферриредуктаза, мг Fe ₂ O ₃ / 100 г почвы за 48 ч. |
|---|----------------|---|--|--|--|
| Без удобрений | 0–20 | 3,2 | 1,8 | 2,0 | 5,8 |
| | 21–40 | 2,2 | 1,0 | 1,6 | 3,78 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 3,9 | 1,7 | 2,9 | 10,8 |
| | 21–40 | 2,8 | 0,9 | 1,9 | 7,47 |

Как видно из представленных в таблице данных, активность ферриредуктазы среди оксидоредуктаз была наибольшей. Довольно высокой была и активность каталазы. Согласно оценочной шкале Д.Г. Звягинцева [15] чернозем выщелоченный имеет среднюю степень обогащенности этим ферментом. Сравнительно повышенная каталазная активность почвы, на наш взгляд, объясняется высоким содержанием в почве железа. Как известно каталаза является двухкомпонентным ферментом, состоящим из белка и соединенной с ним активной группой. Активной простетической группой его служит гем, в котором атом железа соединен с тетрапирирольной кольцевой структурой – порфириновым кольцом. Каталазная активность почвы есть потенциальная ее способность расщеплять перекись водорода на воду и молекулярный кислород.

Активность каталазы была максимальной в пахотном 0–20 см слое почвы. В подпахотном 21–40 см слое активность этого фермента уменьшилась на 37,5 %, что связано со снижением с глубиной содержания гумуса и биогенности почвы. Применяемая научно обоснованная система удобрения культур севооборота сказалась положительно на каталазную активность почвы. Усиление ее проявляется как в пахотном (+ 21,9 %), так и подпахотном (+ 27,3 %) слоях почвы.

Наряду с ферриредуктазой и каталазой, одним из показателей, характеризующих интенсивность биохимических процессов почвы, служат активность пероксидазы. Это двухкомпонентный фермент, представляющий собой сочетание активной группы, вступающей в химическое взаимодействие с субстратами, и коллоидального белкового «носителя», усиливающего каталитическое действие этой группы.

Пероксидаза катализирует окисление различных полифенолов, алифатических и ароматических аминов, а также жирных кислот, цитохрома и глутатиона. Реакция окисления осуществляется с помощью перекиси водорода или органической перекиси. С перекисью водорода пероксидаза образует комплексное соединение, в результате перекись активируется и действует как акцептор водорода. Следовательно, фермент пероксидазы выполняет ключевую роль в разложении свежих остатков биогенности и минерализации гумуса почвы.

Наиболее высокой пероксидазной активностью обладает верхний 0–20 см слой почвы. Это объясняется большей гумусированностью его, а также высокой биогенностью. В подпахотном 21–40 см слое почвы активность этого фермента была ниже на 44,4 %, чем в пахотном.

Система удобрения культур севооборота практически не отразилась на активности пероксидазы, что свидетельствует о замедлении процесса минерализации гумуса почвы.

Показателем интенсивности протекания окислительных процессов в почве служит также активность полифенолоксидазы, которая относится к ферментам, содержащим в простетической группе атом меди. Этот фермент в присутствии молекулярного кислорода окисляет полифенолы и их производные в хиноны. Полифенолоксидазная активность является одним из показателей усиления процесса гумификации органических остатков биогенности.

Характер профильного распределения активности полифенолоксидазы аналогичен и совпадает с таковой, характерной для других окислительно-восстановительных ферментов – каталазы и пероксидазы. Можно лишь отметить, что активность полифенолоксидазы более плавно, чем активность каталазы и пероксидазы, уменьшается с глубиной. По удобренному севообороту прослеживается четко выраженная тенденция повышения активности полифенолоксидазы.

Подводя итог обсуждению результатов изучения насыщенности чернозема выщелоченного ферментами, следует отметить, что минеральные удобрения, вносимые под культуры севооборота в научно обоснованных нормах, служат мощным агрогенным фактором повышения его ферментативной активности. Их внесение позволяет поддерживать достаточно высокий уровень активности гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов. Тем не менее, следует отметить, что действие минеральных удобрений на ферментативную активность почвы не происходит в одном направлении, оно имеет специфический характер. Так, удобрения усиливают активность инвер-

тазы и уреазы, но ингибируют фосфатазу. Под их воздействием возросла активность ферриредуктазы и полифенолоксидазы – фермента, связанного с процессами гумусообразования, а активность пероксидазы – фермента, участвующего в минерализации гумуса, наоборот, несколько снизилась. Этим подтверждаются данные об увеличении содержания гумуса в черноземе выщелоченном при оптимизации системы удобрения культур 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота.

Высокая активность каталазы свидетельствует о том, что удобрения усиливают процесс разложения перекиси водорода в почве. По удобренному севообороту просматривается тенденция повышения активности этого фермента.

Показатель отношения активности ферриредуктазы к активности каталазы свидетельствует о преобладании восстановительных процессов над окислительными. Этот показатель значительно выше в пахотном слое почвы по сравнению с подпахотным (5,8–10,8 против 3,8–7,5). При этом на длительно удобряемой почве указанное соотношение окислительно-восстановительных ферментов шире, чем на неудобряемой [54, 111].

8.4.4.3 Интенсивность «дыхания», аммонифицирующая и нитрифицирующая способность

Применение удобрений в сельскохозяйственном производстве приводит к перестройке экологической обстановки, что в свою очередь отражается на численности и структуре микробного сообщества почвы и ее биологической активности. Изучение этих проблем должно быть одной из приоритетных направлений исследований экологической агрохимии. Они, наряду с агрохимическими исследованиями, послужат теоретической основой для повышения плодородия и продуктивности почв, а также разработки мероприятий по охране окружающей среды [14, 35].

При изучении биологической активности помимо ферментов, численности и качественного состава микрофлоры учитывают «дыхание», аммонифицирующую и нитрифицирующую способности, амилолитическую, протеолитическую и целлюлозолитическую активности [28].

В цикле превращения азота в почве центральное место занимают процессы аммонификации и нитрификации. В результате аммонификации происходит распад органических азотсодержащих соединений и высвобождение аммиака, который связывается почвенно-поглощающим комплексом и используется микрофлорой и растениями. Определенная часть аммиака улетучивается в атмосферу, а также подвергается нитрификации – окислению аммонийного азота до нитратов. Интенсивная нитрификация – один из признаков культурного состояния почвы, ее нитрификационная способность характеризует в некоторой степени эффективное плодородие почвы. В то же время нитраты, в отличие от аммонийного азота, не поглощаются отрицательно заряженными почвенными коллоидами и не образуют нерастворимых или слабо растворимых солей. Это в свою очередь приводит к их вымыванию из почвы и загрязнению водоемов. Потери нитратов особенно значительны на затопливаемых рисовых почвах. Оптимальным для питания растений считается соотношение аммонифицирующей и нитрифицирующей активности в почве 1,25–1,50.

Полученные в различных регионах Российской Федерации и за рубежом данные по влиянию минеральных удобрений на отдельные показатели биологической активности почв имеют противоречивый характер [26].

Наиболее ярким показателем биологической активности почвы служат ее аммонифицирующая и нитрифицирующая способности. Данные количественного определения их свидетельствуют о высокой потенциальной активности чернозема выщелоченного (табл. 158).

Таблица 158 – Интенсивность «дыхания», аммонифицирующая и нитрифицирующая активность чернозема выщелоченного

| Вариант | Слой почвы, см | Интенсивность «дыхания», мг CO ₂ за сут. на 100 г почвы | Аммонифицирующая активность, мг NH ₄ на 100 г почвы | Нитрифицирующая активность, мг NO ₃ на 100 г почвы | Соотношение аммонифицирующей активности к нитрифицирующей |
|---|----------------|--|--|---|---|
| Без удобрений | 0–20 | 36,5 | 10,1 | 5,3 | 1,9 |
| | 21–40 | 20,4 | 6,2 | 2,9 | 2,1 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 46,0 | 12,8 | 8,8 | 1,4 |
| | 21–40 | 26,2 | 7,0 | 3,5 | 2,0 |

В пахотном слое почвы активность процесса аммонификации значительно выше, чем в подпахотном. Это связано с уменьшением численности аммонифицирующих микроорганизмов и содержания органического вещества ниже пахотного ее слоя. В неудобренной почве процесс аммонификации протекает слабее, чем в удобренной: превышение в пахотном слое составляло 26,7 %, подпахотном – 12,9 %.

Характер изменений нитрифицирующей активности почвы был аналогичным ее аммонифицирующей: с глубиной она уменьшается, а под воздействием удобрений возрастает. Под влиянием вносимых на полях севооборота минеральных удобрений уменьшается соотношение аммонифицирующей и нитрифицирующей активности почвы: в пахотном слое на 0,5 единиц, подпахотном – 0,1 единиц.

Удобрения повышают напряженность биологических процессов в почве, оказывают заметное влияние на выделение ею диоксида углерода. На неудобренной почве интенсивность «дыхания» была значительно ниже, чем в удобряемой. Все это свидетельствует о том, что при выращивании сельскохозяйственных культур без применения удобрений, в почве создаются неблагоприятные условия для жизнедеятельности микрофлоры, в результате чего снижается ее активность, а, следовательно, и плодородие. Подтверждением этого могут служить данные о продуктивности севооборота [22].

Следует, в отношении термина «дыхание», несколько оговориться, т. к. лишь незначительная часть выделяемого почвой диоксида углерода образуется в процессе дыхания ее живой фазы. В почве широко развиты процессы декарбонизации, освобождающие большое количество свободного диоксида углерода, который составляет основное содержание выделяемого почвой диоксида углерода [28, 53, 112].

8.4.4.4 Амило-, протео- и целлюлозолитическая активность

Изменения интенсивности «дыхания» почвы коррелируют с амило-, протео- и целлюлозолитической активностью (табл. 159). По всей вероятности, действие микрофлоры на интенсивность «дыхания» оказалась существенным фактором, регулирующим общее направление биохимических процессов в почве.

Таблица 159 – Амило-, протео- и целлюлозолитическая активность чернозема выщелоченного

| Вариант | Слой почвы, см | Амилолитическая активность, мг крахмала на 1 г почвы за 24 ч | Протеолитическая активность, мг аминного азота на 1 г почвы за 24 ч | Целлюлозолитическая активность, мг целлюлозы на 100 г почвы за 24 ч |
|---|----------------|--|---|---|
| Без удобрений | 0–20 | 0,42 | 0,50 | 2,80 |
| | 21–40 | 0,21 | 0,34 | 0,96 |
| N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | 0–20 | 0,58 | 0,78 | 4,08 |
| | 21–40 | 0,28 | 0,52 | 1,25 |

Амилолитическая активность почвы различна на неудобренной и ежегодно удобряемой полях севооборота. Удобрения оказали положительное влияние на этот показатель: возрастает на 38,1 % в пахотном и на 33,3 % – в подпахотном слое.

Протеолитическая активность служит своеобразным индикатором интенсивности гидролиза почвенных протеинов, значительное количество которых входит в состав органического вещества. Высокая протеолитическая активность почвы может способствовать как улучшению азотного питания растений, так и возрастанию непроизводительных потерь азота.

Протеолитическая активность почвы была различной по изучаемым слоям почвы: падает с глубиной. Уменьшение на неудобренной почве составило 32,0 %, удобряемой – 28,8 %.

Систематическое внесение минеральных удобрений на полях севооборота привело к повышению протеолитической активности почвы на 56,0 % в пахотном, 52,9 % в подпахотном ее слоях. Усиление протеолитической активности объясняется усилением активности процесса минерализации органического вещества почвы.

Целлюлозолитическая активность почвы в значительной степени определяется интенсивностью аммонификации и нитрификации, т. к. целлюлозоразрушающие микроорганизмы для своего развития нуждаются в азоте. Высокая энергия процессов аммонификации и нитрификации, в результате которых возрастает содержание минеральных форм азота в почве, способствует увеличению численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов и их физиологической активности.

Интенсивность разложения целлюлозы наиболее высокая в пахотном 0–20 см слое почвы, в подпахотном 21–40 см слое оно значительно уменьшается. Связано это с недостатком кислорода для жизнедеятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов и более низким содержанием свежих целлюлозосодержащих остатков агроценоза ниже пахотного слоя почвы.

Целлюлозолитическая активность почвы выше на ежегодно удобряемом севообороте, чем на неудобряемом: на 45,7 % в пахотном, на 30,2 % в подпахотном слое.

Научно обоснованная система удобрения севооборота оказывает положительное влияние на биологическую активность чернозема выщелоченного. Усиливаются процессы аммонификации и нитрификации, повышается интенсивность «дыхания» почвы, усиливаются ее амило-, протео- и целлюлозолитическая активности. Указанные изменения наиболее четко выражены в верхнем 0–20 см слое, чем в 21–40 см слое почвы [112].

Выводы. Чернозем выщелоченный характеризуется высокой биогенностью. Максимальная численность микроорганизмов отмечена в пахотном 0–20 см слое почвы – $271 \cdot 10^6$ клеток в 1 г. В подпахотном 21–40 см слое их количество заметно снижается – $188,9 \cdot 10^6$ клеток в 1 г почвы. Доля бактерий, актиномицетов и грибов в общем микробоценозе пахотного слоя – составляла соответственно 63,6; 34,2 и 2,2 %, подпахотного – 52,3; 46,6 и 1,1 %. Научно обоснованная система удобрения сельскохозяйственных культур, применяемая в зерно-травяно-пропашном севообороте, отразилась на численности и видовом составе микрофлоры чернозема выщелоченного: возросла численность бактерий в пахотном слое на 10,9 %, подпахотном – 13,9 %. Под воздействием удобрений заметно увеличилась и заселенность почвы грибами: в пахотном слое на 62,7 %, подпахотном – 52,4 %. В то же время удобрения действовали депрессивно на актиномицеты. Их численность в пахотном и подпахотном слоях снизилась на 2,3 % и 2,6 % соответственно. Степень влияния удобрений на физиологические группы микроорганизмов различна. Наибольшее воздействие они оказали на заселенность почвы аммонифицирующими микроорганизмами, наименьшее – денитрифицирующими. Так в пахотном слое почвы численность аммонифицирующих, нитрифицирующих и денитрифицирующих микроорганизмов возросла на 47,9; 22,0 и 6,7 %, подпахотном – на 30,6; 21,7 и 1,2 % соответственно.

Удобрения усилили напряженность биологических процессов в черноземе выщелоченном: в пахотном слое возросла интенсивность «дыхания» на 26,0 %, аммонифицирующая и нитрифицирующая активности на 26,7 % и 66,0 %, подпахотном – соответственно на 28,4 %; 12,9 и 20,7 %.

Применяемые в севообороте удобрения оказали разнонаправленное влияние на энзиматическую активность чернозема выщелоченного: активность ферментов инвертазы, уреазы, каталазы, ферриредуктазы и полифенолоксидазы повысилась на 33,3%, 35,5, 21,9, 86,2, 45,0 % в пахотном слое и на 20,7 %, 36,5, 27,3, 97,6, 18,8 % в подпахотном, а фосфатазы, пероксидазы снизилась соответственно на 6,9, 5,6 % в пахотном слое и на 12,5, 10,0 % в подпахотном.

Изменения интенсивности «дыхания» чернозема выщелоченного коррелируют с амило-, протео- и целлюлозолитической активностью. Систематическое внесение удобрений на полях севооборота привело к повышению амило-, протео- и целлюлозолитической активности почвы на 33,3–38,1 %, 52,9–65,0 и 30,2–45,7 % соответственно. Наибольшие значения этих показателей соответствуют пахотному слою почвы.

8.4.5 Продуктивность агроценоза и эколого-агрохимическая эффективность удобрений

8.4.5.1 Продуктивность агроценоза

Основным критерием, характеризующим уровень плодородия почв, является урожай. В течение трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота на черноземе выщелоченном изучали влияние систематического внесения минеральных удобрений на его продуктивность.

Для оценки продуктивности севооборота при разном уровне насыщения его удобрениями был определен среднегодовой выход общей продукции с 1 га севооборотной площади, выраженной в зерновых единицах. Суммарная продуктивность севооборота без использования минеральных удобрений в первую ротацию составила 45,42 т/га зерновых единиц основной продукции, а во вторую и третью – выход продукции снизился соответственно на 1,28 и 6,42 т/га зерновых единиц (табл. 160). Применение даже половины рекомендуемой для культур севооборота нормы удобрений позволило повысить продуктивность пашни в первую, вторую и третью ротации севооборота соответственно на 12,68, 16,17 и 15,85 т/га зерновых единиц основной продукции.

Таблица 160– Суммарная продуктивность 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота, т/га зерн. ед.

| Ротация | Без удобрений | N ₈₇₀ P ₈₇₀ K ₅₈₀ | N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | N ₂₆₁₀ P ₂₆₁₀ K ₁₇₄₀ |
|---------|---------------|--|---|---|
| Первая | 45,42 | 58,10 | 75,34 | 68,53 |
| Вторая | 44,14 | 60,31 | 78,43 | 71,40 |
| Третья | 39,00 | 54,85 | 73,79 | 68,55 |

Максимальной продуктивности севооборот достигал при применении минеральных удобрений в оптимальном количестве, которая была выше, чем не удобряемый севооборот на 29,92, 34,29 и 34,79 зерновых единиц соответственно в первую, вторую и третью ротацию. Рост продуктивности от внесения повышенных количеств минеральных удобрений (N₂₆₁₀P₂₆₁₀K₁₇₄₀) изначально ниже, чем при внесении научно обоснованных норм, т. е. N₁₇₄₀P₁₇₄₀K₁₁₆₀. Это, по-видимому, обусловлено нарушением соотношения элементов питания в почве в связи с накоплением остаточных количеств фосфатов при неизменном калийном статусе и обеднении ее азотом.

В результате химического анализа растений и их урожая установлено, что систематическое применение удобрений создает благоприятные условия для усиления поступления элементов питания в корни, целенаправленного изменения физиолого-биохимических процессов, протекающих в растительном организме и регулирования в определенной степени не только величины, но и качества урожая культур севооборота. При этом степень влияния удобрений на биосинтез отдельных компонентов в растениях и накопление их в товарной части в значительной степени зависит от дозы и условий их внесения.

Минеральные удобрения оказали положительное влияние на качество урожая культур севооборота, увеличивая у пшеницы, кукурузы и сои содержание белка в зерне, подсолнечника – масла в семенах, сахарной свеклы – сахара в корнеплодах, люцерны – протеина в зеленой массе (табл. 161).

Таблица 161 – Качество растениеводческой продукции при длительном применении минеральных удобрений

| Вариант | Пшеница озимая | Куку- руза | Соя | Подсол- нечник | Свекла сахар- ная | Люцер- на | |
|---------|----------------|-----------------|-------|-------------------|-------------------------|--------------|------|
| | содержание, % | | | | | | |
| | белок | клейко- вина | белок | масло | сахар | протеин | |
| 000 | 11,3 | 17,4 | 8,3 | 29,7 | 53,9 | 14,0 | 16,6 |
| 111 | 11,7 | 18,1 | 8,6 | 31,2 | 54,0 | 17,1 | 17,2 |
| 222 | 13,3 | 20,3 | 9,6 | 32,8 | 56,9 | 18,7 | 18,0 |
| 333 | 13,7 | 21,7 | 8,8 | 32,0 | 54,8 | 15,7 | 18,8 |

В зависимости от насыщенности севооборота удобрениями у пшеницы озимой содержание белка в зерне повысилось на 0,4–2,4 %, клейковины – на 0,7–4,3 %. Под влиянием удобрений содержание белка в семенах кукурузы и сои возрастало на 0,3–1,3 и 1,5–3,1 % соответственно; повышение содержания масла в семенах подсолнечника составило 0,1–3,0 %. Сахаристость корнеплодов сахарной свеклы в зависимости от количества вносимых удобрений увеличивалась на 1,7–4,7 %. Удобрения повышали содержание протеина в зеленой массе люцерны на 0,6–2,2 %.

8.4.5.2 Окупаемость удобрений

Для установления агроэкологически целесообразной степени насыщения севооборота удобрениями была определена окупаемость удобрений прибавкой основной сельскохозяйственной продукции (табл. 162). Надо отметить, что произведенные расчеты дают несколько завышенные результаты, т. к. в длительном опыте к прямому действию удобрений присоединяется и их последствие.

Таблица 162 – Окупаемость 1 кг д. в. минеральных удобрений, кг зерн. ед.

| Ротация | N ₈₇₀ P ₈₇₀ K ₅₈₀ | N ₁₇₄₀ P ₁₇₄₀ K ₁₁₆₀ | N ₂₆₁₀ P ₂₆₁₀ K ₁₇₄₀ |
|---------|--|---|---|
| Первая | 5,56 | 6,44 | 3,32 |
| Вторая | 7,09 | 7,39 | 3,92 |
| Третья | 6,95 | 7,50 | 4,94 |

Окупаемость минеральных удобрений определяется прибавкой урожая и количеством внесенных удобрений, от которых она же и зависит. Самая высокая окупаемость – 6,44, 7,39 и 7,50 кг зерновых единиц на 1 кг действующего вещества полного минерального удобрения отмечена при их внесении из расчета N₁₇₄₀P₁₇₄₀K₁₁₆₀ за ротацию 11-польного севооборота, т. е. при оптимизации системы удобрения культур севооборота. При внесении как недостаточных количеств удобрений, так и высокой насыщенности ими севооборота окупаемость их была ниже. Следует обратить внимание, что повышенные количества удобрений нецелесообразны с точки зрения их эффективного использования. Это иллюстрирует и сокращение окупаемости 1 кг действующего вещества удобрений прибавкой урожая, которая в 1,5–1,9 раз ниже, чем при их применении в оптимальной норме.

8.4.5.3 Баланс биогенных элементов в системе удобрения-почва-урожай

С агроэкологической точки зрения критерием эффективности системы удобрения является баланс элементов питания в почве. Игнорирование баланса биогенных элементов питания растений в почве может привести к нарушению в почве оптимального соотношения между азотом и зольными элементами, что повлечет за собой снижение продуктивности культур севооборота. Д.Н. Прянишников [44] неоднократно в своих выступлениях указывал, что примерные подсчеты баланса азота, фосфора и калия за ротацию севооборота могут быть использованы для оценки системы удобрения и для выявления соответствия принятых систем удобрения задачам получения заданных уровней урожая.

Баланс биогенных элементов определялся уровнем насыщенности севооборота удобрениями и выносом их с урожаями культур (табл. 163).

Таблица 163 – Баланс азота, фосфора и калия по ротациям севооборота, кг/га

| Ротация | $N_{870}P_{870}K_{580}$ | $N_{1740}P_{1740}K_{1160}$ | $N_{2610}P_{2610}K_{1740}$ |
|---------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Азот | | | |
| Первая | -24,5 | -22,6 | +1,9 |
| Вторая | -31,5 | -24,8 | -16,0 |
| Третья | -32,6 | -26,0 | -14,8 |
| Фосфор | | | |
| Первая | -5,7 | +18,6 | +25,0 |
| Вторая | -10,7 | +7,8 | +30,7 |
| Третья | -12,9 | +10,2 | +31,5 |
| Калий | | | |
| Первая | -19,2 | -5,5 | +8,6 |
| Вторая | -26,5 | -14,7 | -11,6 |
| Третья | -28,7 | -16,9 | -14,0 |

Положительный баланс азота и калия имел место только при высокой насыщенности севооборота удобрениями – и то лишь в первой ротации. В последующие ротации он был отрицательным даже при внесении под культуры повышенных количеств ($N_{2610}P_{2610}K_{1740}$) удобрений.

Дефицит азота составлял 16,0 кг/га во вторую ротацию и 14,8 кг/га в третью, калия – 11,6 и 14,0 кг/га соответственно. В отличие от азота и калия, оптимальная норма применения удобрений ($N_{1740}P_{1740}K_{1160}$) обеспечивает положительный баланс фосфора. Превышение этой нормы сопровождается еще большим разрывом между его приходом и расходом. Баланс в почве биогенных элементов, складывающийся при применении удобрений в оптимальном количестве, указывает на необходимость совершенствования системы удобрения севооборота в Центральной агроклиматической зоне Краснодарского края [103, 112].

Выводы. Длительное применение минеральных удобрений в оптимальном для питания растений количестве ($N_{1740}P_{1740}K_{1160}$) на черноземе выщелоченном обеспечивает повышение общей продуктивности 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота.

При внесении удобрений из расчета $N_{1740}P_{1740}K_{1160}$ окупаемость 1 кг действующего вещества составляла 6,44, 7,39 и 7,50 кг зерновых единиц соответственно в первую, вторую и третью ротации.

Баланс биогенных элементов в почве, складывающийся при применении удобрений, указывает на необходимость совершенствования системы удобрения севооборота в Центральной агроклиматической зоне Краснодарского края.

Результаты эколого-агрохимического мониторинга стационарного опыта за три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота и критический анализ научных публикаций позволяют сделать следующее заключение.

Почва является основным средством сельскохозяйственного производства. Присущее ей свойство – плодородие используется в практике для производства сельскохозяйственной продукции, в которой нуждается человеческое общество. Но почва и ее плодородие находятся в динамике, в развитии и изменяются как в ходе естественных процессов – без освоения, так и, особенно, при освоении – при использовании в производственной деятельности людей.

Основоположник науки о почве профессор В.В. Докучаев очень четко подчеркнул динамичность почвы как природного тела, указав: «Почва, как и любой растительный и животный мир, вечно развивается и изменяется, то прогрессируя, то регрессируя». Определяя понятие почва, он указал, что под почвой понимается природное естественно-историческое тело, развивающееся под совокупным воздействием и взаимодействием факторов почвообразования – климата, растительного и животного мира, материнской и почвообразующей породы, рельефа, местности и возраста страны. В число факторов почвообразования в настоящее время включаются гидрология и производственная деятельность человека.

В своем фундаментальном труде «Почвы Ставрополя» М.Т. Куприченко [29] пишет: «Агрохимическая наука поистине совершила переворот в представлении о плодородии почв, когда на непродуктивных, малоплодородных землях стали получать рекордные урожаи сельскохозяйственных культур. Главными факторами при этом стали два оптимума: оптимальное увлажнение и оптимальное питание растений. Получается, что естественное плодородие отодвигается на второстепенный план, а созданное человеком, вложением труда и капитала (эффективное) – на передний.

Часто бытует мнение, что широкая химизация земледелия может вредить окружающей обстановке, её экологической ситуации. Но опыт многолетних стационаров и отдельных стран показывает, что даже длительное систематическое применение минеральных удобрений не вызывает снижения почвенного плодородия. Последнее, наоборот, даже возрастает за счёт обогащения фосфором и калием удобрений, за счёт большего количества поступающих в почву органических остатков и вследствие этого происходящей активизации микробиологической деятельности. Конечно, внесение физиологически кислых туков может вызывать подкисление почвенного раствора, снижение урожайности сельскохозяйственных культур, но это нежелательное явление легко устраняется известкованием кислых почв. Но получение высоких урожаев – не только дополнительная продукция для населения. С точки зрения почвоведов, чем выше урожаи, тем больше свежего органического вещества поступает в почву, тем более ёмким становится её биологический круговорот, тем скорее почва восстанавливает своё потенциальное плодородие (мощность, гумус, структурный состав и многое другое).

Мнение о том, что с ростом урожаев за счёт минеральных удобрений снижается качество продукции, также не отвечает действительности. Агро-

химики, физиологи растений, почвоведы располагают неоспоримыми данными, что на основании листовой диагностики вполне можно внесением азотных подкормок увеличить содержание белка в зерне озимой пшеницы и довести его до III класса. А внесением фосфора и калия можно повышать содержание крахмала в картофеле и сахара в свекле. Словом, вполне реально получать продукцию растениеводства с заданным химическим составом.

Поскольку с урожаями сельскохозяйственных культур выносятся большое количество химических элементов, главным образом азота, фосфора и калия, необходимо постоянное пополнение почв ими. Но чтобы грамотно использовать удобрения следует ежегодно подсчитывать их баланс.

При внесении в почву удобрений в ней повышается количество усвояемых растениями питательных веществ, то есть повышается её эффективное плодородие». Это выводы ученого-почвоведа за сорокалетний период исследований в области агрохимии почв.

Удобрения поддерживают активный баланс и круговорот питательных веществ в земледелии, что неразрывно связано с воспроизводством плодородия почвы. В естественных биоценозах достигается замкнутый цикл биогенных элементов, а в искусственных агроценозах происходит его разрыв в связи с отчуждением на получение урожая и значительными потерями при эрозии, инфильтрации и улетучивании. Удобрения воздействуют на весь круговорот биогенных элементов, который направляется по расширенной спирали. Они являются и в обозримом будущем будут оставаться одним из главных рычагов повышения продуктивности растениеводства. В настоящее время их применению нет разумной альтернативы.

Находящиеся в арсенале отдельных представителей партии зеленых и их последователей лозунги: «Минеральные удобрения причиняют колоссальный ущерб людям и окружающей среде», «Интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур привели к негативным изменениям свойств почв» не имеют никакой научной основы. Об этом еще более 2000 лет назад писал агроном античного Рима Юний Модерат Колумелла [23] в предисловии к трактату «О сельском хозяйстве»: «Я слышу, как часто у нас первые люди в государстве обвиняют то землю в бесплодии, то климат в давней губительной для урожая неравномерности. Некоторые даже как бы смягчают эти жалобы ссылкой на определенный закон; земля, по их мнению, усталая и истощенная роскошными урожаями старых времен, не в силах с прежней щедростью доставлять людям пропитание. Я уверен, что эти причины далеко отстоят от истины. Нечестиво думать, что природа, которую отец мира наделил вечным плодородием, постигнута как некой болезнью, бесплодием, и разумный человек не поверит, что земля, получившая в удел божественную и вечную юность и именуемая всеобщей матерью, потому что она и рождает все и будет рождать и впредь, состарилась, будто человек. Я думаю поэтому, что дело не в небесном гневе, а скорее в нашей собственной вине». В споре со своим современником писателем Скрофом Треллем, Колумелла восклицал, что «земля – это не устаревшая женщина, нет, это – дева, всегда юная, красивая, всегда свежая, молодая, всегда способная быть плодородною, если только уметь лелеять ее молодость, сохранять, поддерживать ее нежную, игривую жизнь». В заключение своего трактата он пишет: «Удобрение ликвидирует истощение почвы и создает условия для высоких и

устойчивых урожаев». В своем учении об удобрении Колумелла исходит из того положения, что для всякой земли, истомленной посевом, есть действенное средство: «Помоги ей навозом и восстанови, словно пищей, её утраченные силы».

Италия, как и 2000 лет тому назад, благодаря широкому применению агрохимических средств на высоком фоне агротехники, и сегодня получает высокие урожаи сельскохозяйственных культур без снижения уровня плодородия почв. Поэтому поиск приемов сохранения и воспроизводства плодородия почв за счет применения удобрений актуален.

Применение удобрений – один из разделов любого комплексного плана повышения плодородия почв. При нормальной системе земледелия, которая предусматривает сохранение почвенного плодородия, ежегодный вынос элементов питания с урожаем должен компенсироваться внесением удобрений. В силах и возможностях человека правильно организовать применение удобрений, способы, нормы и сроки их внесения с тем, чтобы сделать их безопасными и для себя, и для животных, и вообще для всей окружающей среды.

Сегодня, оценивая состояние почв, мы, прежде всего, для себя должны уяснить – чего мы хотим? Сохранить почву в первозданном, т. е. естественном состоянии как памятник природы природы или использовать ее как средство сельскохозяйственного производства? Решение первой части вопроса реально при исключении антропогенного воздействия на нее, а если мы хотим использовать почву как средство сельскохозяйственного производства, то необходимо воспроизводить ее плодородие. А это возможно лишь при высокой культуре земледелия, активной составляющей которой является экологически безопасная система удобрения.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое мониторинг окружающей среды?
2. Когда появился термин «мониторинг»?
3. Что является объектом мониторинга?
4. Какова цель мониторинга?
5. Какие выделяют ступени мониторинга?
1. Какова сущность экологизации сельского хозяйства?
2. Почему термин «экологически чистый продукт» получил широкое распространение в рыночной экономике?
3. В чем состоит сущность санитарно-гигиенической оценки сельскохозяйственной продукции?
4. Какова роль сельскохозяйственной экологии в производстве экологически чистых продуктов растениеводства и животноводства?
5. Каково значение мониторинга и экологической экспертизы в охране сельскохозяйственных экосистем от загрязнений?
6. Определите перспективы перевода сельского хозяйства на экологическую основу.

Литература

1. Агрохимия / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Агрохимэкодружество, 2017. – 854 с.
2. Алексеев А.А. Цинк и кадмий / Химия, тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах / А.А. Алексеев. – М: Изд-во МГУ, 1985. С. 26–76.
3. Алешин Е.П. Микрофлора почвы рисового поля при внесении микроудобрений / Е.П. Алешин, Н.С. Головкин, А.Х. Шейден, О.А. Досеева // Доклады ВАСХНИЛ. 1990. №11. С. 11–13.

4. Бурдин К.С. Основы биологического мониторинга / К.С. Бурдин. – М: МГУ, 1985. – 158 с.
5. Валяшко М.Г. О связи формы выделения боратов из растворов с величиной их рН / М.Г. Валяшко, Г.К. Годе // Журнал неорганической химии. 1960. Т. 5. Вып.6. С. 137–141.
6. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
7. Водяницкий Ю. Н. Химия и минералогия почвенного железа / Ю.Н. Водяницкий. – М.: Почв. инст. им. В. В. Докучаева, 2003. – 236 с.
8. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах / Г.П. Гамзиков. – Новосибирск: НовосГАУ, 2013. – 790 с.
9. Герасимов И.П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды / И.П. Герасимов / Известия АН СССР. Серия географ. 1975. №3. С. 13–25.
10. Герасимов И.П. Экологические проблемы в прошлой, настоящей и будущей географии земли / И.П. Герасимов. – М., 1985.
11. Гогмачадзе Г.Д. Агроэкологический мониторинг почв и земельных ресурсов Российской Федерации / Г.Д. Гогмачадзе. – М.: МГУ, 2010. – 592 с.
12. Емцев В.Т. Микробиология / В.Т. Емцев, В.К. Шильникова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 191 с.
13. Енкина О.В. Микробиологические аспекты сохранения плодородия черноземов Кубани / О.В. Енкина, Н.Ф. Коробской. – Краснодар: Агропромполиграфиздат, 1999. – 150 с.
14. Завалин А.А. Применение биопрепаратов и биологический азот в земледелии Нечерноземья / А.А. Завалин, Н.С. Алметов. – М.: ВНИИА, 2009. – 152 с.
15. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкала для оценки некоторых ее показателей / Д.Г. Звягинцев // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.
16. Зонн С. В. Железо в почвах / С.В. Зонн. – М.: Наука, 1982. – 208 с.
17. Зырин Н.Г. Микроэлементы в почвах и использование микроудобрений в виноградарстве / Н.Г. Зырин, В.А. Большаков, З.В. Пацукевич, Г.П. Стоилов, А.Ф. Скворцов, М.А. Горбатов. – М.: МГУ, 1972. – 271 с.
18. Зырин Н.Г. Формы соединений кобальта в почвах / Н.Г. Зырин, А.А. Титова / Содержание и формы соединений микроэлементов в почвах. – М: МГУ, 1979. С. 160–223.
19. Иванов А.Л. Агробιοгеохимический цикл фосфора / А.Л. Иванов, В.Г. Сычев, Л.М. Державин, С.Н. Адрианов, Н.В. Бражникова, Д.В. Карпова, А.И. Карпухин, Н.А. Кирпичников, В.Д. Конончук, А.Н. Самойлов. – М.: РАСХН, 2012. – 512 с.
20. Израэль Ю.А. Об оценке состояния биосферы и обосновании мониторинга / Ю.А. Израэль // Доклады АН СССР. 1976. Т. 226. №4. С. 955–957.
21. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю.А. Израэль. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 376 с.
22. Карабутов А.П. Гумусное состояние чернозема типичного в зависимости от интенсивности использования / А.П. Карабутов, Г.И. Уваров / Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны. Тез. докл. VII съезда общества почвоведов им. В. В. Докучаева. Часть 1. – М. – Белгород: Издат. дом «Белгород», 2016. С. 81–82.
23. Катон, Варрон, Колумелла, Плиний. О сельском хозяйстве. – М.: Госсельхозиздат, 1957. – 351 с.
24. Кашин В.К. Биогеохимия, физиология и агрохимия йода / В.К. Кашин. – Л.: Наука, 1987. – 261 с.
25. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирования агроландшафтов / В.И. Кирюшин. – М.: КолосС, 2011. – 443 с.
26. Круглов Ю.В. Биологические основы плодородия почвы / Ю.В. Круглов. – М.: Колос, 1984. – 252 с.
27. Куликов Я.К. Агроэкология / Я.К. Куликов. – Минск: Высшая школа, 2012. – 319 с.

28. Купревич В.Ф. Почвенная энзимология / В.Ф. Купревич, Т.А. Щербакова. – Минск: Наука и техника, 1956. – 275 с.
29. Куприченков М.Т. Почвы Ставрополя / М.Т. Куприченков. – Ставрополь: Став. краев. типография, 2005. – 424 с.
30. Либих Ю. Химия в приложении к земледелию и физиологии / Ю. Либих. – М.–Л.: Сельхозгиз, 1936. – 408 с.
31. Литвак Ш.И. Системный подход к агрохимическим исследованиям / Ш.И. Литвак. – М.: Агропромиздат, 1990. – 220 с.
32. Манн Р.Е. Основные принципы и критерии системы комплексного мониторинга / Р.Е. Манн // Комплексный, глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды: Тр. Межд. симпозиума. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. С. 15–18.
33. Матыченков В.В. Градация почв по дефициту доступного растениям кремния / В.В. Матыченков // Агрохимия. 2007. №7. С. 22–27.
34. Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии / В.Г. Минеев. – М.: МГУ, 1988. – 285 с.
35. Минеев В.Г. Агрохимия, биология и экология почвы / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремпе. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 206 с.
35. Минеев В.Г. Проблема тяжелых металлов в современной земледелии / Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах / В.Г. Минеев. – М., 1994. С. 5–11.
37. Мишустин Е.Н. Удобрения и почвенно-микробиологические процессы / Е.Н. Мишустин // Агрономическая микробиология. – Л.: Колос, 1976. – С. 191–203.
38. Мотузова Г. В. Экологический мониторинг почв / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова. – М.: Академический проект, 2007. – 237 с.
39. Муромцев Г.С. Микробиология в сельском хозяйстве / Г.С. Муромцев. – М.: Знание, 1975. – 64 с.
40. Навольнева Е.В. Гумусное состояние чернозема типичного в условиях агроценоза / Е.В. Навольнева, В.Д. Соловиченко, А.Г. Ступаков, М.А. Куликова // Белградский агромир. 2016. №3 (98). С. 31–32.
41. Орлов Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М.: МГУ, 1985. – 376 с.
42. Покатилов Ю.Г. Биогеохимия микроэлементов и эндемические болезни в Баргузинской котловине (Забайкалье) / Ю.Г. Покатилов. – Новосибирск: Наука, 1983. – 166 с.
43. Попов В.В. Контроль загрязнения почв тяжелыми металлами / В.В. Попов, Г.А. Соловьев // Химизация сельского хозяйства. 1991. № 11. С. 80–82.
44. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. В 3-х томах / Д.Н. Прянишников. – М.: Колос, 1965. Т. 1. – 767 с., Т. 2. – 708 с., Т. 3. – 640 с.
45. Савич В.И. Почвенная экология / В.И. Савич, Н.В. Парахин, В.Г. Сычев, А.П. Степанова, В.Т. Лобков, Х.А. Амергузин, А.Ю. Щербаков, Е.А. Романчик. – Орел: ОрелГАУ, 2002. – 546 с. 47
46. Седых В.А. Почвенно-экологический мониторинг / В.А. Седых, В.И. Савич, П.Н. Балабко. – М.: ВНИИА, 2013. – 584 с.
47. Соколов А.В. Географические закономерности эффективности удобрений / А.В. Соколов. – М.: Знание, 1988. – 42 с.
48. Соколовский А.Н. Сельскохозяйственное почвоведение / А.Н. Соколовский. – М.: Сельхозиздат, 1956. – 335 с.
49. Тонконоженко Е.В. Микроэлементы в почвах Кубани и применение микроудобрений / Е.В. Тонконоженко. – Краснодар: Кр. кн. изд-во. 1973. – 111 с.
50. Тонконоженко Е.В. Содержание бора и молибдена в почвах Краснодарского края / Е.В. Тонконоженко // Микроэлементы и микроудобрения. – Рига, 1982. С. 186–191. Федоров В.Д. К стратегии биологического мониторинга / В.Д. Федоров // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. 1974. №10. С. 7–14.
51. Федоров В.Д. К стратегии биологического мониторинга / В.Д. Федоров // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. 1974. № 10. С. 7–14.

52. Федоров В.Д. Экология / В.Д. Федоров, Т.Г. Гильманов. – М.: МГУ, 1980. – 464 с.
53. Шеуджен А.Х. Влияние микроэлементов на аммонифицирующую и нитрифицирующую активности почвы в условиях рисосеяния / А.Х. Шеуджен, О.А. Досеева, К.М. Авакян, Т.Ф. Бочко // Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине. – Самарканд, 1990. – С. 247–248.
54. Шеуджен А.Х. Изменение ферментативной активности почвы рисового поля под влиянием микроудобрений / А.Х. Шеуджен, Е.П. Алешин, О.А. Досеева // Доклады ВАСХНИЛ. 1991. № 8. С. 16–18.
55. Шеуджен А.Х. Калийный режим почвы при внесении микроудобрений под рис / А.Х. Шеуджен, Ю.А. Кузнецов // Химизация сельского хозяйства. 1991. №4. С. 19–21.
56. Шеуджен А.Х. Роль бора в жизни растений и применение борных удобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Н.Е. Алешин, Д.З. Долев, О.А. Досеева. – Майкоп: МСХ РА, 1995. – 39 с.
57. Шеуджен А.Х. Теория и практика применения микроудобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Е.П. Алешин. – Майкоп, 1996. – 313 с.
58. Шеуджен А.Х. Роль марганца в жизни растений и применение марганцевых удобрений и рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Н.Е. Алешин, О.А. Досеева, М.С. Хизириев. – Махачкала, 1997. – 32 с.
59. Шеуджен А.Х. Молибденовые удобрения на рисовых полях Кубани / А.Х. Шеуджен, В.В. Аношенков. – Краснодар, 1998. – 64 с.
60. Шеуджен А.Х. Ванадиевые удобрения на посевах риса / А.Х. Шеуджен, Р.И. Хачак. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2001. – 80 с.
61. Шеуджен А.Х. Применение серных удобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, А.Л. Беспалов // Рисоводство. 2001. №1. С. 70–74.
62. Шеуджен А.Х. Кремний и методы его определения / А.Х. Шеуджен, Т.Ф. Бочко, М.Х. Кемечева, С.А. Рябцова. – Майкоп: МГТИ, 2002. – 41 с.
63. Шеуджен А.Х. Кальций и методы его определения / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, К.П. Азарян, З.Н. Ткаченко. – Краснодар: КубГАУ, 2003. – 92 с.
64. Шеуджен А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
65. Шеуджен А.Х. Теория и практика применения кремниевых удобрений на посевах риса / А.Х. Шеуджен, М.Х. Кемечева, А.К. Шхапацев. – Майкоп: МГТИ, 2003. – 103 с.
66. Шеуджен А.Х. Железо в питании и продуктивности риса / А.Х. Шеуджен, В.В. Прокопенко, Т.Н. Бондарева, М.Н. Броун. – Майкоп ГУРИПП «Адыгея», 2004. – 152 с.
67. Шеуджен А.Х. Сера в питании и продуктивности риса / А.Х. Шеуджен, В.В. Прокопенко, А.Л. Беспалов, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2004. – 72 с.
68. Шеуджен А.Х. Агрохимия и физиология питания риса / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП, «Адыгея», 2005. – 1012 с.
69. Шеуджен А.Х. Кальций – дефицитный элемент питания растений ил почвах рисовых полей / А.Х. Шеуджен / Энтузиасты аграрной науки. – Краснодар: КубГАУ. 2005. Вып. 4. С. 136–141.
70. Шеуджен А.Х. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: Изд-во «Афиша». 2006. – 1075 с.
71. Шеуджен А.Х. Агрохимия микроэлементов в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Е.М. Харитонов, Х.Д. Хурум, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: «Афиша», 2006. – 248 с.
72. Шеуджен А.Х. Литий в питании и продуктивности риса / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, В.В. Аношенков, А.Ю. Тхагапсу. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2008. – 136 с.
73. Шеуджен А.Х. Агробιοгеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.
74. Шеуджен А.Х. Микроэлементы в системе рисового севооборота / А.Х. Шеуджен, Х.Д. Хурум. – Краснодар: ВНИИ риса, КубГАУ, 2011. – 363 с.
75. Шеуджен А.Х. Агрохимические основы применения удобрений / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2013. – 572 с.

76. Шеуджен А.Х. Биогеохимия селена / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, И.А. Лебедовский // Энтузиасты аграрной науки. Краснодар: КубГАУ, 2013. Вып. 15. С. 242–258.
77. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения удобрений на физико-химические свойства чернозема выщелоченного / А.Х. Шеуджен, М.А. Осипов, И.А. Лебедовский, С.В. Есипенко // Агрехимический вестник, 2013, № 6. С. 2–3.
78. Шеуджен А.Х. Азотный режим чернозема выщелоченного Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, Т.Н. Бондарева, О.А. Гуторова // Тр. КубГАУ. 2014. № 1(46). С. 114–120.
79. Шеуджен А.Х. Валовое содержание серы и формы ее соединений в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, В.Н. Слюсарев, Т.Н. Бондарева, О.А. Гуторова, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Плодородие. 2014. № 4. С. 29–30.
80. Шеуджен А.Х. Изменение содержания и качества гумуса при сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, Т.Ф. Бочко, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Проблемы агрохимии и экологии. 2014. № 2. С. 8–11.
81. Шеуджен А.Х. Калийный режим чернозема выщелоченного Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, Т.Н. Бондарева, Т.Ф. Бочко // Тр. КубГАУ. 2014. № 3(48). С. 125–430.
82. Шеуджен А.Х. Содержание и формы марганца в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, О.А. Гуторова, В.П. Суетов, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, Т.Н. Бондарева // Тр. КубГАУ. 2014. №6(51). С. 14–17.
83. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений меди в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза // А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, О.А. Гуторова, В.П. Суетов, И.А. Лебедовский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко / Тр. КубГАУ. 2014. №5(50). С. 106–110.
84. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений цинка в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Х.Д. Хурум, В.П. Суетов, И.А. Лебедовский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Тр. КубГАУ. 2014. №6(51). С. 38–41.
85. Шеуджен А.Х. Фосфорный режим чернозема выщелоченного Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, Т.Ф. Бочко, Т.Н. Бондарева // Тр. КубГАУ. 2014. № 2(47). С. 98–108.
86. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.
87. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения удобрений на содержание серы и трансформацию ее соединений на черноземе выщелоченном / А.Х. Шеуджен, В.Н. Слюсарев, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, О.А. Гуторова, Т.Н. Бондарева // Тр. КубГАУ, 2015. № 2(53). С. 173–177.
88. Шеуджен А.Х. Содержание и состояние железа в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, О.А. Гуторова, Н.С. Галай, И.А. Лебедовский, М.А. Осипов / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 107(3). – С. 967–983. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/03/pdA66.pdf>.
89. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений кальция в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Ф. Бочко, Л.М. Онищенко, Т.Н. Бондарева, М.А. Осипов, С.В. Есипенко //

- Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2015. №105(01) – Режим доступа://<http://ej.kubagro.ru/2015/01/f035.pdf>.
90. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений кобальта в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Х.Д. Хурум, В.П. Суетов, И.А. Лебедевский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // *Агрехимический вестник*. 2015. № 1, С. 9–11.
 91. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений магния в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Л.М. Онищенко, Т.Ф. Бочко, И.А. Лебедевский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // *Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ*. 2015. № 112(08) <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/124.pdf>.
 92. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений никеля в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Т.Н. Бондарева, И.А. Лебедевский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // *Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ*. 2015. №112(08). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/125.pdf>.
 93. Шеуджен А.Х. Титан в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, М.И. Корсунова, Т.Н. Бондарева, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // *Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ*. 2015. № 112(08). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/126.pdf>.
 94. Шеуджен А.Х. Агрехимия. Часть 3. Экспериментальная агрехимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 755 с.
 95. Шеуджен А.Х. Агрехимия. Часть 4. Фундаментальная агрехимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 529 с.
 96. Шеуджен А.Х. Агрехимия микроудобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен // *Плодородие*. – 2016. – №5 (92). – С. 22–27.
 97. Шеуджен А.Х. Валовое содержание бора и его формы в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Х.Д. Хурум, Е.А. Яковлева, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // *Тр. КубГАУ*. 2016. № 6(63). С. 107–111.
 98. Шеуджен А.Х. Плодородие и продуктивность чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений в севообороте // А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, В.П. Суетов, В.В. Дроздова, Т.Н. Бондарева, И.А. Лебедевский, С.В. Жиленко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, И.А. Булдыкова / *75 лет Географической сети опытов с удобрениями. Матер. Всер. сов. науч. учреждений участников Георг. сети опытов с удобрениями (5 октября 2016 г.)*. – М: ВНИИА, 2016. С. 326–336.
 99. Шеуджен А.Х. Содержание валового кремния и доступных растениям его форм в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Т.Ф. Бочко, Л.М. Онищенко, И.А. Лебедевский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // *Тр. КубГАУ*. 2016. № 1(58). С. 179–184.
 100. Шеуджен А.Х. Теория и практика применения микро- и ультрамикроудобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2016. – 380 с.
 101. Шеуджен А.Х. Фосфор и методы его определения / А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Т.Н. Бондарева, Н.И. Аканова. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 236 с.
 102. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения минеральных удобрений на плодородие чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, Т.Н. Бондарева, В.В. Дроздова, И.А. Лебедевский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // *Агрехимия*. 2017. №5. С. 3–11.
 103. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения минеральных удобрений на продуктивность и плодородие чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, И.А. Лебедевский, В.В. Дроздова, Т.Н. Бондарева,

- М.А. Осипов, В.П. Суетов, С.В. Жиленко, С.В. Есипенко // Энтузиасты аграрной науки. – Краснодар: КубГАУ. 2017. Вып. 18. С. 61–75.
104. Шеуджен А.Х. Калий и методы его определения / А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Х.Д. Хурум, Т.Н. Бондарева, Н.И. Аканова. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2017. – 192 с.
105. Шеуджен А.Х. Микрофлора и биологическая активность чернозёма выщелоченного при длительном применении минеральных удобрений / А.Х. Шеуджен, О.А. Гуторова, Х.Д. Хурум, И.А. Лебедовский, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко, Р.В. Штуц // Энтузиасты аграрной науки. – Краснодар: КубГАУ. 2017. Вып. 18. С. 227–246.
106. Шеуджен А.Х. Микрофлора чернозема выщелоченного при длительном применении минеральных удобрений / А.Х. Шеуджен, С.А. Кольцов, О.А. Гуторова, И.А. Лебедовский, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Межд. научн.-исслед. журнал. 2017. № 2–2 (56). С. 89–94.
107. Шеуджен А.Х. Селеновые удобрения на посевах риса / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, И.А. Дорошев, С.В. Есипенко. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2017. – 92 с.
108. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений ванадия в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агроценоза / А.Х. Шеуджен, М.И. Корсунова, Т.Н. Бондарева, О.А. Гуторова, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Тр. КубГАУ, 2017. №6(69). С. 207–212.
109. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений молибдена в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, Х.Д. Хурум, И.А. Лебедовский, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Тр. КубГАУ. 2017. №1(64). С. 157–162.
110. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений свинца в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза // А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, В.П. Суетов, И.А. Лебедовский, М.А. Осипов, В.О. Безсонов / Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. № 130(06). <http://ej.kubagro.ru/2017/06/pdf/59.pdf>
111. Шеуджен А.Х. Ферментативная активность чернозема выщелоченного при длительном применении минеральных удобрений / А.Х. Шеуджен, С.А. Кольцов, О.А. Гуторова, И.А. Лебедовский, Л.М. Онищенко, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Наука Кубани. 2017. №1. С. 35–39.
112. Шеуджен А.Х. Агробиогеохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2018. – 308 с.
113. Шильников И.А. Проблема снижения подвижности тяжелых металлов при известковании / И.А. Шильников, Н.И. Аканова // Химия в сель. хоз-ве. 1995. № 4. С. 20–32.
114. Шмук А.А. Динамика режима питательных веществ в почве. Труды. Т. 1 // А.А. Шмук. – М.: Пищепромиздат, 1950. – 372 с.
115. Ягодин Б.А. Содержание микроэлементов цинка и кобальта в почве и растениях в зависимости от применения удобрений / Б.А. Ягодин, И.В. Тищенко // Вест. с.-х. науки. 1978. №3. С. 42–50.
116. Munn R.E. Global Environmental Monitoring System (GEMS). Action Plan I. SCOPE Report 3. – Toronto, Canada, 1973. – 130 p.

9. УДОБРЕНИЯ И БИОСФЕРА

Рассматривая связь среды обитания с организмами, необходимо отметить и ее другую сторону. За миллиарды лет живое вещество планеты «привыкло» к определенным химическим (геохимическим) и физическим (геофизическим) условиям обитания на земной поверхности. Резкие изменения этих условий приведут к гибели значительной части одних организмов и мутагенным изменениям других. В любом случае это грозит людям болезнями и гибелью. В последние десятилетия эти проблемы стали выдвигаться в число основных, стоящих перед человечеством.

В.А. Алексеенко, Л.П. Алексеенко, 2002

Органические и минеральные удобрения, применяемые в качестве средств интенсификации земледелия, по химическому составу не инородны живой природе и рациональное их использование становится мощным фактором ее развития, однако поступление в природную среду большого количества бытовых, промышленных и животноводческих стоков нарушает равновесие и является источником загрязнения почв.

Э.Г. Дегодюк, 1981

Земледелие – один из наиболее древних видов человеческой деятельности, которой человек занимается уже более 10 тысяч лет. При этом важно подчеркнуть, что земледелие охватывает практически все природные пояса и зоны планеты, за исключением климатически экстремальных полярных пустынь. За исторический период значительная часть суши прошла через земледельческое использование, что привело к изменению экологических условий среды обитания человека. Самое первое влияние земледелия на природную среду и самое значительное по объему – это уничтожение естественной растительности на огромной площади и замена ее агроценозами. Б.Г. Розанов[34] выделяет следующие главные биосферные эффекты этого действия:

- 1) замена большого видового разнообразия растений, адаптированных к варьирующим природным условиям, на небольшое количество специфических «тепличных» видов;
- 2) резкое снижение устойчивости фитоценозов к неблагоприятным воздействиям окружающей среды (засухи, заморозки, переувлажнение, вспышки вредителей и болезней) в результате их смены одновидовыми сообществами;
- 3) снижение общей биологической продуктивности и биомассы на суше земного шара;
- 4) изменение природного биологического круговорота веществ и изъятие из него существенной массы химических элементов;
- 5) изменение природного радиационного и водного баланса обширных территорий;
- 6) изменение гидрологического режима крупных территорий;
- 7) уничтожение природных местообитаний животных;
- 8) загрязнение атмосферы, гидросферы и педосферы;
- 9) деградация и потери почвенного покрова;

10) нарушение эволюционно сложившихся связей организмов биосферы и замена их новыми связями.

Изменение биологического круговорота веществ при замене экосистем агроэкосистемами приводит в общепланетарном масштабе и к изменению геологического круговорота веществ. Вовлечение химических элементов в биологический круговорот после распашки территорий по сравнению с исходным состоянием в среднем на одном гектаре в лесной зоне возросло на 17 %, в лесостепной – уменьшилось на 17 % и в степной – уменьшилось почти в три раза: одновременно их вынос в геологический круговорот возрос соответственно в 2,8 и 10 раз. Особенно разительные перемены произошли при распашке целинных степей на черноземах: годовое поступление в почву органического вещества здесь сократилось в 13 раз, азота – 13, фосфора – 2,5, калия – 4, кальция – 35, магния – 36, серы – 15 раз. Естественно, такие радикальные изменения не могли не сказаться на состоянии круговорота веществ в экосистемах, особенно если к этому добавить и развившуюся эрозию почв [34].

С урожаем сельскохозяйственных культур ежегодно из почвы отчуждается значительная часть биогенных элементов. Следовательно, для жизнедеятельности растений и формирования нового урожая необходимо их систематическое пополнение. Оно осуществляется посредством внесения в почву минеральных и органических удобрений. Внесением удобрений можно целенаправленно регулировать процессы обмена веществ в растениях, способствовать накоплению в урожае основных ингредиентов пищи человека и животных – белков, жиров, углеводов, витаминов. Около 50 % общей прибавки урожая обеспечивается за счет удобрений, 25 % – сортности семян и 25 % – агротехнологий. Повышение урожая достигается в значительной мере, именно, в результате применения минеральных удобрений (табл. 164).

Таблица 164 – Эффективность применения минеральных удобрений

| Культура | Урожайность, ц/га | |
|------------------|-------------------|---------|
| | без удобрений | НPK |
| Пшеница | 10–15 | 20–70 |
| Кукуруза (зерно) | 10–15 | 35–75 |
| Рис | 10–15 | 30–80 |
| Сахарная свекла | 100–120 | 200–500 |
| Хлопчатник | 10–15 | 25–30 |

Наиболее интенсивно удобрения используются в Европе, где площади сельскохозяйственных земель относительно невелики. По данным ФАО прибавка урожая зерновыми на 1 кг азота составляет 8,5–20,0 кг, фосфора – 6,9–8,2 и калия – 2,0 – 4,6 кг. Следовательно, применение минеральных удобрений – один из важнейших приемов повышения продуктивности и плодородия почвы. Однако, с другой стороны, их применение повысило нагрузку на почвы, микроорганизмы, растения в агроценозах и агроландшафтах в целом. Тем не менее, значение минеральных удобрений во всем мире настолько велико и очевидно, что едва ли можно принимать всерьез мнения «алармистов» о запрещении их применения. Принятие такого рода предложений вызвало бы

катастрофическое сокращение производства продовольствия и привело бы к настоящему голоду во многих странах. Речь может идти не об отказе от минеральных удобрений, а лишь об соблюдении регламента их применения.

Одна из причин возникновения экологической напряженности в экосистеме в процессе химизации земледелия – общие потери питательных веществ из удобрений, которые по разным оценкам достигают 30 % и более от объема производства минеральных удобрений. При этом потери складываются [44] из:

– физических потерь при транспортировке удобрений от завода до поля из-за неготовности технических средств к их перевозке;

– миграционных потерь элементов питания из удобрений за счет поверхностного и внутрипочвенного смыва;

– аккумуляции в почве при передозировке (например, хемосорбции фосфора) и неравномерном внесении (до 40 % площади может оставаться неудобренной по причине снижения сыпучести удобрений и сегрегации при внесении, изношенности средств механизации и других подобных причин) агрохимикатов.

Загрязнение природной среды удобрениями происходит по следующим причинам [23–25]:

1) несовершенство технологии транспортировки, хранения, тукоsmешивания и внесения удобрений;

2) нарушение норм и сроков их применения;

3) водная и ветровая эрозия почв;

4) несовершенство качества минеральных удобрений;

5) интенсивное использование промышленных и бытовых отходов в качестве удобрений без контроля их химического состава.

Потери отдельных элементов питания в результате эрозии почвы бывают различными в зависимости от характера использования сельскохозяйственных угодий, крутизны склонов и интенсивности орошения. Недобор урожая из-за вымывания элементов питания на слабосмытых почвах составляет 10–12 %, среднесмытых – 30–50, а на сильносмытых – 60–80 %. В связи с этим постоянно возрастающее применение удобрений требует более детального представления о содержании элементов питания в почвах. Установлено, что вымывание из почвы катионов подчиняется следующей закономерности: $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > NH_4^+$, анионов – $Cl^- > NO_3^- > PO_4^{2-}$.

Потери удобрений при транспортировке, хранении и внесении в почву достигают 10–15 %. Из-за несовершенства форм самих удобрений и нарушения технологии их применения ежегодно с одного гектара пашни теряется 80–110 кг азота, 5–10 – фосфора и 60–70 кг калия. В среднем по сельскохозяйственным культурам усвоение растениями из удобрений азота составляет 40–50 %, фосфора – 10–20, калия – 50–60 %. Это вынуждает сельхозтоваропроизводителей вносить заведомо завышенные количества минеральных удобрений для получения запланированных урожаев. Но, увеличивая нормы, следует иметь в виду, что это приводит не только к еще большим потерям элементов питания, но и к снижению эффективности использования их растениями из удобрений. Вот почему вопросы применения удобрений следует тесно увязывать с изучением трансформации их в почве, со всей системой почва–удобрение–растение. С одной стороны, внесение удобрений должно обеспечить оптимальный уровень корневого питания растений, а с другой –

необходимо это сделать с минимальными «издержками» для экосистемы. Следовательно, перед агрохимиками стоит задача разработать высокоэффективную и экологически сбалансированную систему применения удобрений, адаптированную к конкретным почвенно-климатическим условиям, которая должна базироваться на объективных данных круговорота и баланса элементов питания с учетом их миграции [3, 46, 51].

Одной из причин низких коэффициентов использования растениями элементов питания удобрений является их неравномерное распределение по полю, вследствие чего одни растения получают избыточное, а другие – недостаточное количество элементов питания. Это приводит к неодинаковому росту и развитию растений, снижению количества и качества продукции, причем, чем концентрированнее удобрение, тем больше потери урожая. Особенно неудовлетворительно вносятся смеси, приготовленные из удобрений с неоднородным гранулометрическим составом. Оптимальный, с точки зрения усвоения элементов питания, размер гранул минеральных удобрений находится в пределах 1,5–3 мм. Такие гранулы удобны для распределения их и туковыми сеялками, и разбрасывателями.

В системе применения удобрений необходимо правильно определить нормы и соотношения элементов питания, выбрать оптимальные формы удобрений, сроки и способы их внесения. Избыточное, несбалансированное, с нарушением правил агротехники их внесение снижает количество и качество урожая, вызывает заболевания растений, делает растениеводческую продукцию опасной для потребителя. Чрезмерно высокие нормы удобрений могут привести к загрязнению поверхностных и грунтовых вод, аккумуляции в них нитратов, нитритов, сульфатов, хлоридов и тяжелых элементов в концентрациях, превышающих предельно допустимые. Чрезмерное повышение концентрации элементов питания в водоемах вызывает усиленное размножение планктона, разрастание прибрежной флоры, что постепенно приводит к сокращению площади зеркала водной поверхности, обмелению, заилению, а также гибели водных организмов из-за дефицита растворенного в воде кислорода. Опасность загрязнения окружающей среды в значительной степени зависит от вида удобрений.

Высокоэффективное использование удобрений требует комплексного эколого-агрохимического подхода к изучению закономерностей минерального питания растений, круговорота и баланса питательных веществ в системе почва–растение–удобрение. При этом требуется не только экономическая, но и экологическая оценка, которая включает несколько аспектов [20, 44]:

- 1) загрязнение окружающей среды балластными веществами, вносимыми с агрохимическими средствами;
- 2) влияние удобрений на физические, химические и физико-химические свойства почвы и их комплекс, обуславливающее изменение генетической принадлежности и состояния плодородия, направленности процессов почвообразования;
- 3) влияние агрохимических средств на биогеоценозы, а также на экологическую обстановку в целом, в т. ч. на качество растительной продукции;
- 4) взаимосвязь масштаба и скорости влияния агрохимических средств на свойства почв и загрязнение среды в целом со свойствами почв, данными им от природы.

Несмотря на все агрохимические и технологические приемы снижения непроизводительных потерь применяемых минеральных и органических удобрений, коэффициенты их использования растениями все же остаются невысокими, значительная часть действующего вещества удобрений теряется, попадая в нижележащие горизонты почв, почвообразующие породы, грунтовые и поверхностные воды, загрязняя источники питьевой воды.

9.1. Последствия нарушения регламента применения агрохимических средств

Не надо ничего бояться, но надо знать суть опасности.

С.С. Юфит, 2002

Сорняки – это те растения, польза от которых еще не известна.

Гилберт Честертон (1874–1936)

9.1.1. Минеральные удобрения

Азотные удобрения. Азот в жизни планеты играет столь же существенную роль, что и углерод, лишь несколько уступая последнему в биофильности (биофильность углерода 780, азота 160) [30, 53]. Азоту принадлежит ведущая роль в повышении урожая сельскохозяйственных культур. При внесении азотных удобрений усиливается рост не только надземных органов растений, но и корневой системы. Это сопровождается, в свою очередь, накоплением в почве большого количества корневых остатков, которые обогащают ее органическим веществом, способствуют разрыхлению и улучшению водно-физических свойств. В то же время, при несбалансированном применении азотные удобрения могут воздействовать на агроэкосистему и в нежелательном направлении. Все формы азотных удобрений в почве трансформируются в нитраты. Эта самая опасная форма в смысле загрязнения окружающей среды [17, 55].

Негативные последствия вмешательства человека в биогеохимический цикл азота при нерациональном применении азотных удобрений проявляются в следующем [25, 44,55]:

- избыточном накоплении нитратов и нитритов в растениеводческой продукции;
- избыток нитратов, попадая в водные источники, приводит к эвтрофикации водоемов и ухудшению качества подземных вод;
- снижении биологической фиксации азота, биологический азот замещается техногенным, кроме того, при промышленной фиксации азота затрачивается большое количество воды и других энергоносителей, а также происходит загрязнение природной среды отходами и побочными воздействиями производства.

Накопление нитратов растениями является их ответной метаболической реакцией на изменение режима минерального питания и неблагоприятных погодных условий, возникающей на определенных этапах онтогенеза. Высокое содержание нитратов в растениях свидетельствует либо об избыточной обеспеченности их азотом, либо о низкой степени восстановления нитратов в их тканях.

В.И. Титова [44] к причинам образования и накопления нитратов и нитритов в растениях относит:

– нарушение деятельности редуктаз из-за отсутствия некоторых микроэлементов (Mo, Cu, Fe, Mn и др.) и контролируемых ими ферментов, что приводит к задержке цепи реакций «аммиачный азот – нитратный азот – нитритный азот» и далее к накоплению нитратов и нитритов в растениях;

– нарушение синтеза углеводов, необходимых в качестве источника органических кислот, что приводит к активизации дезаминирования аминокислот с образованием аминов и амидов – второго компонента реакции нитрозирования;

– нарушение синтеза углеводов, необходимых как энергетический материал для восстановления нитратов, что приводит также к их накоплению;

– отсутствие или недостаток в растениях веществ, способных связывать нитриты: витамина С (при этом соотношение витамина С и NO₂ более чем 2 : 1 рассматривается как хорошее), крахмала, клетчатки, серосодержащих аминокислот (метионина, лизина, треонина);

– недостаток калия, особенно при высоком содержании азота в питательной среде, что приводит к угнетению углеводного обмена растения, а также дефицит фосфора и молибдена, который ведет к нарушению синтеза белковых веществ.

Нитраты не связываются в почве и свободно перемещаются по ее профилю с гравитационной и капиллярной водой. Они являются непременным атрибутом круговорота азота в природе и необходимой частью азотного питания растений. Нитраты были, есть и будут, даже если полностью отказаться от применения удобрений. Главное, чтобы содержание их в воде и продуктах питания не превышало ПДК (табл. 165).

Таблица 165 – Предельно допустимая концентрация нитратов в растительной продукции, мг/кг

| Продукция | Открытый грунт | Защищенный грунт |
|--------------------------|----------------|------------------|
| Картофель | 250 | – |
| Капуста кочанная: ранняя | 900 | – |
| поздняя | 500 | – |
| Томаты | 150 | 300 |
| Огурец | 150 | 400 |
| Свекла столовая | 1400 | – |
| Морковь ранняя | 400 | 400 |
| поздняя | 250 | – |
| Лук репчатый | 80 | – |
| Лук на перо | 600 | 800 |
| Листовые овощи | 2000 | 3000 |
| Перец сладкий | 200 | 400 |
| Кабачки | 400 | 400 |
| Яблоки, груши | 60 | – |
| Дыни | 90 | – |
| Арбузы | 60 | – |
| Виноград | 60 | – |

Факторы, влияющие на размеры накопления нитратов в растениях, можно условно разделить на внешние и внутренние. К внешним факторам относят климатические параметры. Например накопление нитратов в растениях может быть вызвано торможением биосинтеза сложных органических соединений, ско-

рость образования которых зависит от интенсивности освещения, температуры и влажности воздуха и почвы. Чем менее благоприятны погодные условия, тем большая вероятность накопления в растениях нитратов до токсического уровня при применении азотных удобрений в повышенных дозах. Значительное влияние на их содержание в продукции оказывают чередование культур в севообороте, виды механической обработки почвы, несбалансированная обеспеченность растений элементами питания. К факторам, влияющим на накопление нитратов в продукции относятся [5]: продуктивность фитоценоза, нитрификационная способность и рН почвы, внесение минеральных и органических удобрений, содержание биогенных элементов в почве. Разные формы азотных удобрений неодинаково влияют на содержание нитратов в растениях. Наиболее резко оно увеличивается при внесении в почву удобрений, содержащих нитратные формы азота, например аммонийной или кальциевой селитры. Внесение мочевины повышает содержание нитратов в растениях в меньшей мере. Применение фосфорно-калийных удобрений в некоторой степени снижает отрицательное действие аммонийной селитры. Это объясняется тем, что фосфор и калий способствуют более быстрому восстановлению нитратов в растениях до аммиака [18, 19].

Обеспечение сбалансированного питания растений имеет особенно важное значение для культур защищенного грунта, выращиваемых в условиях полного их обеспечения азотом. К значительному накоплению нитратов в плодах первых сборов приводят частые азотные подкормки при нарушении соотношения элементов питания в системе удобрения и дефиците микроэлементов. Азот интенсивно поглощается растениями из питательного субстрата, однако из-за недостатка углеводов в листьях он не полностью включается в метаболизм и накапливается в свободной форме. Там, где подкормки азотом сочетают с внесением других биогенных элементов питания, в растениях меньше накапливается нитратов. Из микроэлементов для регулирования уровня содержания нитратов в растениях наибольшее значение имеет молибден. Этот элемент входит в состав нитратредуктазы и, следовательно, принимает непосредственное участие в ферментативном восстановлении нитратов. Молибден увеличивает поглощение растениями азота из почвы и повышает скорость его использования на синтез белка. В процессах восстановления нитратов выявлена также важная роль железа, меди, марганца, бора, серы и других микроэлементов. Их недостаток в почве усиливает накопление нитратов [32].

Одной из причин увеличения содержания нитратов в растениях является загрязнение почв тяжелыми элементами, которое сопровождается подавлением активности фермента нитратредуктазы.

Внутренними факторами, определяющими размер накопления нитратов, являются биологические и сортовые особенности культур. Так, по мере созревания концентрация нитратов в овощах определяется в значительной степени биологическими особенностями сортов, которые по накоплению в них нитратов могут различаться в 2–5 раз.

Если поступление нитратов в растения зависит в основном от содержания азота в почве, то дальнейшее превращение их в аминокислоты и белки, как было уже отмечено, определяется главным образом условиями освещения. Интенсивность света обуславливает в значительной степени активность фермента нитратредуктазы, ответственного за восстановление нитратов, поступающих в растения, до

аммиачной формы. При низкой освещенности нитраты не полностью превращаются в аминокислоты, поэтому в выращенных зимой тепличных овощах накапливается больше нитратов, чем в растениях открытого грунта (табл. 166; [18]).

Таблица 166 – Содержание нитратов в овощах, мг/кг сырой массы

| Культура | Открытый грунт | Теплица |
|----------------|----------------|-----------|
| Салат кочанный | 230–3290 | 1570–6610 |
| Кресс-салат | 630–2430 | 2430–4630 |
| Кольраби | 360–2950 | 900–4380 |
| Редис | 80–3880 | 1080–4530 |
| Редька | 300–3770 | 2920–4960 |

В некоторых овощах при пасмурной погоде избыточное количество нитратов накапливается даже при невысоком содержании азота в почве. По условиям освещения наиболее важен период перед уборкой овощей: чем больше солнечных дней в это время, тем ниже содержание в них нитратов.

Процессы трансформации азота в почве и поступления нитратов в растения зависят также от температуры. Повышение температуры способствует накоплению нитратов. Это связывают с усилением процесса минерализации органического азота почвы. Повышение активности нитратредуктазы при увеличении солнечной активности – процесс, идущий в противоположном направлении – не приводит к нейтрализации первого. По наблюдениям, проведенным в условиях жаркого климата Средней Азии, воздействие высоких температур сдерживает вовлечение нитратов в процесс образования сложных органических соединений. В этих климатических условиях пасмурная погода, наоборот, благоприятствует получению продукции с содержанием нитратов, не превышающим нормы. Изменение режима влажности и температуры может приводить к колебаниям в содержании нитратов в растениях, выращиваемых при одинаковом уровне азотного питания [32].

Экспериментальные данные о влиянии различных уровней влагообеспеченности на накопление нитратов в растениях показывают, что при дефиците влаги в почве содержание нитратов в растениях возрастает, а при низкой освещенности и резких перепадах температуры в еще большей степени. Количество нитратов и нитритов в растениях может повышаться в результате обработки их гербицидами.

Максимальное количество нитратов, не причиняющее вред человеку, составляет 3,6 кг NO₃ на 1 кг массы тела, т. е. в расчете на среднюю массу тела человека 60–70 кг – 200–220 мг NO₃ в сутки. Попадая с пищей и питьевой водой в организм животных и человека, нитраты после соответствующих превращений – нитриты, нитрозоамины, нитрозоамиды – переводят двухвалентное железо, содержащееся в гемоглобине крови, в трехвалентное. Образующееся при этом соединение – метгемоглобин не способно к переносу кислорода. В результате происходит ухудшение снабжения организма кислородом. От недостатка последнего человек чувствует удушье, становится вялым, кожа приобретает голубоватый оттенок, интенсивность дыхания и сердцебиение повышаются. Пороговой дозой нитрит-иона, вызывающей достоверное повышение концентрации метгемоглобина в крови человека, является примерно 0,05 мг/кг массы тела. При замещении 20 % гемоглобина у людей наблюдается анемия, а

при замещении 80 % наступает летальный исход. У крупного рогатого скота при избытке нитратов в питьевой воде или в корме наблюдается увеличение абортос, снижение молочной продуктивности, неподвижность, хромота. В целях охраны здоровья населения Всемирной организацией здравоохранения установлены нормы по потреблению нитратов и нитритов, которые не должны превышать для нитратов 200 мг, а для нитритов 10 мг/день. Предельно допустимые концентрации нитратов в питьевой воде не должны быть более 22 мг/л в умеренных широтах, а в тропиках, где потребление воды больше, 10 мг/л.

Применение повышенных норм азотных удобрений под кормовые культуры чревато опасностью накопления в кормах нитратов в количествах, токсичных для животных. Скармливание таких кормов приводит к снижению продуктивности животных, нарушению воспроизводительной функции, а в некоторых случаях – и к падежу скота. Единого мнения о допустимом количестве нитратов в кормах и о предельно допустимой их концентрации для животных нет. Большинство исследователей считают критическим уровень нитратов в корме (в пересчете на $N-NO_3$) 0,07–0,20% сухого вещества корма, что соответствует 0,3–0,9% NO_3 или 0,5–1,5 % KNO_3 [19].

В обзоре В.Ф. Вракина и И.С. Ковальчука [5] приводятся данные, полученные на животноводческих комплексах, где изучали вопросы накопления нитратов в кормах при внесении повышенных норм азотных и органических удобрений и влияния нитратов на организм животных и качество продукции. В результате анализа и обобщения полученных данных установлено, что содержание нитратов в организме животных находилось в прямой зависимости от концентрации их в корме. Повышенное количество нитратов в рационе коров сопровождалось увеличением концентрации нитратов и мочевины в крови животных, ухудшением качества молока и приготовленных из него молочных продуктов. Сгущенное молоко, выработанное из молока коров опытных групп, получило худшую оценку по показателю консистенции, вкусу и запаху.

На основании полученных экспериментальных данных с целью получения от животных продуктов высокого качества и сохранения их здоровья, рекомендовано использовать рационы с содержанием в сухом веществе нитрата калия: для коров – не более 0,25%, молодняка крупного рогатого скота старше 6 месяцев – 0,15%, кур – 0,12%, цыплят-бройлеров – 0,10%.

На ранних фазах развития в растениях обнаруживают наибольшее содержание нитратов, по мере старения растений оно снижается. Это необходимо учитывать при переходе животных на пастбищное содержание весной [19].

Потери азота удобрений наносят большой ущерб сельскому хозяйству. Они настолько велики, что в среднем каждый четвертый азотно-туковый завод работает вхолостую. Растения используют из минеральных удобрений 35–60% азота, 20–30% его закрепляется в почве, часть вымывается из корнеобитаемого слоя и до 20–30% теряется в газообразной форме вследствие процессов денитрификации, аммонификации и нитрификации [3, 23–25].

А.В. Постников (1982) установил, что из пахотных почв Российской Федерации азот вымывается главным образом в районах с избыточным увлажнением и меньше – на почвах с периодически промывным режимом (табл. 167). При внесении азотных удобрений в избыточных количествах не только возрастают потери азота удобрений, но и отмечаются факты повышенного накопления нитратов в растениеводческой продукции и питьевой воде.

Таблица 167 – Вероятные потери азота из почв в результате вымывания

| Экономический район, республика, область | КУ* Р/Е ₀ | Потери, % | | Пахотные почвы, % | | Воз- мож- ные поте- ри, % | Вероя- тность влаж- ных лет, % | Вымы- вание с учетом вероят- ной влаж- ности | Внесе- но азо- та с удоб- рения- ми, тыс. т | Потери азота при вы- мыва- нии, тыс. т | Площадь пашни, тыс. га | Потери азота, пашни, кг/га |
|---|-------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|-------------|---------------------------------------|--|--|---|--|------------------------------|-------------------------------------|
| | | на тяже- лых почвах | на легких почвах | тяже- лые | лег- кие | | | | | | | |
| Россия в целом | – | – | – | – | – | – | – | (2,85) | 3156 | 90 | 131267 | 0,7 |
| Нечерноземная зона | – | – | – | – | – | – | – | (5,75) | 1270 | 73 | 30789 | 2,4 |
| Северо-Западный | >1,33 | 6 | 30 | 64 | 36 | 14,6 | 85 | 12,4 | 210 | 26 | 3501 | 7,4 |
| Центральный | 1,00–1,33 | 5 | 25 | 83 | 17 | 8,4 | 60 | 5,0 | 625 | 31 | 14571 | 2,1 |
| Волго-Вятский | – | 4,7 | 23,5 | 87 | 13 | 7,1 | 55 | 3,9 | 286 | 11 | 7571 | 1,5 |
| | – | – | – | – | – | – | – | (1,13) | 362 | 4,1 | 10693 | 0,4 |
| Центрально-Черноземный: | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Курская | 0,77–1,15 | 4,3 | 21,5 | 98 | 2 | 4,6 | 45 | 2,1 | 71 | 1,5 | 1968 | 0,8 |
| Липецкая | 0,77–1,15 | 4,3 | 21,5 | 98 | 3 | 4,6 | 45 | 2,1 | 51 | 1,1 | 1647 | 0,7 |
| Тамбовская | 0,77–1,15 | 4,3 | 21,5 | 98 | 2 | 4,6 | 45 | 2,1 | 69 | 1,5 | 2265 | 0,7 |
| Поволжский: | – | – | – | – | – | – | – | (0,89) | 462 | 4,1 | 29439 | 0,1 |
| Пензенская | 0,77–1,15 | 4,3 | 21,5 | 97 | 3 | 4,8 | 45 | 2,2 | 60 | 1,3 | 2528 | 0,5 |
| Татарстан | 0,77–1,15 | 4,3 | 21,5 | 84 | 16 | 7,1 | 45 | 3,2 | 89 | 2,8 | 3752 | 0,8 |
| Уральский: | – | – | – | – | – | – | – | (2,03) | 237 | 4,8 | 17572 | 0,3 |
| Пермская | 1,00–1,33 | 5 | 25 | 95 | 5 | 6,0 | 60 | 3,6 | 47 | 1,7 | 2061 | 0,8 |
| Екатеринбургская | 1,00–1,33 | 5 | 25 | 98 | 2 | 5,4 | 60 | 3,2 | 57 | 1,8 | 1531 | 1,2 |
| Удмуртия | 0,77–1,33 | 4,5 | 22,4 | 90 | 10 | 6,3 | 45 | 2,8 | 46 | 1,3 | 1555 | 0,8 |
| Западно-Сибирский: | – | – | – | – | – | – | – | (0,95) | 190 | 1,8 | 19456 | 0,1 |
| Томская | 1,00–1,33 | 5 | 25 | 99 | 1 | 5,2 | 60 | 3,1 | 21 | 0,7 | 671 | 1,0 |
| Тюменская | 0,66–1,33 | 4,3 | 21,5 | 93 | 7 | 5,5 | 45 | 2,5 | 43 | 1,1 | 1719 | 0,6 |
| Дальневосточный | 1,33 | 6 | 30 | 98 | 2 | 6,5 | 85 | 5,5 | 128 | 7 | 3071 | 2,3 |

КУ – коэффициент увлажнения; Р – осадки; Е₀ – испаряемость; цифры в скобках – усредненные данные по регионам. Прочерк означает, что усредненные по большому региону показатели в расчетах не использовались.

При современном уровне применения азотных удобрений и их ассортименте, характерной особенностью которого является рост концентрации действующего вещества, увеличивается нагрузка азотных туков на почву и возрастает вероятность усиления потерь азота почвы и удобрений. Для сохранения и воспроизводства природных ресурсов наиболее актуальными проблемами являются рациональное использование почв и охрана агроценозов, борьба с потерями азота во всех звеньях его хозяйственно-биологического круговорота.

Накопление нитратов в сельхозпродукции в большой степени зависит от нормы и сроков внесения азотных удобрений, от освещения и длины светового дня, а также времени посева семян. Доля азотных удобрений среди всех названных факторов, влияющих на накопление нитратов, составляет 50 %. Их внесение усиливает интенсивность денитрификационных процессов и приводит к улетучиванию азота. Потери азота удобрений в виде оксида диазота (N_2O) могут достигать 50 %. Оксид диазота, образуемый в результате денитрификации, способен разрушать озоновый слой атмосферы предохраняющий поверхность Земли от прямого попадания губительных для всего живого ультрафиолетовых лучей. Окисляясь озоном, полуоксид азота присоединяет молекулу воды и образует азотную и азотистую кислоты, которые выпадают с атмосферными осадками.

При внесении повышенных норм азотных удобрений, особенно физиологически кислых, усиливается миграция по профилю почвы гуминовых и фульвокислот, катионов кальция и магния, нарушается питание растений калием. Потери кальция и магния, их миграция также увеличиваются при внесении удобрений, содержащих нитраты и хлориды. Эти анионы не удерживаются почвенным поглощающим комплексом, их вымывание сопровождается выносом из пахотного слоя почвы эквивалентного количества катионов кальция, магния и других элементов, необходимых растениям.

Высокие нормы азотных удобрений снижают использование азота почвы, подавляя азотфиксацию свободноживущими почвенными микроорганизмами и клубеньковыми бактериями. При внесении высоких норм азотных удобрений значительно усиливается минерализация природных запасов органических азотистых соединений, в результате которой могут оказаться неиспользованными избыточные количества минерального азота, образованного в результате минерализации органического вещества. Из почвы может теряться в газообразной форме до 75 % азота, внесенного с удобрениями. Кроме того, необходимо отметить, что с азотными удобрениями в почву поступает определенное количество балластных веществ, в т. ч. тяжелые элементы, такие как свинец, кадмий, медь и цинк. Таким образом, одностороннее применение азотных удобрений представляет большую опасность для окружающей среды.

Вклад почвенного азота в общий нитратный азотный пул биомассы растений достигает 75 и даже 99% (табл. 168). При внесении N_{30} аккумуляция нитратов за счет почвенного азота колебалась в зависимости от биологических особенностей культуры в пределах 92–98%. Повышение уровня азотного питания увеличивало роль одноименных удобрений в формировании нитратного пула растений. Доля азота минеральных удобрений в процессах аккумуляции нитратов в продукции более всего возросла при внесении N_{240} , в кочанах капусты она достигала 33%. Из этих данных видно, что, управляя производственным процессом с помощью экзогенного азотного питания, можно существенно воздействовать на суммарную величину нитратного фонда.

Таблица 168 – Роль источников азотного питания в накоплении нитратов в овощах и картофеле

| Культура | Вариант | Аккумуляция нитратов в продукции, % | |
|-----------|---|-------------------------------------|-------------------|
| | | за счет почвенных ресурсов | за счет удобрений |
| Томат | P ₉₀ K ₉₀ (фон) | 100 | 0 |
| | Фон+N ₃₀ | 92 | 8 |
| | Фон+N ₉₀ | 81 | 19 |
| Огурец | P ₈₀ K ₆₀ (фон) | 100 | 0 |
| | Фон+N ₆₀ | 94 | 6 |
| Салат | P ₆₀ K ₆₀ (фон) | 100 | 0 |
| | Фон+N ₃₀ | 93 | 7 |
| | Фон+N ₆₀ | 83 | 17 |
| Капуста | P ₁₂₀ K ₁₂₀ (фон) | 100 | 0 |
| | Фон+N ₂₄₀ | 67 | 33 |
| Картофель | P ₆₀ K ₆₀ (фон) | 100 | 0 |
| | Фон+N ₃₀ | 98 | 2 |
| | Фон+N ₉₀ | 93 | 7 |

Снизить содержание нитратов в биомассе за счет регуляции исключительно экзогенного азотного питания не всегда удастся. Нитраты, аккумулирующиеся в растениях, согласно компартментной модели О.А. Соколова [39], находятся в метаболическом и запасном фондах. Нитраты метаболического фонда активно включаются в обменные процессы, вследствие чего их количество постепенно снижается, тогда как нитраты запасного фонда менее доступны и их количество может оставаться довольно стабильным в течение длительного периода. Однако, если сорт обладает специфической особенностью интенсивно использовать азот, доля запасного нитратного фонда значительно снижается, что имеет значимость в решении экологических проблем.

Комплексная оценка процессов нитратонакопления в растениях, произведенная В.М. Назарюком [26], показала, что их интенсивность обусловлена взаимодействием ряда природных и антропогенных факторов, которые можно представить в виде блок-схемы (рис. 23).

Показатели, характеризующие процессы интенсивной аккумуляции нитратов в продукции, – пишет В.М. Назарюк [26], – взаимосвязаны и взаимообусловлены. Природное воздействие связано с гидротермическими условиями и уровнем почвенного плодородия. Антропогенное влияние, вызывающее избыток нитратов в растениях, обусловлено отклонениями в соблюдении требований к агротехническим мероприятиям, недостаточно правильным подбором сортов для конкретных почвенно-климатических условий, недоучетом биологических особенностей культуры, нарушениями в питании азотом и другими зольными элементами. Показатели нитратонакопления в должной мере отражают как интенсивность воздействия отдельного фактора, так и вклад главных блоков (почва, удобрение, физиологически активные вещества и сорбенты, генотип растения) в регуляцию процессов нитратонакопления в растениях. Практически все представленные на схеме антропогенные

факторы, связанные с избыточным накоплением нитратов в продукции, можно в значительной степени использовать для регуляции азотного питания и, как следствие, для управления азотным обменом в растениях, чтобы не допускать ухудшения качества урожая. Наиболее сильное воздействие на аккумуляцию нитратов в продукции оказывают избыточные дозы азотных удобрений, генотип сорта и биологические особенности культуры. При этом, если культуру и сорт можно подбирать только перед посевом, то азотное питание поддается регуляции в течение всего вегетационного периода. Это позволяет оперативно вмешиваться в ход продукционного процесса растений и регулировать тем самым аккумуляцию нитратов в продукции.

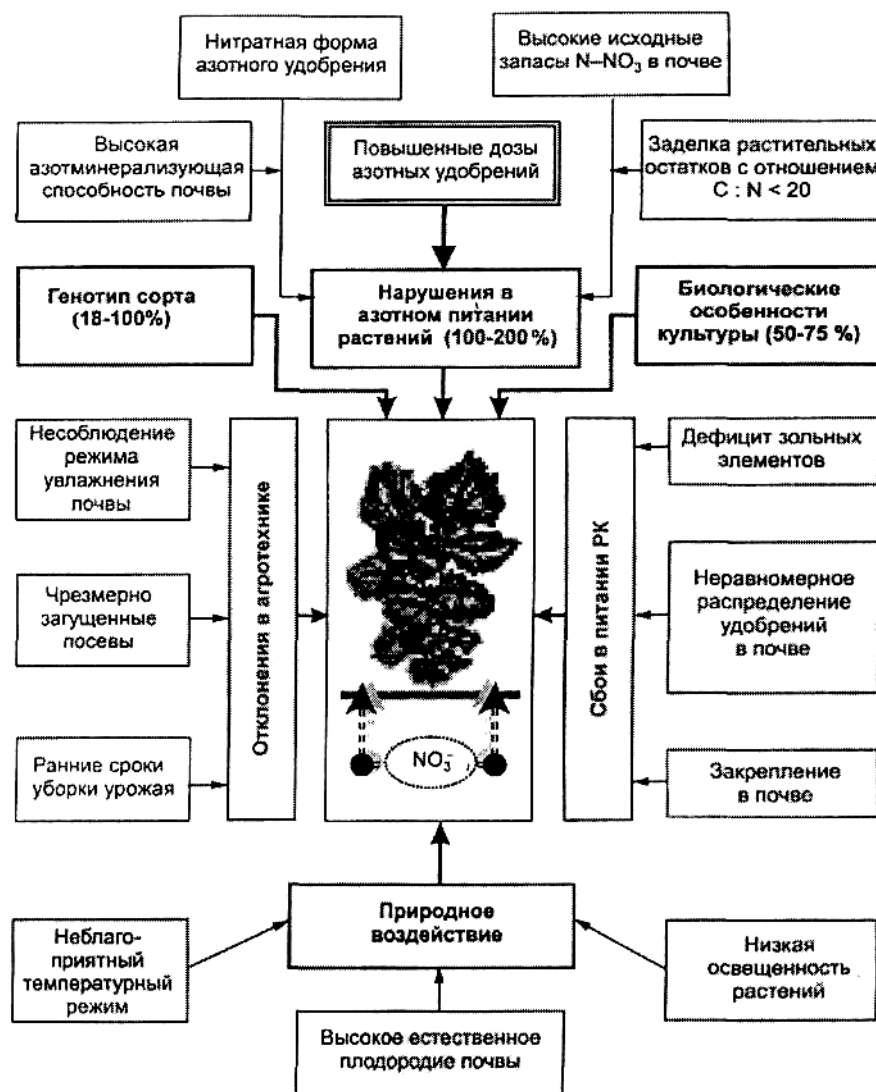


Рисунок 23 – Факторы, влияющие на аккумуляцию нитратов в растениях. В скобках даны изменения в содержании нитратов

«Проблема азота, – писал В.А. Ковда [15], – горячо дискутируется учеными и производственниками. Растущая потребность человечества в азотных удобрениях неизбежна и должна быть удовлетворена возможно быстрее. Но культура (формы, технология, агротехника) их производства и применения должна быть радикально реформирована и улучшена. Эмиссия соединений азота транспортно-энергетическим хозяйством должна в ближайшие же годы быть максимально сокращена. Однако конкретное осуществление всех этих противоречивых мероприятий на национальном и региональном уровнях потребует громадной научной, опытной и производственной исследовательской работы. Особенно необходимы уточненные достоверные цифры баланса азота и форм его соединений в разных регионах и в целом на планете. Это следует делать на основе регулярных измерений и наблюдений на станциях с использованием почвенно-геохимических (ландшафтных) карт достаточно детального масштаба».

Фосфорные удобрения. Фосфор входит в состав протоплазмы клетки, хромосом, витаминов, ферментов; участвует в азотном, нуклеиновом и углеводном обменах. С химическими реакциями фосфатов связана энергетика живой клетки. Человек не может двигаться, питаться, размножаться, дышать и мыслить без того, чтобы в его организме не происходили многочисленные процессы, в которых активно участвует этот элемент. Недаром один из основоположников отечественной геохимии, академик А.Е. Ферсман, назвал фосфор «элементом жизни и мысли» [цит по: 14].

Фосфор входит в состав знаменитой агрохимической тройки элементов; азота, фосфора и калия, сочетание которых в удобрении «NPK» позволяет его называть, правда весьма условно, «полным удобрением» [38]. Без фосфорных удобрений невозможно получать необходимые урожаи сельскохозяйственных культур. Основные запасы фосфора находятся в горных породах земной коры, в донных отложениях вод Мирового океана, в гумусовом горизонте почв. Большая часть этого элемента в земной коре представлена разновидностями апатита и главным образом фторапатитом $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$. В числе наиболее распространенных фосфатов, образующих залежи фосфоритов осадочного происхождения, преобладают так называемые карбонат-апатиты, имеющие следующий состав $\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3\text{OH})_3\text{F}$. Известные ныне мировые запасы месторождений фосфатов весьма ограничены и могут удовлетворять потребности земледелия не более 100 лет. Д.Н. Прянишников [33] в своей статье «О значении фосфатов для нашего земледелия и о расширении возможностей непосредственного применения фосфатов» писал: «Как бы правильно ни хранился и применялся навоз, он не может вернуть почве того, чего он сам не содержит, т. е. крупной доли фосфора, отчужденного из хозяйства в проданном зерне, костях животных, в молоке и пр.; таким образом, почва постепенно, но неуклонно теряет свой фосфор (или, по крайней мере, его усвояемую часть), и за известным пределом фосфор попадает в положение того «минимального фактора», которого наиболее недостает для получения хорошего урожая, как это совершенно правильно было подмечено еще Либихом».

Относительная необратимость круговорота фосфора в биосфере, значение его в жизнедеятельности растений, ограниченность мировых запасов элемента на суше выдвинули проблему фосфора на одно из первых мест для человека. В последние 50–100 лет характер распределения и миграции фосфора в биосфере резко нарушен человеком в результате его экономической деятельности, а именно [15]:

– мобилизации фосфора из агроуд и шлаков, производства и применения удобрений в сельском хозяйстве;

- производства фосфорсодержащих препаратов и использования их в быту, индустрии и земледелии;
- производства громадных количеств фосфорсодержащего продовольствия и кормов, вывоз и потребление их в зонах концентрации населения;
- развития рыбного и китобойного промыслов, добычи морских моллюсков, водорослей и потребления их на суше, что влечет за собою перераспределение биогенных фосфатов с океана на сушу.

В результате произошла и продолжается фосфатизация педосферы. Этот процесс, т. е. увеличение содержания фосфора в окружающей нас среде, проявляется неравномерно. Территории индустриально развитых и густонаселенных стран, импортирующих агроруды, сырье, продовольствие, характеризуются общим увеличением соединений фосфора в окружающей среде. Территории стран, экспортирующих органические продукты и не применяющих удобрений, теряют запасы фосфора в своих почвах.

Валовой запас фосфора в почвах небольшой – 0,1–0,2 % P_2O_5 , и представлен он на 10–20 % соединениями, доступными для питания растений, 50–60 % малодоступными и 20–40 % практически недоступными.

При высоких урожаях сельскохозяйственных культур из почв выносятся 30–60 кг/га фосфора. Притока соединений фосфора в почвы в виде атмосферных выпадов или биогенной фиксации из воздуха не существует, исключая пыль. Поэтому даже самые плодородные почвы без применения фосфорных удобрений через 40–50 лет использования сильно истощаются, и урожаи на них постепенно снижаются. Дефицит фосфора в почвах для растений усиливается низкой доступностью его из нерастворимых соединений и необратимой фиксацией в почве самого элемента, которая достигает величин порядка – 500–1800 мг/кг. Следовательно для получения высоких урожаев необходимо вносить фосфора на 15–20 кг/га больше, чем его вынос [15].

Проблема фосфора в земледелии заключается не только в необходимости повышения эффективности его использования растениями из удобрений и сокращения непродуцированных потерь, но и в поиске возможностей перевода малоподвижных фосфатов самой почвы в доступные для растений. В этом направлении определенный интерес представляет применение микоризных грибов, воздействие на микрофлору почвы путем регулирования ее биологического режима посредством минеральных удобрений, а также совершенствования структуры севооборотов с учетом неодинаковой способности к использованию почвенных фосфатов разными культурами.

Фосфор минеральных удобрений, заделанных в почву, практически не передвигается в ней и прочно закрепляется почвенными коллоидами за счет химического и обменного поглощения. При внесении P_{35-100} содержание подвижного фосфора в почве повышается на 1 мг/100 г. Среднегодовая скорость его перемещения вглубь почвенного профиля не превышает 0,2–0,5 мм. Вынос фосфора с фильтрационными водами, как правило, находится в диапазоне 0,05–0,5 кг/га. Фосфор, внесенный с удобрениями в пахотный слой почвы, образует с алюминием, железом и кальцием малорастворимые соединения, причем связывается до 90 % внесенного фосфора, что защищает его от вымывания. Даже при поверхностном внесении удобрения вымывание фосфора незначительно и не превышает 1 % внесенной нормы. Высокая способность глинистых и суглинистых почв связывать фосфаты в водонерастворимые комплексы

удерживает его от миграции по профилю, тем более до грунтовых вод. Систематическое внесение фосфорных удобрений приводит к накоплению в почве остаточных фосфатов в усвояемой форме – в среднем 22,6 % от внесенного их количества. Значительная часть фосфора с почвенными частицами сбросными и фильтрационными водами переносится в водоемы и вызывает усиленную их эвтрофикацию. Наиболее нежелательным последствием эвтрофикации является чрезмерное развитие водорослей в водоемах. Цветение воды в результате бурного развития водорослей возникает при концентрации фосфора в воде свыше 0,1 мг/л. Нужно заметить, что эвтрофикация – это естественный процесс. Без элементов питания водные растения не могут расти и не могут существовать рыбы, питающиеся этими растениями. Важно, чтобы эвтрофикация не достигала размеров, вызывающих гибель жабродышащих животных.

Особенно интенсивно выносятся фосфор в весенний период со вспаханных полей, где почва не защищена растительным покровом или оставшейся с осени стерней. Фосфор отчуждается с них преимущественно с твердым стоком (>90%), а с засеянных озимыми культурами – в растворенном виде (около 80%). Внесение под озимые культуры фосфорных удобрений приводит к увеличению удельных потерь фосфора в растворенном виде в 1,5 раза по сравнению с неудобренными полями, а потери с твердым стоком практически не меняются. Однако главным источником загрязнения природных вод этим элементом являются не минеральные удобрения, а детергенты, которые в больших количествах находятся в сточных водах населенных пунктов. Детергенты включают немалое количество натриевой соли триполифосфорной кислоты, которая в процессе, например, стирки белья не распадается и почти полностью переходит в сточные воды. На долю детергентов приходится около 50 % всех избыточных поступлений фосфора в окружающую среду. Другим источником поступления фосфора в водоемы и дренажные воды являются отходы животноводческих ферм. При их скоплении и неправильном хранении они являются источниками загрязнения орто-и полифосфатами [40, 46].

Большое количество фосфора поступает в водоемы в результате эрозии почвы. Смыв с поверхности почвы миллиметрового слоя сопровождается потерей от 14 до 34 кг/га фосфора. Миграция этого элемента в водоемы увеличивается в условиях орошаемого земледелия, а также весной, в результате эрозионных процессов. Значительный вред приносят и пыльные бури. Так, одна буря способна перенести до 25 км³ почвы, а все реки нашей планеты сносят за год в Мировой океан около 12 км³ твердых веществ [15].

Противоэрозионные меры являются основным путем устранения потерь фосфора удобрений и, следовательно, загрязнения природных вод. Удержанию фосфора удобрений в наземных экосистемах способствует научно обоснованная система удобрения: сроки, способы и нормы внесения, а также формы фосфорных удобрений.

Фосфор относительно легко поддается выделению из сточных вод. Их очистка позволяет практически полностью исключить его из статей поступления в водоемы. Больше того, после механического удаления фосфорсодержащих частиц, химической и биологической обработок сточных вод, фосфор относительно легко возвращается в биологический круговорот при использовании продуктов очистки в качестве удобрений.

Туковая промышленность выпускает фосфорные удобрения в форме орто- и полифосфатов. Разница в действии этих удобрений связана с большей по-

движностью последних, со способностью полифосфатов образовывать растворимые комплексные соединения с катионами почвенного раствора. Полифосфаты образуются и в результате минерализации органического вещества почвы. Они найдены в повышенных количествах в почвенной микрофлоре. Полифосфаты как удобрения переводят в раствор связанные с органическим веществом элементы. Разрушение органического комплекса почвы, перевод его в подвижные формы и вынос – явления, опасные с экологической точки зрения, т. к. усиливают миграционные процессы. Результаты лизимитрического опыта с хроматотграфическими колонками показали, что с атмосферными осадками фосфора терялось в 6 раз больше из почвы, удобренной полифосфатом аммония. При этом фосфор находился главным образом в конденсированной форме, т. е. в полиформе. Из почвы, удобренной ортофосфатом аммония, миграция фосфора в форме комплексов практически отсутствовала. Важно отметить, что в состав мигрирующих комплексов помимо фосфора входит и ряд других элементов питания, что может приводить к дефициту их в почве для растений [40, 46].

Экологические последствия загрязнения водоемов фосфором не ограничиваются лишь их эвтрофикацией. Фосфорные удобрения при длительном и интенсивном применении также могут быть источниками загрязнения почв и растений фтором. Это объясняется тем, что более 50% фтора, поступающего с фосфатным сырьем, остается в удобрениях в форме легко растворимых солей.

Фтор – эссенциальный ультрамикрэлемент. В фосфорных рудах он является естественной примесью, поэтому его количество в удобрениях зависит от исходного сырья и технологии его переработки. Сырьем для производства фосфорных удобрений служат природные залежи апатитов и фосфоритов (табл. 169; [21, 42]).

Таблица 169 – Химический состав фосфорного сырья различных месторождений

| Месторождение | Содержание, % от массы | | | | | | |
|--|-------------------------------|------|------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|------|
| | P ₂ O ₅ | CaO | MgO | CO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | F |
| Хибинское (Кукисвучорр, Юкспор) | 39,0 | 52,0 | 0,15 | - | 0,2 | 0,7 | 0,95 |
| Ковдорское (Мурманская обл.) | 35,3 | 53,5 | 2,5 | 7,0 | 0,7 | 0,7 | 1,1 |
| Ошурковское (Республика Бурятия) | 37,6 | 50,2 | 0,5 | 2,9 | 1,8 | 1,8 | 2,8 |
| Фосфоритные руды | | | | | | | |
| а) пластовые (Каратау, Казахстан) | | | | | | | |
| Чулактау, Джанатас | 28,3 | 43,8 | 2,0 | 5,4 | 0,9 | 0,9 | 2,6 |
| Кокджон, Коксу | 25,0 | 40,7 | 3,1 | 7,5 | 1,0 | 1,15 | 2,3 |
| Аксай, Джанатас | 23,5 | 42,0 | 3,5 | 8,0 | 2,5 | 1,5 | 2,2 |
| б) желваковые | | | | | | | |
| Вятско-Камские (Кировская обл.) | 28,1 | 44,5 | - | 6,3 | 3,3 | 0,9 | 2,7 |
| Егорьевское (Московская обл.) | 28,5 | 43,2 | - | 5,0 | 4,0 | 1,5 | 2,9 |
| Полпинское (Брянская обл.) | 20,5 | 31,7 | 1,4 | 4,2 | 1,9 | 1,5 | 2,5 |
| в) оболочковые ракушечниковые | | | | | | | |
| Прибалтийские Кингисеппское (Ленинградская обл.) | 29,0 | 43,5 | 2,7 | 6,2 | 1,4 | 0,5 | 3,0 |
| Маарду (Эстония) | 29,0 | 42,1 | 1,0 | 3,5 | 1,8 | 1,0 | 2,7 |
| Тоолсе (Эстония) | 29,6 | 44,8 | 1,8 | 3,6 | 2,6 | - | 3,0 |

Апатиты – породы эндогенного происхождения, часто кристаллизуются с нефелином и другими минералами. В чистом минерале содержание фосфора (P_2O_5) достигает 42%. Эмпирическая формула апатита $Ca_5(PO_4)_3F$. Фторид кальция может замещаться хлоридом, карбонатом, гидроксидом.

Фосфориты – осадочная порода, кристаллических и аморфных кальциевых фосфатов с примесью кварца, глинистых частиц и других минералов. Фосфорная кислота в фосфоритах представлена соединениями типа фторапатита $[Ca_3(PO_4)_2]_3 \cdot CaF_2$ и гидроксил-apatита $[Ca_3(PO_4)_2]_3 \cdot Ca(OH)_2$. Фосфориты отличаются от апатитов большей пористостью частиц и обладают мелкокристаллической структурой. Общий недостаток залежей фосфоритов в нашей стране – низкая концентрация фосфора и высокое содержание балластных элементов.

Фосфоритные месторождения по геотектоническому положению разделяют на платформенные и геосинклинальные. Различают фосфориты: 1) желваковые (конкреционные) в виде окатанных камней; 2) пластовые (массивные), представляющие слитую массу, и 3) зернистые ракушечниковые.

Содержание фтора, в фосфорных удобрениях зависит не только от месторождения исходного сырья, но и от технологии его переработки. В среднем апатитовый концентрат содержит около 3% фтора, а фосфоритовый из Кара-Тау – 2,8%. В фосфоритах сибирских месторождений содержится большее количество фтора (табл. 170; [41]).

Таблица 170– Химический состав фосфатного сырья

| Месторождение | Содержание, % от массы | | | | | | | | | | |
|---------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|-----|-----------------|-----|-------------------|------------------|-----------------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CuO | MgO | MnO | SO ₃ | F | Na ₂ O | K ₂ O | CO ₂ |
| Белкинское | 19,6 | 10,8 | 5,2 | 26,4 | 0,8 | 0,2 | 0,01 | 2,1 | 0,3 | 0,7 | 2,03 |
| Телекское | 33,5 | 9,6 | 6,0 | 21,3 | 2,2 | 0,4 | 0,03 | 2,1 | 0,7 | 1,1 | 2,51 |
| Обладжанское | 3,6 | 2,1 | 1,2 | 45,9 | 4,0 | 0,1 | 0,11 | 3,0 | 0,4 | 0,3 | 14,3 |
| Сейбинское | 25,7 | 2,3 | 4,2 | 35,2 | 3,7 | 0,2 | 0,12 | 2,0 | 0,3 | 0,4 | – |

Поскольку 50–80 % фтора, поступающего с фосфатным сырьем, остается в удобрениях, то в среднем с каждой тонной фосфора на поля поступает около 60 кг фтора. Мировые запасы фтора в фосфорных рудах оцениваются в 0,9–1,3 млрд. т. Попадая в почву, фтор оказывает негативное влияние на ее плодородие: наблюдается сдвиг pH в щелочную сторону, снижается активность ферментов уреазы, фосфатазы и дигидрогеназы, замедляется рост почвенных микроорганизмов. Фтор вызывает разрушение почвенной структуры, увеличивает подвижность гумусовых веществ и активизирует процессы его биохимического разложения. В результате этого усиливаются минерализация почвенного азота и его газообразные потери [41]. Известкование снижает поступление фтора в растения на супесчаных почвах на 50–90 %, на суглинистых – 10–50%. Внесение в засоленную почву гипса ведет к снижению количества водорастворимого фтора.

В природных водах ПДК фтора составляет 1,5 мг/л. Для валового фтора ПДК в почве не определено. Степень загрязнения почв фтором оценивают по водорастворимым формам, содержание которых не должно превышать 10 мг/кг почвы (табл. 171).

Фтор считается наиболее опасным и наиболее фитотоксичным загрязнителем среди других загрязняющих веществ, таких как CO, SO₂, NO₂. Он влияет на метаболизм растений и способен ограничить темп поглощения ими

кислорода, вызвать расстройство респираторной деятельности, снизить поглощение элементов питания, уменьшить содержание калия и фотосинтетических пигментов в листьях. Фтор взаимодействует с железом и марганцем, содержащимся во многих органических веществах растения, с образованием комплексных соединений и тем самым разрушает многие ферменты и ферментативные системы. Он осаждает сначала кальций, а затем магний из хлорофилла и активированных магнием ферментов, а также образует целый ряд фосфорфтормагниевых комплексных соединений, угнетающих энзимы. Растения превращают усвоенные ими соединения фтора в вещества ядовитые или вредные для людей. Органические соединения фтора во много раз токсичнее неорганических, находящихся в воде и воздухе. Этот элемент оказывает отрицательное влияние на углеводный и нуклеиновый обмены, задерживает гидролиз гексозодифосфорной кислоты и ингибирует образование молочной кислоты. Также установлено, что фториды ингибируют ферменты: энлазу, фосфоглюкомутазу, фосфатазу. Активность фосфоглюкомутазы и кислот фосфатазы уменьшается даже при небольших концентрациях фтора в питательной среде. При хорошем обеспечении растений элементами питания их устойчивость к воздействию фтора возрастает. Этот элемент проявляет антагонистические свойства в растениях азоту, калию, кальцию, магнию. Выявлен синергический эффект по отношению к фосфору.

Таблица 171 – Критерии оценки загрязнения почвенного покрова фтором

| Градации | Содержание фтора, мг/кг | |
|--------------|-------------------------|-----------------|
| | общий | водорастворимый |
| Допустимое | 0–500 | 0–10 |
| Критическое | 500–800 | 10–30 |
| Недопустимое | >800 | >30 |
| ПДК | – | 10 |
| Фон | 300 | 1,5 |

Растения обладают разной устойчивостью к высоким концентрациям фтора. К устойчивым относят спаржу, фасоль, капусту, морковь, иву, а к чувствительным – ячмень, кукурузу, гладиолус, абрикос, сосну, лиственницу. Существует разнообразие в отклике на накопление фтора между сортами и генотипами некоторых видов. Чувствительные к фтору растения повреждаются при его содержании 20–150 мг/кг сухого вещества, менее чувствительные переносят до 200 мг/кг фтора, устойчивые – до 500 мг/кг. Реакция растений на загрязнение фтором, даже до появления каких-либо симптомов токсичности, проявляется в ослаблении темпов роста и снижении продуктивности. Однако наиболее опасным последствием фторидного загрязнения является накопление его в кормовых растениях. Предельно допустимые концентрации фтора в кормах, принятые в некоторых зарубежных странах (мг/кг):

- трава – 1,5;
- корнеплоды – 2,3;
- сено – 30,0;
- солома – 15,0;
- зерновые корма – 3,0.

При превышении этих значений вероятность заболевания животных флюорозом резко возрастает.

В Российской Федерации утверждены следующие максимально допустимые уровни содержания фтора в кормах (мг/кг):

- зерно и зернофураж – 20;
- грубые и сочные корма – 20;
- корнеклубнеплоды – 20.

Согласно гигиеническим нормативам, ПДК фтора в мясных, молочных, хлебобулочных продуктах, овощах и фруктах не должна превышать 2,5 мг/кг, рыбопродуктах – 10 мг/кг.

Суточная норма потребления фтора человеком – 3 мг. При недостатке его развивается кариес зубов, при избытке – флюороз – хроническое заболевание, выражающееся в изменении тканей зубов и других костных образований. Если содержание фтора в воде превышает 2 мг/л, у человека разрушается эмаль зубов, 8 мг/л – флюороз (остеосклероз) скелета.

Опасные последствия загрязнения окружающей среды соединениями фтора, входящими в состав фосфорных удобрений, можно предупредить путем более полной утилизации их в процессе получения удобрений, а также создания новых форм с регулируемой растворимостью в почвенном растворе и многослойных гранулированных удобрений, покрытых пленками полимерных или битумных материалов. В перспективе целесообразно расширить применение обесфторенных фосфатов, не уступающих по эффективности суперфосфату.

С фосфорными удобрениями в почву может поступать мышьяк. В двойном суперфосфате его содержится до 320 мг/кг, в простом – 300, в комплексных азотно-фосфорных удобрениях – 47, в азотно-фосфорно-калийных – 59 мг/кг. ПДК мышьяка составляет в [48, 58]:

1) атмосферном воздухе населенных мест (неорганические соединения), среднесуточная, мг/м³:

- в пересчете на мышьяк – 0,003;
- водород мышьяковистый – 0,002.

2) почве: 2 мг/кг воздушно-сухой почвы.

3) воде: 0,05 мг/л.

4) продуктах питания, мг/кг:

- зерно – 0,2;
- хлеб – 0,1;
- соль – 1,0;
- сахар – 0,5;
- молоко – 0,05;
- масло сливочное и растительное – 0,1;
- овощи и фрукты – 0,2;
- мясо – 0,1;
- рыба пресноводная – 1,0;
- рыба морская – 5,0.

При длительном применении фосфорных удобрений в почве могут накапливаться содержащиеся в них в небольших количествах: уран, стронций, торий и их дочерние продукты радиоактивного распада. Особенно много таких примесей в суперфосфате. Кроме урана, стронция и тория в фосфорных удобрениях содержатся редкоземельные элементы. Анализ некоторых фос-

форных руд показали, что на 1 т фосфора приходится до 100 кг фтора, 40 кг стронция, 25 кг редкоземельных элементов [41]. Поэтому во избежание возможности вовлечения в биологический круговорот токсических и радиоактивных элементов применение фосфорных удобрений должно находиться под постоянным контролем агрохимиков.

Уран – радиоактивный, относительно редкий, с высокой радиационной опасностью и токсичностью элемент, занимающий ведущее положение по длительности периода полураспада – ^{238}U ($4,46 \cdot 10^9$ лет). Радионуклиды ^{238}U , ^{235}U , ^{232}U в ходе α -распада дают длинные цепочки короткоживущих промежуточных продуктов распада – радиоактивные семейства, или ряды. В обоих рядах в конечном итоге образуются стабильные изотопы свинца. Наличие следовых количеств урана в питательной среде благоприятно сказывается на жизнедеятельности растений. Однако, интенсификация земледелия, связанная с увеличением использования минеральных удобрений, неизбежно вызывает включение естественных радионуклидов в биологический круговорот. К таковым относится изотоп ^{238}U . Поэтому о каком-либо недостатке урана для жизнедеятельности растений говорить не приходится [1, 27].

Суточное поступление урана в организм человека с пищей и жидкостями – $1,9 \cdot 10^{-6}$ г, с воздухом – $7 \cdot 10^{-9}$ г. Суточное выведение урана из организма человека составляет: с мочой $(0,5-5) \cdot 10^{-7}$ г, с калом – $(1,4-1,8) \cdot 10^{-6}$ г, с волосами – $2 \cdot 10^{-8}$ г.

Предельно допустимая доза урана при профилактическом облучении 5 бэр в год. По величине поглощенных доз облучения органы животных и человека можно расположить в следующий ряд: щитовидная железа > органы дыхания > желудочно-кишечный тракт > печень > почки > скелет > мышцы. Радиация нарушает все известные типы иммунитета. Радиационные поражения имеют генетический характер и передаются из поколения в поколение, иногда с увеличивающимся эффектом.

Стронций относится к токсичным и редким неэссенциальным ультрамикроэлементам. Радионуклид ^{90}Sr является одним из наиболее биологически опасных радиоактивных элементов. В среднем растения содержат от 0,0001 до 0,17 % стронция. Коэффициент биологического поглощения этого элемента растениями изменяется от 2 до 16. Стронций оказывает положительное влияние на анатомо-морфологическую структуру, фотосинтетическую деятельность и продуктивность растений. Избыток его в растениях приводит к нарушению формирования опорных тканей, изменению репродуктивных органов. Токсичный уровень содержания этого элемента для растений составляет 30 мг/кг золы. Концентраторы стронция – люцерна, клевер, гречиха. Мало его в зерновых и картофеле. В растениях накапливается в корнях и стебле.

В организме человека стронция содержится 0,32 г; суточное поступление его с пищей составляет 1,9 мг; период полувыведения – 980 суток. Избыток стронция в организме приводит к замещению кальция и снижению поступления фосфора. Стронций выводится из организма быстрее, чем его радионуклид. Заболевания, вызванные избытком стронция, – стронциевый рахит (уровская болезнь), когда содержание его в костях в 5–6 раз выше нормы. Для живых организмов опасны сточные и грунтовые воды районов добычи и переработки стронциевых и апатитовых руд, фосфоритов. Сорбентами ^{90}Sr в почве являются цеолиты и железо-марганцевые конкреции. Активность этого элемента может быть снижена внесением в почву кальция, магния, калия и натрия.

Внесение фосфорных удобрений может способствовать значительному увеличению содержания в почве подвижных форм тяжелых элементов. Помимо фтора, мышьяка, радиоактивных и редкоземельных элементов с суперфосфатом в почву вносятся в виде примесей кадмий, свинец, селен, хром, кобальт, медь, никель, ванадий, цинк и другие (табл. 172).

Таблица 172 – Содержание балластных элементов в суперфосфатах, мг/кг

| Элемент | Содержание | Элемент | Содержание |
|---------|------------|---------|------------|
| Мышьяк | 1,2–2,2 | Свинец | 7–92 |
| Кадмий | 50–170 | Никель | 7–32 |
| Хром | 66–243 | Селен | 0–4,5 |
| Кобальт | 0–9 | Ванадий | 20–180 |
| Медь | 4–79 | Цинк | 50–1430 |

Большинство из тяжелых элементов необходимы для жизнедеятельности растений, но все они без исключения имеют очень низкий интервал их эффективных концентраций и легко можно перейти границу положительного действия. К тому же избыточное накопление тяжелых элементов в растениях снижает продуктивность агроценоза, а также представляет опасность для здоровья человека.

Известны «металлические ряды», расположенные по степени их токсичности для растений. Несмотря на некоторые их различия, можно констатировать, что наиболее токсичными как для растений, так и для микроорганизмов являются Hg, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Co. К этому ряду, вероятно, также следует добавить Sn, Be, Ag. Из тяжелых элементов наибольшую опасность представляют Cd, Pb, Hg, Zn и Cu, что связано с их высокой токсичностью [4, 9, 10].

Цинк принадлежит к необходимым и незаменимым для любого организма элементам. В растительном организме он участвует в азотном, нуклеиновом, углеводном и фосфорном обменах, влияет на интенсивность дыхания и фотосинтеза, оказывает положительное влияние на рост и развитие растений. При недостатке цинка в растениях нарушаются белковый и углеводный обмен, тормозится синтез хлорофилла и витаминов. Содержание его в почвах подвержено большим колебаниям – от 17 до 125 мг/кг. Поглощение цинка растениями контролируется их метаболизмом. Его называют «уличным регулятором» в организме, т. к. он направляет эффективное течение процессов, поддерживает работу ферментных систем клеток. Особенно нуждаются в цинке антиоксидантные ферменты [13, 52, 54].

Заболевания человека, вызванные недостатком цинка: задержка роста и развития, нарушение кожных покровов, костеобразования и кроветворения, гемохроматоз, болезнь Вильсона, кистозный фиброз поджелудочной железы, железодефицитная анемия, талассемия, хронический язвенный дерматит, блефароконъюнктивит, фотофобия, эрозивно-язвенный стоматит, нарушения аппетита, диарея, нарушения вкуса и обоняния, половые дисфункции – всего около 20 заболеваний. Среднее всасывание цинка из всех соединений в желудочно-кишечном тракте принято считать 0,5 %. Заболевания человека, вызванные избытком цинка: угнетение роста, анемия, снижение энзимной активности, иногда дефицит железа и меди. Токсическая доза 150–600 мг, летальная – 6 г, оптимальная 60 мг в сутки. ПДК для цинка в [58]:

- 1) атмосферном воздухе населенных мест, среднесуточная в пересчете на оксид цинка – 0,05 мг/м³:

2) почве: 23,0 мг/кг воздушно-сухой почвы.

3) воде: 1,0 мг/л.

4) продуктах питания, мг/кг:

- зерновые и зернобобовые – 50,0;
- хлеб – 25,0;
- соль – 10,0;
- сахар-песок – 3,0;
- молоко – 5,0;
- масло сливочное и растительное – 5,0;
- мясо – 70,0;
- рыба – 40,0;

Медь относится к биогенным микроэлементам: входит в состав ряда окислительных ферментов в качестве катализатора биохимических процессов в растительном организме; оказывает положительное воздействие на азотный обмен, образование хлорофилла и интенсивность фотосинтеза. Нормальное содержание меди в почве составляет 15–60 мг/кг. Избыток ее в почве ведет к развитию хлороза у растений, ПДК для злаков – 10 мг/кг; для бобовых – 32 мг/кг сухой массы.

Медь необходима для жизнедеятельности человека и животных. Входя в состав многочисленных гормонов, этот элемент влияет на рост, развитие, воспроизводство, обмен, образование гемоглобина, на активность лейкоцитов. Медь ускоряет созревание эритроцитов, способствует росту и регенерации костной ткани, усиливает эффект действия инсулина, препятствует распаду гликогена в печени, катализирует окисление аскорбиновой кислоты, участвует в синтезе коллагена, эластина, кровеносных сосудов, корректирует функции витаминов **A, B, P, PP, C** [37, 53, 56].

Дефицит меди характерен при поступлении ее в организм менее 1 мг/сут. При недостатке ее в почве и растениях животные заболевают анемией, человек – дисплазией соединительной ткани, нейродегенерацией, гипохромной анемией, экземой; при избытке – поражается печень и развивается желтуха, острый панкреатит, язва двенадцатиперстной кишки, бронхиальная астма, гиперкупремия, бессонница, эпилепсия, ускоренное старение, нарушение умственной деятельности.

При мониторинге экологического состояния природной среды рекомендуется использовать геохимический показатель содержания меди в укусах растений и растительных кормах, мг/кг сухого вещества: экологическое бедствие – <3 или >10; чрезвычайная ситуация – 3–5 или 80–100; удовлетворительная обстановка – 10–20. Усредненные критические показатели содержания меди в воде: экологическое бедствие – более 15 мг/л; чрезвычайная ситуация – 10–15 мг/л. При содержании меди в питьевой воде 5 мг/л она приобретает неприятный привкус. ПДК для меди в [58]:

1) воздухе населенных мест в пересчете на медь (оксид меди и хлорид меди) – 0,002, мг/м³.

2) почве: 3 мг/кг.

3) воде, мг/л:

- водоемы санитарно-бытового пользования – 0,1
- водные объекты хозяйственно-бытового пользования – 1,0

4) пищевых продуктах, мг/кг:

- зерновые и зернобобовые – 10,0
- хлеб – 5,0
- соль – 3,0
- сахар-песок – 1,0
- молоко – 1,0
- масло сливочное и растительное – 0,5
- мясо – 5,0
- рыба – 10,0
- чай – 100,0

Хром – неэссенциальный ультрамикроэлемент. Стимулирует рост растений и необходим для жизнедеятельности человека и животных. В составе ферментов регулирует синтез жиров и обмен углеводов, поддерживает нормальный уровень глюкозы в крови, регулирует деятельность сердечной мышцы, функционирование кровеносных сосудов. Оптимизирует выработку инсулина, предупреждает диабет, снижает артериальное давление, участвует в обмене нуклеиновых кислот. Образует в организме коллоидные растворы. Хром выводит токсины, соли тяжелых элементов и радионуклиды из организма, снижает уровень холестерина [28, 57].

Заболевания человека, вызванные недостатком хрома: сокращение продолжительности жизни; нарушение обмена глюкозы, липидов и белка; усугубление или провокация сахарного диабета с разнообразными метаболическими нарушениями; атеросклероз; задержка роста; помутнение роговицы. Дефицитом хрома в организме считается суточная доза <20 мкг. Заболевания, вызванные избытком хрома: снижение толерантности к глюкозе, ослабление метаболизма углеводов, повышение содержания инсулина в крови, повышение холестерина и триглицеридов в сыворотке крови, увеличение атеросклеротических бляшек в аорте, периферические невропатии, нарушение деятельности нервной системы, снижение оплодотворяющей способности и числа спермиев, поражение ретикулоэндотеральной системы по всем органам; ринит; бронхит; пневмосклероз; гастрит; язва желудка и носовой перегородки; хромовые дерматозы; язвы на коже. Токсическая доза хрома составляет 200 мг, летальная – 3 г. ПДК для хрома в [58]:

- 1) воздухе населенных мест, среднесуточная (в пересчете на триоксид хрома) – хром шестивалентный – 0,0015 мг/м³;
- 2) воде, мг/л:
 - хром шестивалентный – 0,1
 - хром трехвалентный – 0,5
- 3) пищевых продуктах – не нормирован.

Никель – неэссенциальный ультрамикроэлемент; присутствует в больших количествах почти во всех почвах, содержится в растениях и в большинстве тканей животных. Верхний критический уровень содержания никеля в почвенном растворе – 0,3–0,5 мг/л, среднее общее содержание в почве – 20 мг/кг. Доступность никеля почв для растений уменьшается в условиях нейтральной и щелочной реакции. Он содержится в уреазе и оказывает положительное влияние на азотное питание, на рост и развитие растений. Его избыток в почве приводит к недостатку железа у растений и вызывает хлороз листьев.

Никель необходим для жизнедеятельности человека и животных: индуцирует синтез фосфатидилсерина (стабилизация мембран), эритроцитов, тестостерона, гликогена; активизирует ферменты: аргиназы, карбоксилазы, аце-

тил-СоА-синтетазы, метилдегидрогеназы, альфа-амилазы, трипсина, уреазы. Ингибирует кислую фосфатазу, участвует в регуляции работы катехоламинов, стабилизирует структуру РНК и ДНК, рибосом.

Заболевания человека, вызванные недостатком никеля: гиперхолестеринемия, снижение резервных запасов гликогена, анемия, атрофия семенников, задержка развития. Заболевания, вызванные избытком никеля (токсическая доза – 50 мг): кератит, кератоконъюнктивит, бельмо роговицы, альвеолиты и бронхиолиты, коронарospазм, дуоденит, снижение иммунитета, повышение риска заболевания раком легких и почек, увеличение щитовидной железы, нарушение подвижности сперматозоидов.

Повышенное содержание никеля отмечено в некоторых продуктах питания: нуте, чечевице, овсе, субпродуктах, высокое содержание также в табаке (до 3 мкг на одну сигарету). ПДК для никеля в [58]:

- 1) атмосферном воздухе (среднесуточная): 0,001 мг/м³;
- 2) воде: 0,1 мг/л;
- 3) почве: 3,0 мг/кг.

Антропогенное и природное количественное распределение никеля в биосфере близки между собой.

Калийные удобрения. Калий вымывается из почвы атмосферными осадками и вносится почвенным стоком. Потери его из почвы в результате вымывания зависят от количества и распределения атмосферных осадков, содержания в почве, ее гранулометрического состава и поглощательной способности почв. Вымывание калия в 5–10 раз ниже, чем азота и в десятки раз больше фосфора. Поскольку калий вместе с другими биогенными элементами вызывает эвтрофикацию природных водоемов, его количество должно ограничиваться до необходимых пределов. Допустимая концентрация калия в питьевой воде составляет 1 мг/л.

В зонах достаточного увлажнения из парующей суглинистой почвы калия ежегодно вымывается примерно 1–3 кг/га, из песчаной – 10–30 кг/га. Однако под фитоценозами потери калия обычно не бывают большими даже из песчаных почв и, как правило, не превышают 2–3 кг/га. Вымывание его из песчаных почв может быть значительным лишь в осенний период, когда растения уже убраны и ранней весной до начала их активной вегетации [14]. На вымывание калия во многом влияют физические, водно-физические и физико-химические свойства почвы, в частности, гранулометрический состав и водопроницаемость. Из тяжелых по гранулометрическому составу почв его вымывается меньше, чем из легких песчаных и супесчаных, т. к. калий поглощается почвенными коллоидами обменно и необменно фиксируется трехслойными глинистыми минералами и в структуре органоминеральных смектитовых комплексов. Иллиты, вермикуллиты и монтмориллониты с высоким зарядом хорошо фиксируют калий и тем самым защищают его от выщелачивания: вымываться он может только с высокодисперсными минералами.

При движении с водным током вниз по профилю почвы, калий почвенного раствора вступает в обмен с катионами почвенного поглощающего комплекса. В результате ионного обмена большую часть времени калий адсорбирован почвенными коллоидами и лишь незначительное время пребывает в почвенном растворе в ассоциации со свободными анионами. Благодаря ионообменным процессам скорость его миграции вниз по профилю почвы

будет тем ниже, чем выше емкость катионного обмена. В этой связи скорость вымывания ионов калия из той или иной почвы может быть предсказана, исходя из теоретических основ ионообменной хроматографии.

Низкое содержание вторичных минералов и невысокая емкость катионного обмена песчаных почв, в отличие от суглинистых и глинистых, обуславливает значительные потери калия при промывном водном режиме за пределы корнеобитаемого слоя. Доля обменного калия от емкости катионного обмена почвы обычно не превышает 5 %. Отсюда потеря водорастворимой формы калия в результате вымывания зависит не только от емкости катионного обмена, но и от состава обменно-поглощенных оснований. В кислых почвах, из-за высокой конкурентной активности иона водорода, калий слабо удерживается на селективных к нему позициях почвенного поглощающего комплекса, поэтому при значении $pH < 5$ концентрация калия в почвенном растворе, а следовательно, и его вымывание заметно увеличивается.

Водная и ветровая эрозия почвы может вызывать значительные потери калия почвы и внесенных удобрений. Смыв коллоидных частиц почвы постепенно обедняет пахотный слой почвы этим элементом. Хотя потерям калия из почвы придают меньшее значение, нежели потерям азота, вследствие существенной разницы в их содержании и распределении в почвенном профиле, интенсивные эрозионные процессы могут создать серьезный дефицит калия для питания растений. Учитывая, что в наиболее подвижной пылевидной и илистой фракции почвы калия содержится 3–4 %, с 1 т смытого мелкозема отчуждается 30–40 кг этого элемента. Потери калия из почв в результате эрозии зависят от рельефа, технологии возделывания культур, количества и характера выпадающих осадков. Потери его от водной эрозии на суглинистых почвах могут многократно превышать вымывание осадками и отчуждение урожаем. Хотя доступность растениям калия нижних горизонтов значительно ниже, чем из пахотного, эрозионные потери этого элемента из верхнего слоя почвы вынуждают корневую систему растений с определенными затратами энергии извлекать его из подпахотных слоев. Для поддержания необходимой продуктивности растений на эродированных почвах требуются более высокие нормы калийных удобрений [14]. В результате водной эрозии со склонов суммарные потери калия с твердым и жидким стоком в гумидной зоне могут составлять от 4 до 50 кг/га, в степной – от 0,6 до 60 кг/га. Размеры потерь этого элемента с фильтрационными водами составляют 10–20 кг/га, а средние величины вымывания калия из почвы – 20–25 кг/га. В результате накопления калия в подвижных формах в профиле почв гумидных областей также возможны значительное его перемещение за пределы корнеобитаемого слоя [20].

Калий удобрений сравнительно быстро поглощается почвенными коллоидами и не оказывает вредного влияния на окружающую среду. Тем не менее, калийные удобрения должны также использоваться с большой осторожностью. К нежелательным последствиям их применения следует отнести калиево-натриевое и сульфатно-хлоридное засоление и подкисление почвы, нарушение физиологической уравновешенности почвенного раствора и баланса таких элементов, как кальций, магний, натрий и бор. Неправильное использование концентрированных калийных удобрений может вызвать натрий-магний-кальциевое голодание растений, выщелачивание кальция и деструкцию почвы. Кроме того, внесение калийных удобрений может оказы-

вать косвенное влияние на процесс нитрификации, изменяя поглощение почвой аммония. Удобрения – главный источник загрязнения водоемов калием.

Практически все калийные удобрения, применяемые в сельском хозяйстве, являются хлорсодержащими, а присутствие большого количества хлора в почве нежелательно из-за возможного образования хлорорганических соединений. Одновременно с внесением хлористого калия из расчета K_{45-60} в почву поступает 30–35 кг/га хлора. Хлор необходим растениям в очень небольших количествах. При его избытке наблюдается хлорный токсикоз, который у чувствительных к этому элементу культур вызывает ожог листьев. Избыток хлора нарушает обмен веществ в растениях, в частности ухудшает углеводный обмен, тормозя превращение простых углеводов в ди- и полисахариды, о чем свидетельствуют повышение содержания моносахаров и низкий уровень сахарозы в листьях. Повышенное поступление хлора в растение снижает содержание белкового азота в листьях. Его избыток тормозит синтез аминокислот и оказывает отрицательное влияние на белковый обмен.

По данным Д.Н. Прянишникова [33], величина вымывания хлора, внесенного с хлористым калием, при ежегодной норме этого удобрения 100 кг/га д.в. составляет 60 кг/га. При внесении в почву 60 кг/га д.в. хлористого калия растения поглощают примерно 10 кг/га хлора, а остальное его количество вымывается с фильтрационными водами.

В организме человека массой 70 кг содержится около 95 г хлора; суточное потребление его с пищей составляет 3–6,6 г; период полувыведения – 10–12 суток. Хлор обеспечивает ионные потоки через клеточные мембраны. Под воздействием этого элемента образуются гормоны предстательной железы. Хлор участвует в поддержании осмотического давления и кислотно-щелочного состояния организма, регулирует pH крови и ее состав. В соединении с калием и натрием регулирует давление, выводит шлаки из организма, улучшает функцию печени. Недостаток хлора вызывает у человека и животных выпадение волос и зубов, истощение нервной системы и общую усталость. Вместе с тем хлор весьма токсичен. ПДК этого элемента в питьевой воде установлена на уровне 0,25–0,5 мг/л. В связи с этим следует учитывать химические свойства хлора: газ (при обычных температурах) желто-зеленого цвета, в 2,5 раза тяжелее воздуха (плотность 3,214 г/л), сильно действующий на слизистую дыхательных путей. Вдыхание воздуха, содержащего хлор в количестве 0,001–0,006 мг/л, сильно раздражает дыхательные пути; 0,012 мг/л – переносится с трудом даже при кратковременном воздействии. Вдыхание воздуха, содержащего 0,1–0,2 мг/л хлора, в течение 30–60 мин уже опасно для жизни. В производственных помещениях ПДК не выше 0,001 мг/л. Хлор влияет на органолептические свойства воды, и его содержание не должно превышать 350 мг/л [12, 47].

Хлор применялся как отравляющее вещество в первую мировую войну. Здесь уместно вставить отрывок о хлоре из книги В.Н. Александрова и В.И. Емельянова «Отравляющие вещества» (1990): «Первая мировая война. На Западном фронте в Бельгии, вдоль реки Ипр, 22 апреля 1915 года в 17 часов со стороны немецких позиций над поверхностью земли появилась полоса белесовато-зеленоватого тумана. Через 5–8 минут этот необычный туман продвинулся на тысячу метров и бесшумной гигантской волной накрыл позиции французских войск. Находившиеся в траншеях солдаты и офицеры неожиданно стали задыхаться в этой волне – волне ядовитого газа хлора. Хлор обжигал органы дыха-

ния, разъедал легкие. Пораженные газом падали, непораженные, беззащитные перед ядовитым газом и охваченные паникой, бежали... Немецкие войска на фронте 6 км выпустили из 5730 баллонов за 5–8 мин 180 т хлора. В результате газовой атаки было отравлено 15 тыс. человек, из которых свыше 5 тыс. человек умерли на поле боя, а половина оставшихся в живых стали инвалидами».

Избыточное внесение калийных удобрений недопустимо и по той причине, что нарушается баланс Mg, Na, Ca и B в почве, что, в свою очередь, может отрицательно сказаться на питании растений этими элементами. Нарушение баланса указанных элементов в пастбищном корме и возрастание отношения калия к сумме магния и кальция нередко приводит к заболеванию скота пастбищной тетанией.

При применении калийной соли в качестве удобрения, как было уже отмечено, в почву поступает значительное количество натрия в форме хлористого натрия – до 35 %, а при внесении сульфата калия – более 17 % серы в форме аниона серной кислоты. Они также могут оказать негативное воздействие на агрохимическое состояние почвы.

Натрий – жизненно необходимым мезоэлемент. Активно реагирует с O₂, H, S, SO₃, CO₂, OH⁻, галогенидами. Глобальный перенос натрия в атмосфере связан с испарением вод Мирового океана и попаданием на континенты – в среднем 1,29 т/км² в год. Самое высокое содержание натрия в подземных водах – до 70 г/л. Растворимость его солей высокая. Среднее содержание натрия в растениях 0,02 % сухой массы, а обычный диапазон концентраций его колеблется от 0,008 до 2,5 %. Все без исключения растения нуждаются в натрии. Большинство растений, произрастающих на солончаках и солонцах, гораздо лучше растут в присутствии легкодоступного натрия, чем без него. Находясь в виде поваренной соли в тканях галофитов, натрий создает высокое осмотическое давление в клеточном соке и тем самым способствует извлечению воды из почвы. Кроме того у этих растений натрий играет важную роль в поддержании кислотно-щелочного равновесия в клеточном соке. Определенное количество этого элемента необходимо для образования сосудистой и механической систем в растениях. Наряду с улучшением водно-физических свойств растений, натрий оказывает положительное влияние на углеводный метаболизм, повышая содержание моно- и дисахаридов в листьях. Натрий способствует накоплению в листьях растений пластидных пигментов. Существует связь между обеспеченностью растений натрием и их дыханием. При исключении натрия из питательной среды значительно ингибируется дыхание растений. Восстанавливается оно лишь через несколько часов после введения натрия к питательную среду, а симптомы его недостаточности на листьях исчезают лишь на пятый день. В растительных клетках функционирует мембранный Na⁺-K⁺-АТФ-азы, поддерживающий определенное соотношение ионов натрия и калия в клетке путем их активного транспорта против электрохимического и концентрационного градиентов.

У натриефильных растений этот элемент усиливает отток углеводов из листьев в формирующиеся генеративные органы. Растения, произрастающие на среде с нитратами, больше нуждаются в натрии. Натрий оказывает положительное влияние на активность нитратредуктазы. Недостаток этого элемента ограничивает фиксацию азота свободноживущими почвенными микроорганизмами и клубеньковыми бактериями бобовых культур.

Специфическими симптомами натриевого голодания растений являются: пятнистость, желтый цвет и белые верхушки листьев. От недостатка натрия страдают не только сами растения, но и животные, поедающие эту траву. Натриевая недостаточность для овец обнаруживается при содержании элемента в травяном покрове пастбища менее 0,09 %, для крупного рогатого скота – 0,10% и для молочных коров – 0,12 %. Содержание натрия в организме человека массой 70 кг составляет около 60 г – 0,08 %. Из этого количества 44 % натрия находится во внеклеточной жидкости и 9 % – во внутриклеточной. Остальное количество натрия находится в костной ткани, являющейся местом депонирования иона Na^+ в организме. Около 40 % натрия, содержащегося в костной ткани, участвует в обменных процессах и благодаря этому скелет является либо донором, либо акцептором ионов натрия, что способствует поддержанию постоянства концентрации ионов натрия во внеклеточной жидкости. Суточное потребление элемента с пищей – 4,4 г, период полувыведения 10–16 сут. Натрий поддерживает осмотическое давление, нормальную деятельность сердечной мышцы и равновесие с ионами калия при нервно-мышечной возбудимости, удерживает воду в тканях. Избыток его провоцирует гипертонию.

Заболевания у человека и животных, вызванные недостатком натрия: сгущение крови, кишечные колики, судороги скелетных мышц, угнетение центральной нервной системы. При недостаточном поступлении натрия в организм (менее 1 г/сут.) ухудшается общее состояние организма (слабость), что отражается на состоянии нервной системы. Заболевания, вызванные избытком натрия: гипернатриемия – жажда, лихорадка, тахикардия, повышение артериального давления. За счет дегидратации клеток происходят мозговые нарушения, появляется сердечная недостаточность. При поступлении натрия в избытке (>6 г/сут.) повышается хрупкость сосудов, нарушается водный баланс организма. Токсичная доза натрия – 14 г. Концентрируют натрий галофиты, пасленовые, крестоцветные, лебедовые, морские водоросли.

Натрий и его соединения являются обычными примесями в большинстве производств, при разработке месторождений каменных и калийных солей. Ряд его солей токсичны – цианистый натрий, NaF , Na_2O , $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Сера – жизненно необходимый мезоэлемент. Среднее содержание ее в золе растений составляет 5%. Она входит в состав аминокислот – цистина, цистеина и метионина. Содержащие серу аминокислоты входят в молекулу каждого белка. 70% содержащейся в растении серы находится в хлоропластах. Сера входит в состав кофермента А, а также соединений – трипептида, глутатиона, липоевой кислоты и биотина. Все эти соединения участвуют в реакциях метаболизма растений, определяющих окислительно-восстановительный потенциал клеток. Кофермент А участвует в ключевых реакциях биосинтеза липидов, конденсации молекул в длинные полимерные цепи. Сера входит в состав ферментов, участвующих в процессе восстановления нитратов, которые при её недостатке накапливаются в тканях растений. При недостатке серы в почве рост растений задерживается, окраска листьев бледнеет; при ее полном отсутствии в субстрате листья становятся белыми, т. к. биосинтез хлорофилла не происходит [57, 59].

В организме человека содержится 98–140 г серы; суточное потребление ее с пищей составляет 0,85–0,93 г при норме 90 мкг; период полувыведения – 140 сут. Сера входит в состав белков и определяет их биологическую актив-

ность. Она также входит и в состав инсулина. Основное количество серы сосредоточено в мягких тканях: мышцы, печень, кожа, кровь. Нормальный уровень ее содержания в организме человека обеспечивает здоровую кожу, ногти, а также баланс кислорода в головном мозге. В организме сера подразделяется на белковую и небелковую. В минеральном обмене сера участвует в форме неорганических соединений. Заболевания, вызванные недостатком серы: образование цистиновых мочевых камней. Высокую токсичность имеет сероуглерод. Он растворяет жиры и смолы. Повышенные концентрации оксидов серы в атмосфере оказывают отрицательное влияние на органы дыхания. Основным загрязнителем природы является сернистый газ. Сульфаты влияют на органолептические свойства воды, и их концентрация не должна превышать 500 мг/л.

Потери калия почвы и удобрений идут разными путями. Поверхностным стоком больше теряется калия самой почвы (вместе с твердыми частицами), а с почвенными и грунтовыми водами больше выносятся калия удобрений.

Повышение коэффициента использования растениями калия удобрений и уменьшение потерь достигается за счет комплекса мер: оптимальное сочетание со всеми питательными элементами, уплотненные посевы промежуточных культур, дифференцированные почвозащитные системы обработки почвы, химическая мелиорация почв, орошение и осушение.

Большое влияние на вымывание калия оказывает применение хлор- и сульфатсодержащих удобрений, т. к. вымывание Cl^- и SO_4^{2-} за пределы корнеобитаемого слоя почвы влечет за собой миграцию эквивалентного количества K^+ и других катионов, компенсирующих заряды анионов. Аналогичное действие на миграцию калия оказывают также легкоокисляемые органические вещества почвы, несущие отрицательные заряды.

Известкование кислых почв, как правило, снижает потери калия от вымывания, что связано, во-первых, с повышением емкости катионного обмена при снижении кислотности и увеличением времени удерживания калия в почвенно-поглощающем комплексе, во-вторых, Ca^{2+} , замещая обменный Al^{3+} и H^+ , легче вытесняется калием из почвенно-поглощающего комплекса, чем алюминий. Мнения ученых по данному вопросу не всегда совпадают. Есть данные, не подтверждающие защитную роль известки, а наоборот. Увеличение вымывания калия в связи с известкованием, по мнению авторов, наблюдавших такой эффект, связано со степенью насыщенности почв основаниями и концентрацией ионов калия в почвенном растворе.

Анализ агрогеохимического баланса калия различных сельскохозяйственных регионов показал, что главным источником загрязнения водоемов калием являются минеральные удобрения. Промышленные и коммунальные стоки, отходы животноводства по размерам загрязнения уступают минеральным удобрениям.

Микроэлементы и микроудобрения. Микроэлементы являются неотъемлемой частью биосферы. Они в незначительных количествах необходимы для всех без исключения растений, животных и человека. Так, марганец оказывает положительное влияние на реутилизацию фосфора из стареющих листьев к молодым. Кобальт участвует в изменении проницаемости плазмалеммы, значительно улучшает поступление в растения азота и других биогенных элементов. Молибден, участвуя в метаболизме азота, улучшает азотный обмен, в результате усиливается поглощение растениями фосфора. Улучшают поступление азота в растения медь и бор. Цинк изменяет прони-

цаемость клеточных мембран для калия и магния. У цинкдефицитных растений концентрация неорганического фосфора повышена. Медь влияет положительно на работу Na-K-АТФ-азы, на накопление в растениях органических соединений фосфора. Поступление магния в растения улучшается при достаточной обеспеченности их медью, цинком и бором [50, 51].

Микроэлементы в почву поступают из почвообразующих пород. В таблице 173 приведено среднее их фоновое содержание в почвах [35].

Таблица 173 – Глобальные, зональные и региональные оценки микроэлементов в почвах, кг/га

| Элемент | Глобальные | | Зональные | | | Региональные | |
|----------|-------------------------------|---------------|------------------|-----------------|----------------|--|---|
| | кларк зеле- ной зоны | почвы мира | подзо- листые | серые лесные | чернозе- мы | дерново- подзоли- стые (Московс- кая обл.) | чернозем выщело- ченный (Красно- дарский край) |
| Бор | 12,0 | 10,0 | 5,8 | 12,3 | 19,7 | 38,0 | 18,1 |
| Ванадий | 90,0 | 100,0 | 63,5 | 118,0 | 148,0 | 64,0 | 28,0 |
| Хром | 83,0 | 90,0 | 180,0 | 250,0 | 286,0 | 46,0 | 90,5 |
| Марганец | 1000,0 | 850,0 | 715,0 | 1025,0 | 885,0 | 590,0 | 791,9 |
| Кобальт | 18,0 | 10,0 | 8,4 | 12,4 | 13,2 | 7,2 | 14,8 |
| Никель | 58,0 | 40,0 | 23,2 | 30,3 | 72,1 | 20,0 | 28,8 |
| Медь | 47,0 | 20,0 | 15,3 | 23,5 | 28,9 | 27,0 | 17,2 |
| Цинк | 83,0 | 50,0 | 41,3 | 60,0 | 62,0 | 50,0 | 22,8 |
| Молибден | 1,1 | 2,0 | 1,7 | 3,2 | 4,2 | 1,0 | 1,7 |
| Кадмий | 0,13 | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 0,5 | 0,3 | 0,6 |
| Сера | 2,5 | 10,0 | 2,9 | 2,8 | 3,2 | 5,2 | 3,3 |
| Свинец | 16,0 | 10,0 | 11,5 | 12,5 | 13,2 | 25,0 | 12,6 |

Валовое содержание микроэлементов в пахотном горизонте зависит от типа почв. В таблице 174 представлены сведения по содержанию микро- и ультрамикроэлементов в почвах Ставрополя [31]. Наиболее распространены в почвах края марганец, цинк и никель, наименее – кадмий. Самый высокий геохимический фон характерен для темнокаштановых почв, наименьший – для светло-каштановых и песчаных. Фоновое содержание микроэлементов по сравнению с почвами мира имеет свои особенности, а по кобальту и стронцию существует значительная разница.

Почвообразующие породы в зависимости от минералогического и гранулометрического состава содержат и различное количество микро- и ультрамикроэлементов: в песчаных и супесчаных породах их меньше всего, в среднесуглинистых – гораздо больше, и особенно много в глинистых породах. По сравнению с кларком серые лесные почвы содержат пониженное количество практически всех микро- и ультрамикроэлементов, а черноземы – больше меди и цинка.

Все микро- и ультрамикроэлементы занимают особое место среди загрязнителей, т. к. они в разной степени, но хорошо адсорбируются почвенными коллоидами, особенно при высокой гумусированности и тяжелом гранулометрическом составе. Предельно допустимая концентрация микроэлементов в почвах, пригодных для сельскохозяйственного использования, представлена в таблице 175.

Таблица 174 – Фоновое валовое содержание микроэлементов в пахотном слое различных типов почв мг/кг

| Типы почв | Cd | Pb | Zn | Co | Ni | Cu | Mn | Sr |
|------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|
| Светло-каштановые | 0,3±0,02 | 1,2±0,9 | 3,3±1,7 | 6,9±1,7 | 28,9±1,9 | 15,3±1,8 | 311±1,8 | 5,7±0,8 |
| Светло-каштановые песчаные | 0,28±0,02 | 6,4±0,6 | 24,3±2,4 | 5,4±0,4 | 23,5±0,76 | 6,7±0,8 | 98,0±9,4 | 4,0±0,6 |
| Светло-каштановые засоленные | 0,3±0,02 | 9,1±0,76 | 36,4±3,8 | 7,0±0,6 | 28,1±1,7 | 11,1±1,3 | 231±57,6 | 4,5±0,62 |
| Чернозем обыкновенный | 0,4±0,05 | 9,95±2,8 | 34,3±8,3 | 6,26±0,62 | 22,0±4,5 | 13,54±1,3 | 239,4±50,8 | 5,4±0,48 |
| Темно-каштановые | 0,4±0,03 | 4,6±4,48 | 41,21±5,5 | 6,61±0,52 | 30,33±4,9 | 14,13±1,5 | 353±137,2 | 5,3±1,6 |
| Почвы СНГ | 0,3 | 17–30 | 30–80 | 12–28 | 12–5-8 | 12–28 | 300–860 | 300 |
| Почвы мира | 0,5 | 10,0 | 50,0 | 10,0 | 40,0 | 20,0 | 850 | - |

Таблица 175 – Содержание микроэлементов в почвах

| Микроэлемент | Содержание, мг/кг | | |
|--------------|-------------------|---|------|
| | диапазон | наиболее часто встречающиеся концентрации | ПДК |
| Бор | 2–100 | 5–30 | 100 |
| Кобальт | 1–50 | 1–10 | 50 |
| Молибден | 0,2–10,0 | 1–5 | 10 |
| Цинк | 10–300 | 10–50 | 300 |
| Марганец | 30–3000 | 400–2000 | 3000 |
| Медь | 2–100 | 5–20 | 100 |

Химические соединения микро- и ультрамикроэлементов довольно устойчивы и долго сохраняют свои токсические свойства, поэтому необходимо учитывать скорость их накопления в почве, размер поступления в растения и факторы, усиливающие эти процессы. Накоплению микро- и ультрамикроэлементов 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 основе токсического действия избыточных концентраций микро- и ультрамикроэлементов на растения лежит их денатурирующее действие на белки. Так как каталитическая и регуляторная роль белков для метаболической системы организмов является всеобъемлющей, нарушения могут затрагивать самые различные звенья обмена веществ. Возможен перевод фосфора в недоступную для метаболизма форму труднорастворимых фосфатов микро- и ультрамикроэлементов, а также конкуренция их с большинством биогенных элементов, замена на специфических переносчиках и передатчиках этого элемента в метаболической цепи, что может привести к его дефициту.

Опасность загрязнения окружающей среды тяжёлыми элементами сводится к следующему:

1. Попадая в почву, тяжёлые элементы усиливают минерализацию органического вещества, вызывая негативные изменения в почвенно-поглощающем комплексе, вследствие замещения кальция и магния. Снижается биологическая активность почвы, что отрицательно сказывается на жизнеспособности микроорганизмов, увеличивается количество грибов, подавляется активность ферментов. Это приводит к деградации почвы и снижает её способность к самоочищению;

2. Проникая в растения, тяжёлые элементы активно включаются в метаболические процессы, но могут и сохраняться в виде неактивных соединений в клетках и на клеточных мембранах. В результате снижается количество и качество урожая, происходят изменения в направленности физиолого-биохимических процессов и реализации генетической программы растений, нарушаются естественно сложившиеся фитоценозы;

3. Тяжёлые элементы, накапливаясь в растениях, по трофическим цепям с кормом и продуктами питания попадают в организм животных и человека, вызывая различные заболевания. Опасность увеличивается ещё и тем, что растения без видимых признаков отравления могут накапливать их в токсичных для человека и животных количествах. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования трансформации тяжелых элементов по всей экологической цепи почва–растение–животное–человек с целью улучшения гигиенического качества продукции и среды обитания человека. Тяжёлые элементы могут усваиваться живыми организмами также непосредственно из воды и воздуха.

Применение микроудобрений оказывает значительное влияние на окружающую среду. Неправильное их использование ухудшает агрохимические показатели плодородия почвы, снижает урожай и его качество. Например, на серой лесной почве внесение избыточных количеств цинка и кадмия приводит к снижению продуктивности растений яровой пшеницы и снижению коэффициента использования азота из удобрений. В корнеплодах свеклы и моркови, выращенных при внесении азотных и фосфорных удобрений, под влиянием кадмия, цинка и никеля накапливается нитратов в количестве, значительно превышающем ПДК. Под воздействием тяжелых элементов, входящих в состав микроудобрений, изменяется биологическая активность почв (численность и физиологическая активность отдельных групп микроорганизмов).

Микро- и ультрамикроэлементы могут оказать ингибирующее действие и на процесс естественного вовлечения азота в биологический круговорот – азотфиксацию. Это происходит как за счет симбиотической азотфиксации в результате угнетения жизнедеятельности азотфиксирующих клубеньковых бактерий, так и не симбиотической. Наиболее явно ингибирование азотфиксации наблюдается при загрязнении микро- и ультрамикроэлементами в концентрациях, в 10 и более раз превышающих фоновые. При поступлении избыточных количеств тяжелых элементов снижается ферментативная активность почвы.

Попадание микроудобрений в грунтовые и поверхностные воды может отрицательно сказаться на здоровье животных и человека. Нарушение сбалансированности питания растений макро- и микроэлементами приводит к различным заболеваниям и ухудшению фитосанитарного состояния почвы. У микро- и ультрамикроэлементов очень узок оптимальный и безвредный интервал концентрации – это усиливает их опасность.

Однако отказ от включения микроэлементов в систему удобрения севооборота приведет к резкому снижению эффективности вносимых минеральных удобрений и недобору урожая, т. к. многие почвы не содержат необходимое количество микроэлементов. Вместе с тем, им принадлежит важное место в комплексе приемов природоохранной агротехники возделывания сельскохозяйственных культур. Ингибируя процесс нитрификации и подавляя активность уреазы, микроэлементы, внесенные в оптимальных нормах, способствуют сохранению аммонийного и амидного азота в почве более продолжительное время, тем самым предохраняя окружающую среду нитратами и нитритами. Они, усиливая минерализацию почвенного азота, увеличивают размеры усвоения растениями экстра-азота. Аналогичное воздействие микроэлементы оказывают на органические соединения фосфора в почве. Они повышают фунгистатичность почвы и коэффициенты использования растениями азота, фосфора и калия из удобрений; увеличивают урожай и улучшают его качество.

Практически все микро- и ультрамикроэлементы относятся к группе тяжелых элементов и необходимо своевременно принимать контрмеры, позволяющие предотвратить возможное их отрицательное воздействие на агроценозы и окружающую среду в целом. Для снижения их поступления из почвы в растения можно использовать известкование, внесение фосфорных удобрений, поддержание положительного баланса гумуса в почве за счет внесения навоза и сидератов, применение активированных углей в качестве фильтров для предотвращения накопления тяжелых элементов в урожае.

На аккумуляцию микро- и ультрамикроэлементов в почвах и растениях, наряду с агрогенными, влияют природные и техногенные факторы (рис. 24; [26]). Почвообразующие породы разного гранулометрического состава сильно отличаются по степени накопления тяжелых элементов [26]. Больше всего они закрепляются в иле, значительно меньше – в пыли, особенно мало – в песке. Изменение в гранулометрическом составе почв может коренным образом изменить пул подвижных соединений тяжелых элементов и повлиять на их накопление в растениях. Тяжелые элементы распределяются по органам растений неравномерно. Больше всего их накапливается, как правило, в корневых волосках, меньше – в корнях, еще меньше – в стеблях и особенно мало – в плодах. Значительное влияние на накопление и распределение тяжелых элементов по органам растений оказывают биологические особенности культуры. Среди распространенных сельскохозяйственных культур избыточным накоплением тяжелых элементов отличаются в первую очередь овощи. Аккумуляция тяжелых элементов также во многом зависит от генотипа. Подбор сортов в соответствии с требованиями культуры, возможностями плодородия почв и условиями агротехники позволяет в значительной мере снизить накопление тяжелых элементов в растениях до экологически безопасного уровня.

К наиболее значительным факторам, вызывающим загрязнение окружающей среды, относятся техногенные факторы. Улучшить коренным образом экологическую обстановку при техногенном загрязнении можно только на основе сокращения промышленных выбросов или перехода промышленного производства на безотходные технологии. По данным О.А. Подколзина [31] основным источником загрязнения почв тяжелыми элементами являются не агрохимические средства, а атмосферные осадки (табл. 176).

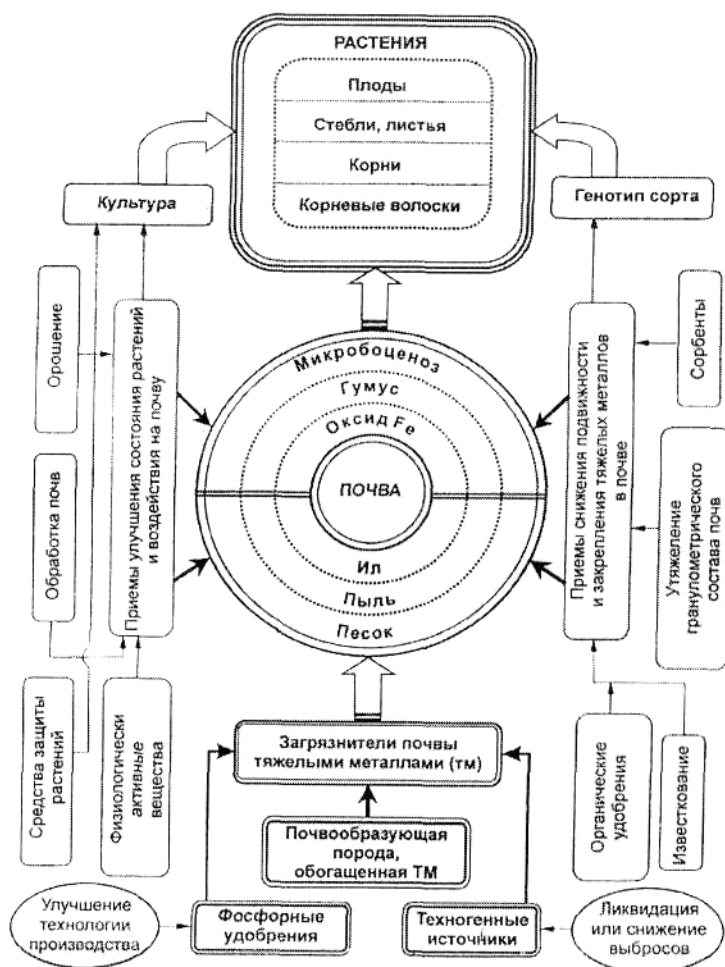


Рисунок 24 – Основные потоки загрязнения почв и растений тяжелыми элементами и пути их детоксикации

Таблица 176 – Среднегодовое поступление тяжелых элементов в агроценозы

| Источник поступления | Pb | | Cd | | Zn | | Cu | | Ni | |
|------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | г/га | % | г/га | % | г/га | % | г/га | % | г/га | % |
| Минеральные удобрения | 0,409 | 0,4 | 0,045 | 2,5 | 2,236 | 0,5 | 1,667 | 2,1 | 1,124 | 2,4 |
| Органические удобрения | 2,224 | 2,4 | 0,844 | 46,5 | 9,281 | 2,2 | 1,841 | 2,3 | 6,75 | 14,4 |
| Гипсование | 0,462 | 0,5 | 0,055 | 3,0 | 0,737 | 0,2 | 0,539 | 0,7 | 0,094 | 0,2 |
| Атмосферные осадки | 89,939 | 96,7 | 0,872 | 48,0 | 413,84 | 97,1 | 77,16 | 94,9 | 38,81 | 83,0 |
| Суммарное поступление | 93,034 | 100,0 | 1,816 | 100,0 | 426,1 | 100,0 | 81,204 | 100,0 | 46,784 | 100,0 |

Поступление тяжелых элементов с органическими удобрениями превышает таковой с минеральными туками и химическими мелиорантами вместе взятых. Наибольшим количеством тяжелых элементов среди минеральных удобрений отличаются фосфорные (табл. 177).

Таблица 177 – Сельскохозяйственные источники загрязнения почв тяжелыми элементами, мг/кг сухой массы

| Элемент | Ороше- ние сточ- ными водами | Фосфор- ные удоб- рения | Известко- вые мате- риалы | Азотные удобре- ния | Органиче- ские удобрения | Пестициды |
|---------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------|
| Cd | 2–1500 | 0,1–170 | 0,04–0,1 | 0,05–8,5 | 0,3–0,8 | – |
| Co | 2–260 | 1–12 | 0,4–3,0 | 5,4–12 | 0,3–24 | – |
| Cu | 50–3300 | 1–300 | 2–125 | 1–15 | 2–60 | 12–50 |
| Mn | 60–3900 | 40–2000 | 40–1200 | – | 30–550 | – |
| Pb | 50–3000 | 7–225 | 20–1250 | 2–27 | 6,6–15 | 60 |
| Zn | 700–49000 | 50–1450 | 10–450 | 1–42 | 15–250 | 1,3–25 |

Наименьшие количества тяжелых элементов содержат азотные удобрения; калийные – близки к азотным, исключение составляет свинец, по уровню содержания которого они значительно превышают их. По содержанию в азотных и калийных удобрениях тяжелые элементы образуют сходные убывающие ряды:

мочевина – Fe>Ni>Zn>Mn>Pb>Cu>Cd;

хлористый калий – Fe>Ni>Mn>Pb>Zn>Cu>Cd.

Количество тяжелых элементов в известии, как правило, не превышает их содержание в фосфорных удобрениях. Органические удобрения также характеризуются невысоким их содержанием. Однако следует учитывать, что органические удобрения применяют в гораздо более высоких нормах, особенно в зонах размещения индустриального животноводства и птицеводства. Так, в навозе и навозной жиже содержание тяжелых элементов может составлять: кадмия – до 40 мг/кг, свинца – 15 мг/кг воздушно-сухого вещества. При норме органических удобрений 50 т/га в почву может поступать свинца 38 г/га, кадмия 2,3 г/га. Применение минеральных удобрений дает не более 2,5–3,0% загрязнения почв тяжелыми элементами, а поступление их с органическими удобрениями и осадками сточных вод может достигать 25 % общего потока тяжелых элементов [28].

Агротехногенные тяжелые элементы, попадая в почву, недолго существуют в форме сульфатов и оксидов, в которой они обычно присутствуют в выбросах. Процесс их трансформации в почве в процессе техногенеза включает следующие стадии:

1) преобразование оксидов тяжелых элементов в гидроксиды (карбонаты, гидрокарбонаты);

2) растворение гидроксидов (карбонатов, гидрокарбонатов) тяжелых элементов и адсорбция их твердой фазой почв;

3) образование фосфатов тяжелых элементов и их соединений с органическим веществом почвы.

Негативное действие тяжелых элементов может быть прямым и косвенным. В первом случае блокируются реакции с участием ферментов, что приводит к уменьшению или прекращению их каталитических действий. Косвенное воздействие проявляется в переводе питательных веществ в недоступное для растений состояние. Опасность загрязнения тяжелыми элементами усиливается еще и слабым выведением их из почвы. Продолжительность пребывания загрязняющих компонентов в почвах несравнимо больше,

чем в других частях биосферы, в связи с чем загрязнение почв тяжелыми элементами, по-видимому, практически вечно. Период полужизни: для тяжелых элементов из почвы (выщелачивание, водная эрозия, потребление растениями, дефляция) составляет в зависимости от типа почвы цинка – 70–510, кадмия – 13–1100, меди – 310–1500, свинца – 740–5900 лет.

Сложные и иногда необратимые последствия воздействия тяжелых элементов можно понять и предвидеть только на основе ландшафтно-биогеохимического подхода к проблеме токсикантов в биосфере. Особенно влияют на уровень загрязнения и токсико-экологическую ситуацию [8]:

- 1) биопродуктивность почв;
- 2) кислотно-основной характер почв и вод;
- 3) окислительно-восстановительные условия;
- 4) концентрация почвенных растворов;
- 5) поглощательная способность почв;
- 6) гранулометрический состав почв;
- 7) тип водного режима.

Тяжелые элементы более прочно закрепляются в почве при высоких значениях рН, т. к. в щелочных условиях возрастает устойчивость органо-минеральных комплексов.

Подвижность тяжелых элементов существенно изменяется под действием минеральных удобрений. Внесение физиологически кислых минеральных удобрений способствует повышению кислотности почвы и подвижности тяжелых элементов: цинка – с 13,4 до 19 %, меди – с 2,6 до 4,7, свинца – с 5,0 до 7,4 и кадмия – с 19,6 до 28,3 %, т. к. значительная часть их переходит из обменно-поглощенного состояния в почвенный раствор. Изменение рН почвы с 4,5 до 7 способствует снижению поступления кадмия, свинца и цинка в растения, даже при самом высоком уровне их содержания в почве, в 5–10 раз. В связи с этим известкование почв является одним из основных элементов их рекультивации.

Фосфорные удобрения обладают значительной способностью к детоксикации тяжелых элементов, обусловленной тем, что большинство металлофосфатов является мало- и нерастворимыми соединениями. Кроме того, при внесении фосфорных удобрений в почвенном растворе появляется больше ионов кальция – антагониста свинца, что также в значительной степени ограничивает поступление свинца в растения.

Как было уже отмечено, основной источник загрязнения окружающей среды тяжелыми элементами не минеральные удобрения, а различного рода выбросы промышленных предприятий, осадки сточных вод, используемые в качестве удобрений, кислотные дожди и выхлопные газы автотранспорта [11, 45, 60]. Все они, вместе взятые, приводят к накоплению различных поллютантов в почве и создают экологическую напряженность. Это утверждение подтверждено результатами длительных агрохимических опытов. Так, в 130-летних опытах Ротамстедской опытной станции ежегодное применение суперфосфатов в количестве 75 кг/га не привело к заметным потерям фосфора из пахотного слоя и накоплению в почве балластных элементов, присутствующих в них. Вообще европейские страны, где количество вносимых минеральных удобрений в разы превышает объемы в России, мало озабочены проблемой загрязнения почвы минеральными удобрениями. При нынешней интенсивности применения агрохимических средств на дерново-подзолистых

почвах содержание свинца, кадмия и никеля сохраняется на уровне фона в течение 50 лет, а превышение ПДК возможно не ранее, чем через 200 лет [49].

Почва способна активно трансформировать поступающие в нее соединения тяжелых элементов, при этом водорастворимые формы переходят в ионообменные и труднорастворимые. Одним из основных механизмов связывания тяжелых элементов органическими соединениями является процесс комплексообразования. Стабильность их комплексных соединений уменьшается в следующей последовательности: $Hg > Cu > Ni > Pb > Co > Zn > Cd > Fe > Mn > Ca$.

Степень загрязнения почвы тем или иным отдельным веществом характеризуется коэффициентом концентрации (K_c) химического вещества (элемента), который рассчитывается по формуле:

$$K_c = C_i / C_{\phi i},$$

где: C_i – фактическое содержание вещества в почве, мг/кг;

$C_{\phi i}$ – региональное фоновое содержание вещества в почве.

За фоновое содержание химического соединения или элемента в почве принимается его количество в почве, не испытывающей заметного антропогенного воздействия, или руководствуются утвержденными нормативами.

При необходимости оценки общего загрязнения почвы используют суммарный показатель загрязнения (Z_c), равный сумме коэффициентов концентраций химических элементов-загрязнителей и выражается формулой:

$$Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1),$$

где: K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения;

n – число определяемых суммируемых веществ.

Необходимо отметить, что в принципе не существует механизмов самоочищения почв от тяжелых элементов. Они лишь перемещаются из одного природного резервуара в другой, взаимодействуя с различными категориями живых организмов, повсюду оставляя негативные последствия этого взаимодействия.

Для комплексной оценки воздействия для каждого элемента необходимо различать четыре уровня концентрации [59]:

- 1) дефицит элемента, когда организм страдает от его недостатка;
- 2) оптимальное содержание, способствующее хорошему состоянию организма;
- 3) терпимые концентрации, когда депрессия организма лишь начинает проявляться;
- 4) губительные для данного организма концентрации.

Проблема накопления в растениях избыточного количества тяжелых элементов вследствие интенсивного агро- и техногенного загрязнения усугубляется тем, что почва – не единственный источник их поступления в растения. Негативное воздействие этих элементов на растения не сводится лишь к угнетению их роста и развития, а также загрязнению растениеводческой продукции. Имеют место и другие побочные воздействия, которые могут быть положительными, а чаще отрицательными. Положительное влияние обусловлено их фунгицидными свойствами. Так, медь, молибден, кобальт снижают заболеваемость подсолнечника белой гнилью, медь и железо – картофель фитофторозом. Отрицательные воздействия тяжелых элементов на растения проявляются в синтезе токсичных химических веществ, накопле-

нии специфических низкомолекулярных белков, снижении содержания растворимых углеводов, жира, клетчатки, замещении функций других элементов. Вследствие этих процессов снижается количество и качество урожая.

Следует иметь в виду, что нет прямой связи между уровнем загрязнения почв и интенсивностью их поступления в растения, т. к. имеются физиолого-биохимические защитные механизмы, препятствующие этому процессу, и растения из разных таксонов отличаются по способности поглощать и накапливать. Бобовые более активно концентрируют тяжелые элементы, чем зерновые. Сельскохозяйственные культуры отличаются по способности аккумулировать тяжелые элементы. Овес поглощает элементы с интенсивностью в последовательности – Cu>Co>Cr>Zn>Mn; пшеница – Cd>Cu>Zn; кукуруза, подсолнечник – Cd>Pb; рожь – Zn>Cd> Pb>Cu. Токсичные для растений концентрации тяжелых элементов в зависимости от свойств почв могут варьировать в значительной степени (табл. 178).

Таблица 178 – Критические уровни содержания тяжелых элементов в растениях и кормах, мг/кг сухого вещества

| Элемент | Растения | Корма |
|---------|----------|----------|
| Свинец | 10–20 | 10–30 |
| Медь | 15–40 | 10–300 |
| Кадмий | 5–10 | 0,5–1,0 |
| Цинк | 150–500 | 300–1000 |
| Кобальт | 10–100 | 10–50 |

Толерантность к тяжелым элементам у растений генетически контролируется и имеет определенную емкость. Когда способность корней задерживать их исчерпывается, они поступают в листья и плоды. Характер распределения тяжелых элементов по органам растения следующий: корни > стебли > листья > запасающие ткани, плоды и семена.

Разная степень аккумуляции тяжелых элементов растениями обусловлена не только их биологическими особенностями, но и экологическими факторами. Растения, имеющие низкие температуры прорастания семян, высокую толерантность к весенним заморозкам, но требовательные к теплу, в период активного роста накапливают в своих органах больше тяжелых элементов. Чем продолжительнее период вегетации и больше урожай, тем больше его аккумуляционная способность в отношении этих элементов, которая возрастает у видов, требующих для своего развития большего количества воды, калия и фосфора. Накопление тяжелых элементов в растениях возрастает с увеличением количества тепла, продолжительности периода суховея в вегетационный период, выноса с урожаем из почвы азота, фосфора, калия [22].

Необходимость оценки растительной продукции по показателям безопасности зависит как от свойств самих растений, так и от степени загрязнения почв (табл. 179). Если содержание токсикантов в почве не превышает 0,5 ПДК (незагрязненная почва), то определение их в растениях не является обязательным. Если почва загрязнена, необходимо в продукции контролировать содержание тех элементов, которые присутствуют в почве в повышенных количествах. Кроме того, во всех случаях для культур, способных к активному нитратонакоплению (овощные, зеленные, кормовые культуры, травы и т.д.), следует определить содержание нитратов.

Таблица 179 – Устойчивость сельскохозяйственных культур к загрязнению тяжелыми элементами

| Устойчивость | Культура |
|--------------|--|
| Слабая | Салат, шпинат, свекла столовая, укроп, лук, петрушка |
| Средняя | Картофель, морковь, редис, свекла сахарная и кормовая, томаты, огурцы, капуста, соя |
| Высокая | Зерновые и технические культуры, кукуруза и травы на силос, бобовые и злаковые травы на сено, все культуры на семена |

М.С. Панин [29] приводит ряды содержания элементов в зерне различных культур:

овес: Fe > Mn > Al > Zn > Ti > Ni > B > Cu > Cr > Mo > Pb > Sn > Cd > V > Co;
 гречиха: Mn > Fe > Zn > Cu > Mo > Pb > Co > Cd;
 ячмень: Al > Fe > Mn > Zn > Ti > Cr > B > Cu > Ni > Mo > Pb > V > Sn > Co > Cd;
 просо: Al > Fe > Mn > Zn > Ti > B > Ni > Cr > Cu > Mo > Sn > Pb > V > Co > Cd;
 горох: Fe > Mn > Zn > Cu > Mo > Pb > Co > Cd;
 яровая пшеница: Mn > Fe > Al > Zn > Cu > B > Ti > Mo > Cr > Ni > Sn > Cd > Co = Pb > V;
 озимая пшеница: Mn > Fe > Zn > Cu > Mo > Cd > Co = Pb;
 кукуруза: Fe > Zn > Mn > Cu > Mo > Pb > Co > Cd.

Загрязнение природной среды тяжелыми элементами, как правило, приводит к обеднению флоры вследствие выпадения чувствительных видов. В результате формируются фитоценозы с ограниченным числом видов или даже моноценозы. Для таких сообществ характерны обычные виды местной флоры, которые переносят большие концентрации тяжелых элементов или благодаря исходно высокой устойчивости вида к этим элементам в целом, или в результате формирования устойчивых к ним популяций.

9.1.2. Органические удобрения

Органические удобрения являются необходимым элементом современного сельскохозяйственного производства. Они способствуют уменьшению дегумификации почвы, а в сочетании с посевом многолетних трав – созданию бездефицитного баланса гумуса. Вместе с тем их применение активно влияет на биогеохимические циклы обмена веществ и на экологическое равновесие природных систем. Органические удобрения неотрывно связаны с круговоротом веществ в земледелии.

В общем виде возникающие негативные последствия утилизации отходов животноводства можно представить следующим образом [44]:

- накопление в почве биогенных элементов, и прежде всего азота и фосфора;
- повышение содержания в почве тяжелых элементов;
- нарушения в составе микробсообщества и микробиологической активности почв;
- снижение качества растительной продукции, выращиваемой на полях утилизации отходов.

В состав органических удобрений, помимо элементов питания, входят около 0,08–0,6 % соды, нитрозамины, вирусы, бактерии, личинки и яйца

гельминтов и других возбудителей инфекционных заболеваний человека и животных (табл. 180).

Таблица 180 – Содержание микроорганизмов в жидком навозе, клеток/мл

| Микроорганизмы | Навоз | |
|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| | свиней | крупного рогатого скота |
| Бактерии: аэробные | $10^6-7,5 \cdot 10^7$ | $3,4 \cdot 10^6-4 \cdot 10^6$ |
| анаэробные | $10^7-2 \cdot 10^8$ | $8 \cdot 10^7-2 \cdot 10^{12}$ |
| Колиформы | $10^4-3,8 \cdot 10^6$ | $10^3-3 \cdot 10^5$ |
| Энтерококки | $10-1,2 \cdot 10^6$ | $2 \cdot 10^6-7 \cdot 10^5$ |
| Стафилококки | $10^{10}-10^{12}$ | 10^5-10^7 |
| Клостридии | $1,8 \cdot 10^{12}-4 \cdot 10^4$ | $2 \cdot 10^2-1,6 \cdot 10^4$ |
| Сальмонеллы | в большинстве случаев | в большинстве случаев |

Возбудители болезней животных и человека сохраняются в навозе и помете летом от 7 до 20 дней, в осенне-зимний период от 19 до 60 дней. Разбавление навоза водой приводит к увеличению периода их выживаемости более чем в 3 раза по сравнению с сохраняемостью в компактной массе навоза. Яйца гельминтов в жидком навозе, заложенном в отстойниках открытого типа в октябре-ноябре, сохраняют жизнеспособность 12 месяцев и более, а в навозе весенне-летнего периода – 4–5 месяцев. В связи с этим необходимо постоянно обеззараживать получаемый навоз.

Кроме возбудителей болезней в навозе присутствует значительное количество микроэлементов. Результаты определений содержания тяжелых элементов в навозе крупного рогатого скота, получаемом на молочно-товарной ферме учхоза «Кубань» и на крупном откормочном комплексе крупного рогатого скота показали, что в навозе, полученном при откорме, по сравнению с навозом от молочного стада, меди содержится больше в 4,5 раза, свинца – почти в 2 раза, молибдена – в 3 раза (табл. 181; [7]). Содержание в навозе тяжелых элементов обуславливается не только составом кормов, но и широким применением кормовых добавок, содержащих медь, цинк, кобальт, селен, железо. Наибольшие нормы минеральных добавок к кормам применяются при откорме животных, особенно свиней.

Таблица 181 – Содержание тяжелых элементов в навозе

| Элемент | Учхоз «Кубань» | Откормочный комплекс КРС |
|----------|-----------------------|--------------------------|
| | мг/кг сухого вещества | |
| Медь | 27 | 120 |
| Свинец | 21 | 40 |
| Цинк | 84 | 80 |
| Молибден | 2,1 | 6,3 |
| Хром | 87 | 100 |

Ограниченная земельная площадь животноводческих комплексов и невыгодность перевозок навоза на дальние расстояния часто приводит к применению на прилегающих сельскохозяйственных угодьях сверхвысоких норм бесподстилочного навоза. Длительное его применение ведет к загрязнению почвенного профиля и подземных вод нитратами, соединениями фосфора и

тяжелыми элементами. Избыток их не только снижает урожай сельскохозяйственных культур, но и делает их непригодными на корм и в пищу. Известны случаи гибели овец, выпасавшихся на переудобренных навозом лугах. Тяжелые элементы накапливаются вблизи комплексов такими темпами, что со временем почва здесь может превратиться в рудное тело, т. к. накопление элементов значительно превышает их вынос с урожаем. Поэтому нормы внесения навоза, в целях безопасности, целесообразно соизмерять не только с содержанием в нем азота, фосфора и калия, но и с наличием тяжелых элементов. Косвенным показателем последнего служат данные о нормах применяемых на данной ферме или комплексе минеральных добавок к кормам. При систематическом применении жидкого навоза крупного рогатого скота нормы его не должны превышать 30–35 м³/га, свиного – 20–25 и птичьего помета 15–20 м³/га. С жидким навозом должно вноситься не более 300 кг/га азота.

Разработка безопасной технологии применения органосодержащих отходов народного хозяйства начинается с анализа сведений о климате, почвах, геологических и гидрологических особенностях, а также ландшафтной характеристике территории; особое внимание следует обратить на защищенность водоносных горизонтов, наличие водоохраных зон, существующий уровень загрязнения почв. Проверяют соответствие каждой конкретной партии требованиям к химическим, микробиологическим, физическим и другим свойствам отходов, которые будут определять возможность внесения; способ безопасного хранения отходов (если оно предполагается) и подготовки к внесению (если требуется). На основании этих требований рассчитывают безопасные нормы внесения отходов с учетом экологических ограничений [44]:

Экологически допустимые нормы отхода с учетом содержания в нем тяжелых элементов определяется по следующим формулам:

$$D_{\text{общ.}} = \frac{(0,8 \text{ ПДК} - \Phi) m}{c},$$

$$D_{\text{уд.}} = \frac{0,1 \text{ ПДК} \times m}{c},$$

где: $D_{\text{общ.}}$ – норма внесения отхода, т/га сухого вещества;
 $D_{\text{уд.}}$ – максимально допустимая разовая доза внесения отхода, т/га сухого вещества;
 ПДК – предельно допустимая концентрация загрязнителя в почве, мг/кг;
 Φ – фактическое содержание загрязнителя в почве, мг/кг;
 c – концентрация загрязнителя в отходе, мг/кг сухого вещества;
 m – масса пахотного слоя почвы в пересчете на сухое вещество, т/га.

$$D_{\text{общ.}} = \frac{0,8 (\text{ПДК} - C_{\text{фон}}) \cdot m \cdot k}{(C_{\text{отход}} - C_{\text{фон}}) \cdot [1 - \exp(-k \cdot T)]}$$

где: $D_{\text{общ.}}$ – допустимая норма органического отхода, т/га;
 $C_{\text{фон}}$ – концентрация тяжелых элементов в почве до внесения отхода, мг/кг;
 $C_{\text{отход}}$ – концентрация тяжелых элементов в отходе, мг/кг;
 m – масса пахотного слоя, т;
 k – общая константа выноса элемента из почвы, год;
 T – количество лет, в течение которых планируется вносить отход в почву.

Норма отхода с учетом содержания в нем азота определяется по формуле:

$$D_{N \text{ мин.}} = \frac{(B \cdot Y)}{C_{N \text{ мин.}}}$$

$$D_{N \text{ общ.}} = \frac{300}{C_{N \text{ общ.}}},$$

где: $D_{N \text{ мин.}}$ – теоретически допустимая доза отхода, определенная с учетом содержания в нем минерального азота, т/га сухой массы;
 B – вынос азота 1 т урожая;
 Y – урожай основной продукции, т/га;
 $C_{N \text{ мин.}}$ – содержание минерального азота в 1 т сухой массы отхода, кг;
 $D_{N \text{ общ.}}$ – теоретически допустимая норма отхода, т/га сухой массы;
 $C_{N \text{ общ.}}$ – содержание общего азота в 1 т сухой массы отхода, кг;
 300 – максимальная норма внесения азота с отходом, кг/га.

При внесении избыточного количества животноводческих стоков в почву усиливается накопление ионов аммония, хлора, сульфат-ионов, значительно повышается концентрация одновалентных катионов, что может способствовать ее засолению. Подвижные формы азота, содержащиеся в навозе, легко вымываются и улетучиваются из почвы, вызывая загрязнение грунтовых вод и атмосферы. Избыток фосфатов приводит к переходу содержащегося в почве железа в недоступное для растений состояние. Избыточное поступление с навозом калия блокирует усвоение растениями магния.

В случае сопряженного ландшафта, когда сельскохозяйственные поля занимают положительные элементы рельефа, содержащиеся в органических удобрениях элементы питания выносятся с поля поверхностными и фильтрационными водами. В результате этого пониженные места рельефа и природные водоемы заполняются водами, содержащими повышенное количество биогенных элементов. Происходит эвтрофикация водоемов, т. е. усиленное размножение планктона, одноклеточных и многоклеточных водорослей вследствие чрезмерного повышения концентрации элементов питания. Кроме того, усиленно разрастается прибрежная флора. Элементы питания, поступающие в водоемы из органических удобрений, усиливают биологическую активность, вызывают помутнение воды, а для разложения отмершей биологической массы расходуется в больших количествах кислород. Дефицит растворенного в воде кислорода приводит к гибели водных организмов и в первую очередь рыб. В результате в водоеме прекращается жизнь высших организмов, в то время как для гетеротрофных бактерий создаются благоприятные условия. Процессы распада происходят теперь уже в среде, ставшей раскислителем, аэробные бактерии в ней вытеснены анаэробными. Последние обходятся без свободного молекулярного кислорода, а потребляют кислород химических соединений – нитратов, сульфатов, органических соединений. Продукты распада, которые накапливаются в водоемах, в большей части являются вредными веществами (метан, амины, сульфиды и сероводород), вызывающими загнивание природных вод.

Органические удобрения оказывают значительное влияние и на состав атмосферного воздуха. При накоплении большой массы навоза и нарушении правил его хранения существует опасность образования газообразных органических соединений азота. Кроме аммиака, летучих азотистых веществ, из навоза выделяются сернистые соединения и свободный сероводород. ПДК аммиака в атмосферном воздухе не должен превышать $0,20 \text{ мг/м}^3$, диоксида серы – $0,05$, сероводорода – $0,008$, диоксида азота – $0,035 \text{ мг/м}^3$.

Особенно опасно для человечества появления в стратосфере даже незначительных количеств оксидов азота, что влечет за собой быстрое разрушение озонового экрана стратосферы и прорыв потока ультрафиолетовой радиации в тропосферу и биосферу с губительными последствиями для жизни. Закись азота N_2O , образовавшаяся в результате денитрификации, окисляется озоном до N_2O_5 и N_2O_3 , которые при взаимодействии с молекулами воды образуют азотную и азотистую кислоты. Эти кислоты выпадают с атмосферными осадками на сушу и поверхность океана.

Отходы животноводства являются источником распространения неприятных запахов на расстоянии до 5–17 км от комплексов. Повышенное содержание аммиака в воздухе наблюдается в радиусе до 5 км. Продукты распада навоза и птичьего помета вызывают аллергические и сердечные заболевания, воспаление слизистых оболочек у людей и животных. При большом разрыве между внесением и заделкой органических удобрений в атмосферу выделяется аммиак, сероводород, органическая пыль, которые, попадая в воздух, распространяются в радиусе более 3–4 км. Поэтому, для уменьшения вредного воздействия требуется строгое соблюдение установленных технологических операций.

К использованию в качестве органических удобрений допускаются только материалы, соответствующие изложенным в таблице 182 требованиям.

Таблица 182 – Требования к физическим, механическим и агрохимическим свойствам удобрений производимым на основе навоза

| Показатель | Норматив для фракции навоза | |
|--|-----------------------------|---------------|
| | твердой | жидкой |
| Массовая доля сухого вещества, % | не менее 25 | не более 3 |
| Содержание балластных инородных механических включений, % от сухого вещества | | |
| – с высокой удельной массой (камни, щебень, металл и т. д.) размером >40 мм | не более 1,5 | не более 1,0 |
| – с низкой удельной массой (шпагат, щепа и т. д.) размером <150 мм | не более 1,5 | не более 1,0 |
| Размер частиц удобрений, мм | не более 50 | не более 10 |
| Показатель активности водородных ионов (реакция водной среды, pH) | 6,0–8,5 | |
| Массовая доля органического вещества, на сухое вещество | не менее 50 | не менее 70 |
| Массовая доля питательных веществ в удобрении с исходной влажностью | | |
| – азота общего | не менее 0,3 | не менее 0,05 |
| – фосфора общего в пересчете на P_2O_5 | не менее 0,2 | не менее 0,01 |
| – калий общий в пересчете на K_2O | не менее 0,2 | не менее 0,01 |

Органические удобрения запрещается применять на затопляемых полях, в водоохранной зоне рыбохозяйственных водоемов, прибрежной полосе рек и закрытых водоемов.

Жидкую фракцию навоза не следует применять:

– на территории I и II поясов зоны санитарной охраны источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения (в связи с этим в

зоне санитарной охраны скважин, используемых в качестве источника водоснабжения для нужд предприятия, внесение навоза следует исключить);

– на территории выклинивания водоносных горизонтов, а также трещиноватых пород и карстов, не перекрытых водоупорным слоем;

– при глубине залегания грунтовых вод от поверхности земли менее 1,25 м на песчаных и супесчаных почвах и менее 1,0 м на суглинистых и глинистых почвах.

Жидкий навоз из-за текучести и неспособности задержаться на поверхности почвы при уклоне местности загрязняет окружающую среду значительно больше, чем подстилочный. Его отрицательное влияние на окружающую среду происходит вследствие миграции веществ по почвенному профилю до грунтовых вод, выделения азота и других веществ в газообразной форме в атмосферу, ухудшения физико-химических свойств и баланса элементов питания почвы вследствие длительного применения высоких норм на постоянных участках, увеличения содержания в растительной продукции концентрации нитратов и тяжелых элементов, негативно влияющих на здоровье животных и человека.

По данным Н.М. Белоуса [2], промышленный комплекс по производству мяса крупного рогатого скота на 100 тыс. голов по возможности загрязнения природы равен городу с 1 млн. жителей. Навоз свиней обладает еще большей загрязняющей способностью, вызывая к тому же изменения в почвенно-поглощающем комплексе и увеличивая долю натрия до 4,3 % от суммы поглощенных оснований.

В зависимости от поголовья скота на животноводческих комплексах устанавливают размеры земельных угодий, необходимых для утилизации навоза в качестве удобрения. Ориентировочно площади для утилизации животноводческих стоков определяют из расчета 1500 кг массы крупного рогатого скота на 1 га и 1200 кг – свиней.

Основным направлением переработки и утилизации отходов животноводства является использование животноводческих отходов в качестве органического удобрения в растениеводстве, главным образом, для выращивания кормовых культур. Это предотвращает сброс стоков в водоемы, повышает плодородие почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. Разработаны и рекомендованы в производство следующие технологии использования органических удобрений: раздельное внесение жидкой и твердой фракций навоза, внесение жидкого навоза посредством дождевального оборудования. Жидкий навоз разделяют на фракции или измельчают твердые включения и с помощью дальнеструйных установок распределяют по поверхности почвы. Расстояние от полей, которые поливают жидким навозом, до жилых построек в соответствии с правилами устанавливается не менее 400 м, а при орошении разбавленным жидким навозом, прошедшим биологическую очистку – 200 м. Использование навозных стоков для удобрения полей основной, но не единственный способ их утилизации. Разработаны проекты сооружений с полной биологической очисткой навозных стоков, а также методы обработки и обеззараживания навоза, в т. ч. биологические, термические, химические и радиационные. Обеззараженные стоки могут быть использованы в рыбоводно-биологических прудах, при этом повышается рыбопродуктивность без дополнительного кормления рыб.

Перспективно получение из животноводческих отходов кормовых добавок. При обработке навозных стоков свиноводческих комплексов производят кормовые дрожжи, содержащие 45 % протеина, 35% белка и ряд других продук-

тов метаболизма – фурфурол, лигнин. Кроме того, изучают возможность выращивания на навозных стоках водной растительности (ряска, водный гиацинт, хлорелла) с целью получения дополнительных кормов для скота, а также быстрорастущей древесины. Перспективным способом утилизации отходов животноводческих комплексов признано использование их для получения биогаза, образующегося при анаэробном разложении навоза. Биогаз из отходов свиноводческих комплексов содержит до 69 % метана. Из 1 кг отходов получают около 0,7 м³ газа. При анаэробном метановом сбраживании навоз полностью обеззараживается, улучшаются его удобрительные свойства, благодаря сохранению азота и переводу значительной его части в легкоусвояемую растениями минеральную форму. Путем обеззараживания и обезвоживания навоза, в частности куриного помета, получают органо-минеральные удобрения промышленного типа.

Таким образом, организация санитарно-защитных зон и внедрение различных методов обработки и обеззараживания навоза способствуют утилизации навоза и сведению к минимуму опасности загрязнения окружающей среды.

В качестве органического удобрения применяются также осадки сточных вод, не уступающие навозу по содержанию биогенных элементов питания растений – азота, фосфора, калия, магния и органического вещества. Однако применение осадков сточных вод в удобрительных целях ограничивается, кроме необходимости их обеззараживания, наличием тяжелых элементов. Содержание кобальта, меди, цинка, марганца, молибдена, бора и ряда других элементов позволяет рассматривать осадки сточных вод как источник микроэлементов, необходимых для растений при нормированном внесении в почву. С другой стороны, наличие микроэлементов в повышенных количествах, а также содержание особо токсичных тяжелых элементов – кадмия, свинца, ртути и ряда других, ограничивают возможности применения осадков сточных вод в качестве удобрения.

Наиболее существенными нарушениями технологии использования органических удобрений В.Г. Минеев [25] считает:

- недостаточное использование подстилочных материалов и несовершенство систем навозоудаления, что не только в 1,5–2 раза уменьшает выход высококачественных органических удобрений, но и приводит к потерям жидких фракций;
- неравномерное внесение навоза и компостов;
- нарушение соотношения численности животных и удобряемой площади, что ведет к избыточному удобрению полей, загрязнению окружающей среды;
- недостаток при животноводческих комплексах ирригационно-подготовленных площадей для использования животноводческих стоков (при гидросмыве) и жидкой фракции бесподстилочного навоза на орошение, а также слабое развитие трубопроводного транспорта и полевых навозохранилищ, что значительно повышает эксплуатационные затраты по сравнению с использованием мобильных средств, возрастают и потери навоза;
- недооценку использования бесподстилочного навоза в сочетании с измельченной и рассеянной по полю во время уборки зерновых соломой и сидерацией полей.

Кадмий. Среди тяжелых элементов одним из наиболее токсичных для живых организмов считается кадмий. На сегодняшний день во многих стра-

нах мира почвы, предназначенные для сельскохозяйственного производства, загрязнены этим элементом вследствие широкого применения агрохимикатов и осадков сточных вод, содержащих в своем составе кадмий. Это в значительной степени ограничивает их использование для выращивания продовольственных культур, поскольку кадмий не только поглощается корнями, но и способен перемещаться в надземные органы растений. Опасность кадмия усугубляется ещё и тем, что он накапливается в растениях и сохраняет токсические свойства в течение длительного времени [25, 43, 45].

В основе токсического действия кадмия на растения лежит его высокое сродство к сульфгидрильным группам белков. Встраиваясь в молекулу структурного белка, этот элемент вызывает замедление клеточного деления, изменяет структуру и проницаемость мембран, снижает активность ферментов и ферментативных систем. В результате происходят изменения основных физиологических процессов: ингибируются фотосинтетические реакции, изменяется интенсивность дыхания, нарушается водный обмен и минеральное питание. Это задерживает рост и развитие растений и, в конечном счете, приводит к значительному снижению их продуктивности, а в отдельных случаях даже к гибели (рис. 25).



Рисунок 25 – Токсическое действие кадмия на растения

Степень влияния кадмия на физиологические процессы и продуктивность растений, в значительной степени определяется его концентрацией в окружающей среде. При невысоких концентрациях наблюдаемые в растениях изменения чаще всего обратимы. Более того, согласованность основных физиологических процессов при этом может сохраняться, а иногда даже наблюдается интенсификация части из них. В присутствии кадмия в концентрациях, превышающих определенные пороговые значения для данного вида, в клетках и тканях растения могут происходить необратимые структурные и функциональные нарушения. При этом, как правило, наблюдается рассогласование отдельных биохимических реакций и физиологических процессов, вследствие чего рост и развитие растений практически полностью прекращаются, что во многих случаях ведет к летальному исходу.

Наряду с промышленностью, важным источником загрязнения окружающей среды кадмием является сельскохозяйственная деятельность человека,

в частности агротехнические мероприятия, связанные с внесением органических и фосфорных удобрений. Содержание данного элемента в ныне выпускаемых химической промышленностью удобрениях колеблется от 0,3 до 179 мг/кг сухой массы, а ежегодное его поступление в почву составляет 10 г/га.

В организм человека кадмий поступает в основном с пищей. Суточное поступление его с продуктами питания составляет 10–50 мкг. Помимо этого, накопление кадмия в организме человека связано с курением: одна сигарета его содержит до 2 мкг. *Уместно вставить здесь небольшой фрагмент из лекции профессора А.П. Пурмаля «Антропогенная токсикация планеты. Часть 1» о кадмии (Соросовский образовательный журнал, № 9, 1998). «Химический символ кадмия Cd курильщикам можно читать как аббревиатуру английского Cancer disease – раковое заболевание. Рак легких – вероятный результат длительного воздействия аэрозоля оксида кадмия, поступающего в альвеолы с табачным дымом. Более четверти кончин онкологических больных происходит от рака легких. Среди заболевших 80–90 % – курильщики, ведь табак – это растение, в наибольшей степени аккумулирующее соли кадмия из почвы (до 2 мг/кг). К характерным кадмиевым болезням горожан относятся гипертония, ишемическая болезнь сердца, почечная недостаточность. Для курильщиков... добавляется эмфизема легких».*

Кадмий транспортируется кровью, накапливается в печени и почках. Полупериод биологической жизни его очень большой – около 40 лет. Кадмий может вызывать тошноту, рвоту, спазмы в животе, головную боль. В тяжелых случаях может быть диарея и шок, нарушается минеральный состав костей и поражаются почки. ПДК для кадмия в [10, 58]:

- 1) воде питьевых и культурно-бытовых водоемов – 0,01 мг/л;
- 2) пищевых продуктах, мг/кг;
 - зерновые и зернобобовые – 0,1,
 - хлеб – 0,05,
 - соль – 0,1,
 - сахар-песок – 0,05,
 - молоко – 0,03,
 - масло сливочное – 0,03,
 - масло растительное – 0,05,
 - овощи – 0,03,
 - мясо – 0,05,
 - рыба – 0,2,
 - чай – 1,0.

Ртуть. Среди многочисленной группы поллютантов особое место занимает ртуть, обладающая уникальными экогеохимическими и экотоксикологическими свойствами, обусловленными ее вездесущностью, разнообразием форм нахождения и спецификой их трансформации в природных условиях, повышенной возможностью распределения и биопереноса в окружающей среде, а также широким и разносторонним спектром негативных воздействий на живые организмы и их популяции.

Ртуть легко образует большое количество неорганических и органических соединений, причём органические соединения относятся к наиболее высокотоксичным веществам. Металлическая ртуть и её неорганические соединения действуют в основном на печень, почки, кишечный тракт. В обычных

условиях они сравнительно быстро выводятся из организма. Гораздо опаснее органические ртутьсодержащие соединения. Поступив в организм, метилртуть переносится потоком крови. В желудочно-кишечном тракте наблюдается почти полное (95%) её всасывание. Токсичность ртути связана чрезвычайно высоким химическим сродством с сульфгидрильными группами белков.

Концентрация ртути у большинства растений колеблется в пределах 0,01–0,2 мг/кг сухого вещества. ПДК ее в почвах составляет 2,1 мг/кг. Растения могут непосредственно поглощать пары ртути. Особенностью поведения этого элемента в растениях является её способность перемещаться в различные ткани, например, у картофеля – из листьев в клубни, у пшеницы и гороха – даже из посевного материала, обработанного ртутными препаратами, в первое поколение семян. Для некоторых видов растений установлена склонность ртути образовывать нерастворимые соединения с белками. Симптомы отравления растений ртутью – задержка роста и развития корней, торможение фотосинтеза и как следствие – снижение урожая [61].

В организме человека ртуть находится в количестве 10^{-6} % от массы и участвует в образовании ДНК. Концентрируется она преимущественно в печени и почках. Опасное содержание ртути в крови 0,2–0,5 мг/л. При избытке в организме человека и животных она блокирует сульфгидрильные группы белков и ферментов, может накапливаться в тканях, богатых липидами, включая и головной мозг. У человека ежедневное поступление этого элемента в количестве от 0,3 до 1 мг нарушает работу центральной нервной системы, оказывает мутагенное и канцерогенное действие. При остром отравлении организма солями ртути появляется рвота, распухают губы, сильно воспаляются дёсны, нарушается сердечная деятельность. Хроническое отравление сопровождается металлическим вкусом во рту, образуются язвы на дёснах, выпадают зубы, поражается нервная система. ПДК для ртути в [59]:

- 1) атмосферном воздухе населенных мест (в пересчете на ртуть), мг/м³:
 - диэтилртуть – 0,0003,
 - ртуть азотнокислая – 0,0003,
 - ртуть металлическая – 0,0003,
 - ртуть хлористая и хлорная – 0,0003;
- 2) воде водоемов, мг/л – 0,005;
- 3) почве, мг/кг воздушно-сухой почвы – 2,1;
- 4) питьевой воде, мг/л:
 - диэтилртуть – 0,0001,
 - этилмеркурхлорид – 0,0001,
 - неорганические соединения ртути – 0,0005;
- 5) продуктах питания (выборочно), мг/кг:
 - зерновые – 0,03,
 - крупы – 0,03,
 - соль – 0,01,
 - сахар-песок – 0,01,
 - масло сливочное и растительное – 0,03,
 - рыба – 0,3–0,6,
 - мясо – 0,03,
 - чай – 0,1.

Ртуть поступает на сельскохозяйственные территории при внесении осадков сточных вод в качестве удобрения. В них этого элемента содержится

от 2,0 до 7,5 мг/кг, т. е. в сотни раз выше кларка. Поступление этого элемента возможно и с компостными удобрениями, приготовленными при утилизации бытовых отходов [60].

Свинец – один из распространенных загрязнителей окружающей среды. Этот элемент не участвует в обменных процессах в организме человека и животных и при введении даже очень малых количеств накапливается в печени, почках, костях, частично замещает кальций костного скелета, образует комплексы с белками. Токсическое действие его при попадании в организм связано с инактивацией ферментов. Взаимодействуя с сульфгидрильными группами белков, свинец образует устойчивые соединения, блокирующие ферментные системы. Кроме того, он влияет на биосинтез гемоглобина, нуклеиновых кислот и гормонов. Около 90–95 % содержащегося в организме человека свинца сконцентрировано в костях, что создаёт большую опасность хронической интоксикации. Он способен переходить в молоко матери. При потреблении ежегодно не менее 2 г свинца проявляется его канцерогенное действие. Свинец обладает слабой фитотоксичностью, что объясняется его способностью активно реагировать с почвенными компонентами и переходить в трудноусвояемую форму. Свинец в высокой концентрации замедляет рост корней, а также образование корневых волосков. Этот элемент оказывает влияние на химический состав многолетних трав. В них увеличивается содержание азота и снижается количество кальция, магния, железа. В растениях уменьшается содержание хлорофилла, особенно физиологически активной его фракции, а также органического фосфора при возрастании доли неорганических соединений этого элемента. Кроме того, повышается содержание нитратов.

Свинец в растение поступает через корни и путём некорневого поглощения листьями. Растения с широкими листьями содержат свинца больше, чем с узкими. Естественные уровни содержания свинца в растениях лежат в пределах 0,1–10 мг/кг и в среднем составляют 2 мг/кг, в культурных растениях, используемых в пищу, содержание этого элемента колеблется в пределах 1–5 мг/кг сухой массы. ПДК для свинца в [36, 58]:

- 1) атмосфере населенных мест среднесуточная доза, мг/м³:
 - свинец и его соединения (кроме ТЭС) – 0,0003,
 - свинец сернистый 0,0017;
- 2) почве; 20,0 мг/кг воздушно-сухой почвы,
- 3) воде водоемов: 0,1 мг/л,
- 4) воде питьевой: не более 0,03 мг/л (ТЭС в воде должен отсутствовать),
- 5) продовольственном сырье и продуктах питания (неполный список), мг/кг:
 - зерновые и зернобобовые – 0,5,
 - хлеб – 0,3,
 - соль – 2,0,
 - сахар-песок – 1,0,
 - масло сливочное – 0,1,
 - мясо – 0,5,
 - молоко – 0,1,
 - яйца – 0,3,
 - чай – 10.

Сточные воды могут быть использованы в сельском хозяйстве только после специальной очистки и подготовки. Возможность и целесообразность

использования определяется их составом и свойствами, включая удобрительную ценность, а также зависит от геологических, гидрогеологических и климатических условий, рельефа местности, почвенного покрова, видового состава растений. Пригодность сточных вод для орошения сельскохозяйственных культур в настоящее время определяется допустимой минерализацией и концентрацией органических веществ (табл. 183).

Таблица 183 – Требования к составу сточных вод, используемых для орошения в зависимости от типа почв

| Показатель | Почвы | | | | | | | |
|--|---------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|-----------|------------|----------|-----------------------------|
| | дерново-подзолистые | дерново-подзолистые глеевые | торфяно-глебовые (осушенные) | серые лесные | черноземы | каштановые | сероземы | сильно засоленные и солонцы |
| Сухой остаток, г/л | <4,5 | <4,0 | <3,5 | <3,5 | <2,5 | <2,0 | <1,5 | <0,6 |
| Минеральные вещества, мг/л | <3,0 | <2,5 | <2,0 | <2,5 | <1,5 | <1,2 | <0,8 | <0,3 |
| Реакция среды (рН) | 6,0–8,5 | 5,5–8,5 | 5,0–7,5 | 5,5–8,5 | 5,5–7,5 | 6,0–7,5 | 6,0–7,5 | 5,0–7,0 |
| Натрий, мг/л | <500 | <400 | <400 | <450 | <300 | <200 | <250 | <50 |
| Кальций, мг/л | <750 | <700 | <600 | <650 | <500 | <450 | <350 | <200 |
| Калий, мг/л | <150 | <150 | <150 | <125 | <100 | <75 | <75 | <100 |
| Хлор, мг/л | <500 | <450 | <400 | <400 | <350 | <300 | <250 | <150 |
| Сульфаты, мг/л | <550 | <500 | <450 | <500 | <400 | <350 | <200 | <150 |
| Общая щелочность, мг/л | <1750 | <1700 | <1600 | <1650 | <1300 | <1200 | <1000 | <500 |
| Азот общий, мг/л | <250 | <200 | <200 | <200 | <150 | <150 | <150 | <150 |
| Азот аммонийный, мг/л | <150 | <150 | <100 | <150 | <100 | <100 | <100 | <100 |
| Фосфор (P ₂ O ₅), мг/л | <100 | <100 | <75 | <75 | <75 | <75 | <75 | <75 |
| Бихроматная окисляемость, мгО ₂ /л | <2000 | <1750 | <1500 | <1800 | <1500 | <1350 | <1250 | <1100 |
| БПК, мг О ₂ /л | <1600 | <1250 | <1200 | <1300 | <1250 | <850 | <750 | <550 |
| Специфические вещества органического происхождения, мг/л | <250 | <200 | <100 | <200 | <300 | <200 | <250 | <150 |
| Взвешенный остаток, мг/л | <3000 | <3000 | <3000 | <3000 | <3000 | <3000 | <3000 | <3000 |
| Соотношение Na:Ca, мг-экв. | <3:1 | <3:1 | < 2,5 : 1 | <3:1 | <2:1 | <1: 1 | <2:1 | <0,5 |

Решение о возможности орошения сточными водами принимают в каждом конкретном случае органы по регулированию использования и охраны вод по согласованию с сельскохозяйственными органами и государственным санитарным надзором и ветеринарной службой.

Сточные воды, используемые на орошение, должны отвечать агроэкологическим требованиям, предъявляемым к поливной воде в целях получения высоких урожаев и качественной продукции, а также повышения плодородия почв.

родия почв. Степень очистки и доочистки поливной воды должна соответствовать требованиям безопасности.

Для оценки пригодности сточных вод по показателям безопасности – содержанию специфических веществ – используют примерные ПДК, рекомендуемые ФАО (табл. 184; [данные ФАО]).

Таблица 184 – Предельно допустимые концентрации тяжелых элементов и фтора в поливных водах, мг/л*

| Элемент | Для всех почв | Для использования до 20 лет на почвах тяжелого гранулометрического состава и pH 6,0–8,5 | Элемент | Для всех почв | Для использования до 20 лет на почвах тяжелого гранулометрического состава и pH 6,0–8,5 |
|---------|---------------|---|---------|---------------|---|
| Al | 5,0 | 20,0 | F | 1 | 15 |
| As | 0,1 | 2,0 | Li | 2,5 | 2,5 |
| Be | 0,1 | 0,5 | Mn | 0,2 | 10,0 |
| B | ** | 2,0 | Mo | 0,01 | 0,05*** |
| Cd | 0,01 | 0,05 | Ni | 0,2 | 2,0 |
| Co | 0,05 | 5,0 | Pb | 5,0 | 10,0 |
| Cr | 0,1 | 1,0 | Se | 0,02 | 0,02 |
| Cu | 0,2 | 5,0 | V | 0,2 | 1,0 |
| Fe | 0,5 | 20,0 | Zn | 2,0 | 10,0 |

* Эти количества не должны вредить ни растениям, из жизни почвы. Пока нет данных по ртути, серебру, олову, титану.

** < 0,7 мг/л не вызывает проблем, от 0,7 до 2 мг/л представляет растущие проблемы, > 20 мг/л – серьезную опасность.

*** Только для кислых почв тяжелого гранулометрического состава и кислых почв с относительно высоким содержанием оксидов железа.

Не рекомендуется применять в чистом виде осадки сточных вод, содержащие на 1 кг сухого вещества более 60 мг кобальта, 15 – кадмия, 550 – цезия. 10 – ртути, 150 – никеля, 700 – меди, 2000 – цинка и 650 мг хрома. Если содержание одного из перечисленных элементов выше указанного значения, осадок допускается использовать только в составе компоста с навозом, лигнином или соломой. Компост составляется таким образом, чтобы содержание металлов в нем не превышало ПДК для почвы, равное для свинца 20 мг/кг, кадмия – 3, мышьяка – 20, хрома – 100, ртути – 2,1, никеля – 50, олова – 60, кобальта – 50, стронция – 10, марганца – 11500, ванадия – 150 мг/кг.

Необходимо учитывать, что многие тяжелые элементы, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами, накапливаются в листьях и стеблях зеленых растений. Поэтому осадки сточных вод и другие отходы промышленности не рекомендуется вносить под зеленые овощные и кормовые культуры, идущие в пищу человеку или на корм скоту.

При очистке водоемов из степных рек донный ил часто подается земснарядами непосредственно на близлежащие поля. При этом ил намывается толстым слоем, без предварительного его агрохимического анализа. По данным Краснодарского краевого комитета охраны природы, в извлекаемых осадках содержатся цинк, свинец, медь, никель, кадмий, кобальт, часто в количествах, пре-

вышающих предельно допустимые для почвы. Помимо тяжелых элементов в донных отложениях содержатся токсичные для растений остатки пестицидов, смываемых с полей на большом протяжении водосборной площади реки или водоема.

Намыв на поля донных отложений на многие годы загрязняет почву тяжелыми элементами, остатками пестицидов, ухудшает ее структуру, водопроницаемость и воздушный режим. Поэтому, использование донных отложений должно решаться на основе предварительных анализов их состава. Расчистка степных рек, имеющая безусловно положительное экологическое значение, не должна приводить к химическому загрязнению почвы и ухудшению экологических условий и результатов сельскохозяйственного производства.

9.1.3 Химические мелиоранты

При использовании в качестве химических мелиорантов известковых материалов, гипса и фосфогипса следует иметь в виду возможность возникновения экологической напряженности в агроэкосистеме из-за присутствия в их составе балластных веществ, в качестве которых могут выступать тяжелые элементы. Возможно также радиоактивное загрязнение.

Известковые материалы получают путем размола или обжига известняков, доломита, мела и других кальцийсодержащих пород, либо добывают их в виде рыхлых пород — известкового туфа, гажи, доломитовой муки, мергеля. Значительные количества кальцийсодержащих материалов образуются в виде отходов производства на промышленных предприятиях.

Известняки состоят в основном из углекислого кальция, часто они включают некоторое количество углекислого магния, а также примеси целого ряда макро- и микроэлементов. Содержание углекислого кальция в них колеблется в пределах 44,6–99,3 %, углекислого магния – 0,15–44,6 %, кремния – 0,03–15,3, алюминия – 0,01–1,35, железа – 0,01–3,11, калия – 0,0001–1,795, серы – 0,01–1,35, натрия – 0,001–0,15 %, марганца – 20–3000 мг/кг, фтора – 10–1410, фосфора – 10–3660, цинка – 1–425, ванадия – 1–106, бора – 1–21, молибдена – 0,1–92,3, кобальта – 1–6 мг/кг [62]. Известняки также содержат ряд тяжелых элементов. Для иллюстрации приводим данные А.Ф. Шишкина (табл. 185).

Таблица 185 – Содержание стронция и тяжелых элементов в мелиорантах

| Мелиорант | Ca | Sr | Cu | Pb | Cd | Ni | Zn | Ca:Sr |
|--------------------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| | г/кг | | мг/кг | | | | | |
| Валовое содержание | | | | | | | | |
| Карбонат кальция | 315 | 18 | 7,2 | 28 | 2,15 | 15 | 6,4 | — |
| Известь | 336 | 0,25 | 9,0 | 27 | 1,95 | 17 | 11,5 | 1344 |
| Мел | 367 | 2,0 | 10,8 | 31,8 | 2,45 | 12,4 | 14,8 | 183 |
| Дефекат | 107 | 0,15 | 21,4 | 20 | 1,45 | 26 | 52,4 | 713 |
| Подвижные формы | | | | | | | | |
| Карбонат кальция | | 5,75 | 4,3 | 12,2 | 1,05 | 7,95 | 3,0 | |
| Известь | | 0,14 | 4,45 | 10 | 0,9 | 8,3 | 3,6 | |
| Мел | | 0,5 | 4,2 | 13,2 | 1,15 | 8,6 | 5,8 | |
| Дефекат | | 0,15 | 4,0 | 9,0 | 0,7 | 6,8 | 8,5 | |

Содержание тяжелых элементов в мелиорантах находится практически на одном уровне и составляет: свинец – 20–31,8 мг/кг, кадмий – 1,45–2,45, ни-

кель – 12,4–26,0, медь – 7,2–21,4, цинк – 6,4–52,4 мг/кг. Концентрация наиболее токсичных тяжелых элементов – кадмия и свинца в известковых материалах не превышает ПДК и загрязнения почвы при известковании с соблюдением регламента можно не опасаться. Стабильного стронция в известковой муке и дефекасте менее 0,25 мг/кг, в природном меле – 2 мг/кг. В отличие от других мелиорантов, в составе карбоната кальция имеется 1–2 % стронция, что в 40–60 раз выше, чем в почве, поэтому очевидна необходимость изучения накопления этого элемента в почве и растениях и поиска путей его уменьшения.

Растения потребляют тяжелые элементы из почвы, используя их подвижные формы, содержание которых в 2–3 раза ниже валового. При внесении карбоната кальция в количестве 8–10 т/га в почву поступает более 70 кг/га стронция, т. е. он является потенциальным источником загрязнения почв.

До настоящего времени четкие критерии безопасного содержания стронция в почвах отсутствуют. Учитывая конкурентный характер поступления стронция в растения, для оценки загрязнения почв этим элементом пользуются Ca:Sr соотношением. Безопасным соотношением валовых количеств Ca:Sr в почвах считается 10:1. По данным И.А. Шильникова и Н.И. Акановой [57] допустимое валовое содержание стронция в почве – 600 мг/кг.

В фосфогипсе содержится до: 30 % кальция (в расчете на элемент), 24,3 – серы, 4 – неразложившихся фосфатов, 0,3 % кремния и микроэлементы (табл. 186).

Таблица 186 – Химический состав фосфогипса в пересчете на дигидрат, %

| Химический состав | Актюбинский | Апатитово-фосфоритовый | Апатитовый | Каратауский |
|--|-------------|------------------------|------------|-------------|
| CaO | 24,4 | 30,0 | 32,4 | 31,2 |
| SO ₃ | 34,8 | 39,8 | 46,2 | 40,2 |
| P ₂ O ₅ _{общ.} | 1,9 | 6,2 | 1,3 | 1,6 |
| P ₂ O ₅ _{раст.} | 1,1 | 3,3 | 0,7 | 0,8 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,9 | 0,7 | 0,1 | 0,1 |
| Al ₂ O ₃ | 0,8 | 0,8 | 0,3 | 0,4 |
| F | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Не растворимый остаток | 21,7 | 4,3 | 0,7 | 8,1 |
| Вода кристаллизованная | 15,6 | 17,4 | 18,6 | 18,0 |

Фосфогипс содержит стронций, фтор, кадмий, свинец, хлор, а также примеси неорганических и органических соединений, водорастворимых и водонерастворимых, адсорбированных на поверхности кристаллов и встроенных в кристаллическую решетку. Кроме того, в нем могут присутствовать радиоактивные вещества и редкоземельные элементы. Например, в фосфогипсе из Хибинских апатитов содержится: CaO – 36,52–40,0 %, MgO – 0,26 %, SO₃ – 57,0–62,78 %, P₂O₅_{общ.} – 1,0–2,58 %, P₂O₅_{вод.} – 0,5–0,6 %, K₂O – 0,57 %, Al₂O₃ – 0,56 %, Fe₂O₃ – 1,24 %, F – 0,08–0,40 %, TiO – 0,18 %, нерастворимого осадка – 0,7–0,8 %. Содержание радиоактивных, редкоземельных элементов, а также кадмия и других тяжелых элементов находится в прямой зависимости от их содержания в фосфатном сырье. Так, фосфаты магматического происхождения (Кольский и Южноафриканский апатиты) содержат редкоземельных элементов больше, чем фосфаты осадочного происхождения (Марокко, Флорида, Сенегал и т.д.), а кадмия меньше (табл. 187).

Таблица 187 – Химический состав фосфатного сырья

| Состав | Местонахождение фосфатного сырья | | | |
|--------------------------------|----------------------------------|------------------------|---------------------|-------------------|
| | Хибинский апатит | Южноафриканский апатит | Марокканский фосфат | Флоридский фосфат |
| Содержание, % | | | | |
| P ₂ O ₅ | 39 | 36,8 | 33,7 | 34,7 |
| CaO | 51–52 | 52 | 50,6 | 49,8 |
| SiO ₂ | 1,1 | 2,6 | 1,9 | 3,7 |
| F | 3,0–3,3 | 2,2–2,5 | 3,5–4,0 | 3,7–3,9 |
| CO ₂ | 0,2 | 3,5 | 4,5 | 3,1 |
| Al ₂ O ₃ | 0,4 | 0,2 | 0,4 | 1,1 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 1,1 |
| MgO | 0,1 | 1,1 | 0,3 | 0,3 |
| Na ₂ O | 0,4 | 0,1 | 0,7 | 0,5 |
| SrO | 2,9 | 0,3 | 0,1 | – |
| Органические вещества | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,56 |
| Содержание, мг/кг | | | | |
| U ₂ O ₃ | 11 | 134 | 185 | 101 |
| As | 10 | 13 | 13 | 11 |
| Cd | 1,2 | 1,3 | 15 | 9 |
| Cr | 19 | 1 | 200 | 60 |
| Hg | 33 | 0,1 | 0,1 | 0,02 |
| Zn | 20 | 6 | до 400 | 70 |
| Cu | 37 | 102 | 40 | 13 |
| Редкоземельные элементы | 6200 | 4800 | 900 | 600 |

Фосфаты отечественного происхождения содержат радиоактивных элементов почти в 10 раз меньше, чем зарубежные, поэтому удобрения и мелиоранты, получаемые из них, экологически относительно безопасны. Негативное воздействие химических мелиорантов на окружающую среду может быть следствием:

1. Потерь при транспортировке, если используются непригодные для этих целей транспортные средства;
2. Внесения без учета физико-химических свойств почвы и качества мелиоранта;
3. Нарушения технологического регламента применения мелиоранта;
4. Попадания мелиоранта в природные водоемы с поверхностными стоками.

9.2. Пути минимизации негативного воздействия агрохимических средств на биосферу

Легче найти доказательство, приобрести сначала некоторое понятие о том, что мы ищем, чем искать такое доказательство без всякого предварительного знания.

Архимед

9.2.1. Минеральные и органические удобрения

Применение удобрений должно быть сбалансированным с обязательным учетом их взаимодействия с объектами окружающей среды. Предотвращению нарушения равновесия экосистемы будет способствовать строгое соблюдение технологической дисциплины их внесения. Усилия по охране окружающей среды и рациональному использованию удобрений необходимо прилагать, начиная с их транспортировки и хранения. Прежде всего, следует

предотвратить все потери от завода до поля. Большое значение имеет технология внесения удобрений. При использовании туковывсевающих машин центрального типа необходимо соблюдать точное расстояние между проходами и выбирать оптимальную ширину их захвата. Выполнение этих требований способствует равномерному распределению удобрений и более полному их использованию растениями. Значительные потери удобрений происходят при их внесении с помощью сельскохозяйственной авиации, т. к. определенная часть их сносится на дороги и в лесополосы. Для снижения этих потерь специалистами хозяйств должны быть приняты меры по обеспечению более точной сигнализации и строгого контроля за качеством работы. Важно соблюдать научно обоснованные нормы, сроки и способы внесения удобрений, а также вести подбор наиболее подходящих в данных условиях их форм. Это позволит повысить коэффициенты использования питательных элементов растениями и снизить их непроизводительные потери. Применение высоких норм удобрений зачастую не способствует увеличению урожая и улучшению его качества, но приводит к потерям элементов питания.

Наибольшую опасность среди минеральных удобрений с экологической точки зрения представляют азотные. Для повышения коэффициента использования растениями азота из удобрений необходимо после посева их туковывсевающими машинами сразу же заделывать их в почву на глубину 8–10 см. Эффективность азотных удобрений значительно возрастает при дробном их внесении с учетом физиологических потребностей растений в азоте. Другим, не менее важным агроприемом повышения эффективности азотных удобрений служит локальный способ их внесения, при котором удобрение не перемешивается с почвой, а располагается на определенном расстоянии от семян или корневой системы в виде концентрированных очагов. В результате этого в ограниченном объеме почвы возникает зона с экстремально высокой концентрацией азота, во взаимодействие с которой вступает лишь часть корневой системы растения. Локализация азота создает неблагоприятные условия для микроорганизмов, связывающих азот, и препятствует необменному поглощению его почвой. Высокая концентрация азота в местах внесения подавляет нитрификацию и способствует сокращению его потерь за счет вымывания нитратов из корнеобитаемого слоя. Благодаря этому коэффициент использования азота заметно возрастает. При фактическом равенстве вносимых вразброс и локально норм удобрений, а также ресурсов внешней среды гетерогенное распределение азота обеспечивает более дружное появление всходов, равномерное развитие растений во время вегетации и позволяет значительно повысить продуктивность сельскохозяйственных культур. Повышение коэффициента использования растениями азота удобрений при их локальном внесении дает возможность в 2–3 раза снизить нормы.

К приемам, снижающим загрязнение окружающей среды нитратами и нитритами, следует отнести также применение ингибиторов нитрификации. Это химические соединения избирательно подавляющие рост и развитие нитрифицирующих микроорганизмов, осуществляющих первый этап нитрификации – окисление аммония до нитритов. Под влиянием ингибиторов нитрификации обеспечивается консервация азота удобрений в аммонийной форме в течение 1–1,5 месяцев, в результате чего улучшается азотное питание растений в начале вегетации и повышается их продуктивность. Это позволяет

уменьшить кратность внесения азотных удобрений с двух-трех до одной и получить ощутимую экономическую выгоду.

При ингибировании нитрификации очень важен подбор таких препаратов, которые бы воздействовали только на первую стадию процесса, т. е. на окисление NH_4^+ до NO_3^- . Если же в большей степени будет подавляться *Nitrobacter*, чем *Nitrosomonas*, то возможно накопление в среде высокотоксичного NO_2^- .

Как следует из обстоятельного обзора В.Н. Кудеярова и его коллег [17], к ингибиторам нитрификации должны предъявляться следующие требования:

1. Специфичность – блокировать переход аммонийного азота в нитратный, т. е. ингибировать рост или активность *Nitrobacter*. Не должны быть токсичными к другим почвенным организмам, рыбе, млекопитающим, растениям;

2. Мобильность – мигрировать вместе с удобрениями или растворами удобрений так, чтобы быть эффективными в зоне реакции удобрения и почвы. Очень высокая или низкая подвижность также нежелательны, т. к. в первом случае возможен быстрый выход ингибитора из почвы, а во втором – сильная сорбция, а в обоих случаях может инактивировать действие препарата;

3. Персистентность – сохранять активность в течение достаточного периода времени – обычно от нескольких недель до месяцев;

4. Экономичность – не должны сильно удорожать применение удобрений.

Наиболее радикальным способом повышения эффективности азота удобрений может быть замена традиционных форм – сульфата аммония, аммонийной селитры и мочевины на ультраконцентрированные, медленнодействующие азотные удобрения с пролонгируемым эффектом, т. е. способные освобождать азот со скоростью его метаболизма в растениях. Последние получают конденсацией мочевины с альдегидами или путем покрытия гранул тонкими пленками из органических (полимерных) или неорганических (элементарная сера) материалов. Заслуживает внимания удобрение почвы соломой зерновых культур. Внесение соломы снижает потери азота из минеральных удобрений благодаря закреплению в органической форме. Поскольку солома имеет широкое соотношение $\text{C:N}=60\text{--}100$, закрепление доступного азота почвы микроорганизмами длится до тех пор, пока соотношение C:N снизится до 20 (как в навозе). После достижения такой степени разложения связанный микроорганизмами азот минерализуется и снова становится доступным для растений. Консервации аммонийного азота в почве способствует и внесение цеолитов. Немаловажное значение в повышении эффективности азотных удобрений имеют микроэлементы. Они участвуют в редукции нитратов и способствуют усвоению азота растением, тем самым снижая опасность загрязнения окружающей среды. Кроме того, микроэлементы тормозят гидролиз мочевины и подавляют жизнедеятельность нитрифицирующих микроорганизмов и тем самым являются в какой-то степени ингибиторами нитрификации. Одним из возможных направлений повышения эффективности азотных удобрений является применение регуляторов роста растений. Они усиливают поглощение и обмен азота в растениях, тем самым обеспечивают более полное использование ими азота удобрений.

Максимальное использование растениями азота удобрений достигается при полном их обеспечении фосфором, калием, кальцием, магнием, серой, железом, кремнием и другими биогенными элементами. Внесение элементов питания в соотношениях, не отвечающих биологическим потребностям куль-

туры, может значительно снизить эффективность вносимых азотных удобрений и явиться причиной загрязнения окружающей среды токсичными остатками. Загрязнение окружающей среды нитратами возможно значительно уменьшить широким использованием биологического азота, увеличивая площади посева бобовых культур. Потери в результате вымывания нитратов можно свести к минимуму путем научно обоснованного чередования сельскохозяйственных культур с включением в севооборот растений, имеющих глубокопроникающую корневую систему. Это способствует лучшему использованию питательных веществ из подпахотных горизонтов почвы. Зависимость между вымыванием элементов питания и видами сельскохозяйственных культур можно представить следующим порядком: овощные > корнеплоды > зерновые > кормовые травы. В.И. Титова [44] на основании своих многолетних исследований пришла к выводу, что минимизировать экологические проблемы, вызванные применением азотных удобрений, позволит:

- замена минерального азота органическим (традиционные органические удобрения и органосодержащие отходы производства);
- снижение доз внесения минеральных азотных удобрений до оптимальных с учетом биологических особенностей растений и почвенно-климатических условий. При этом предельные дозы азота в минеральной форме составляют 120 кг/га, а органического азота – 200 и 300 кг/га соответственно на пашне и лугах;
- оптимизация структуры посевных площадей за счет внедрения сидератов с увеличенной долей бобовых, способствующих накоплению в почве азота биологической природы и снижению необходимости применения азота минеральных удобрений;
- создание азотсодержащих удобрений с невысокой скоростью растворения (удобрения капсулированные, с ингибиторами нитрификации и т. д.), что значительно снижает миграционные потери азота и удлиняет срок их действия;
- внедрение ресурсосберегающих технологий внесения и заделки удобрений в почву, что позволяет сократить дозу внесения, экономические затраты на приобретение удобрений и обеспечить более рациональное их использование.

Вынос фосфора из почвы может быть уменьшен за счет проведения противозерозионных мероприятий, необходимых агротехнических приемов и очистки сточных вод. Потери калия можно регулировать сроками и способами внесения удобрений в сочетании с комплексом приемов противозерозионной обработки почвы. Охрана окружающей среды в связи с применением органических удобрений должна предусматривать совершенствование технологии подготовки, создание научно обоснованных санитарно-защитных зон и утилизацию навоза с целью уменьшения вредного воздействия животноводческих отходов на литосферу, гидросферу, атмосферу, флору и фауну.

Для предотвращения загрязнения окружающей среды при работе с микроудобрениями необходимо: вносить оптимальные нормы в соответствующие сроки; выбирать оптимальный способ использования; применять хелатные формы микроэлементов; равномерно распределять их по удобряемой площади. Труднее устранить токсичность микроэлементов, чем их недостаток. Поэтому нарушение технологической дисциплины при внесении микроудобрений недопустимо.

Основные факторы, снижающие поступление тяжелых элементов в растения:

1. Известкование кислых почв. Подвижность тяжелых элементов и их ингибирующее действие на рост растений возрастают с понижением рН. Из-

вость увеличивает прочность связи тяжелых элементов в почвах за счет образования труднорастворимых соединений при нейтральных значениях рН.

2. Внесение органических удобрений в целях повышения содержания гумуса в почве. Органическое вещество обладает высокой способностью удерживать тяжелые элементы. Поэтому концентрация их в растениях выше на почвах с низким содержанием органического вещества. Кроме того органические коллоиды почвы могут образовывать с тяжелыми элементами стабильные комплексы типа хелатов.

3. Внесение фосфорных удобрений, снижающих поступление тяжелых элементов в растения. Эффективно совместное применение фосфорных удобрений и извести, особенно на кислых почвах.

4. Оптимизация минерального питания растений способствует снижению поступления тяжелых элементов в растения.

5. В перспективе, определенный интерес будет представлять более широкое применение цеолитов и клиноптилолитсодержащих туфов в качестве фильтров для предотвращения накопления тяжелых элементов в культурных растениях.

Пока не существует единой системы мероприятий по ликвидации загрязнения тяжелыми элементами, т. к. территория страны имеет большое разнообразие почвенно-климатических условий. Основные мероприятия по использованию загрязненных почв имеют рекомендательный характер и адаптируются к конкретным условиям. Наиболее простым способом использования почв, загрязненных тяжелыми элементами, является выращивание сельскохозяйственных культур, не накапливающих тяжелые элементы выше ПДК. В целом для принятия решений по использованию территории, отнесенной к той или иной категории загрязнения, рекомендуется руководствоваться предложениями, изложенными в таблице 188; [6].

Таблица 188 – Рекомендации по подбору и использованию сельскохозяйственных культур и территории с учетом уровня содержания тяжелых элементов (ТЭ) в почве

| Содержание ТЭ в почве | Рекомендации |
|-----------------------|---|
| 1 | 2 |
| Недостаточное | <i>На пахотных землях</i> – рекомендуется внесение дополнительных доз минеральных и органических удобрений, обеспечивающих привнесение в почву необходимых микроэлементов. Размещение и использование сельскохозяйственных культур без ограничений. |
| Нормальное | <i>На пахотных землях</i> – размещение любых зонированных сельскохозяйственных культур без ограничения, включая очень чувствительные к содержанию ТЭ. Применение интенсивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур. В качестве приоритетов следует рекомендовать выращивание столовой зелени, овощей, корнеплодов, ягод, производство семян, культур с высокой чувствительностью к накоплению ТЭ, лекарственных растений, растениеводческой продукции, используемой для диетического и детского питания. <i>В лесных массивах</i> – оптимальная среда для сбора грибов и ягод, заготовки дикорастущих лекарственных растений. <i>Для сельских территорий</i> – использование массивов под зоны отдыха, скверы, парки, дома отдыха, санатории, размещение детских дошкольных и школьных учреждений. |

| 1 | 2 |
|-------------------------|---|
| Сублетальное низкое | <p><i>На пахотных землях</i> – размещение любых сельскохозяйственных культур, сдерживая размещение высокочувствительных к накоплению ТЭ. Использование продукции растениеводства без ограничения, исключая производство диетического и детского питания.</p> <p><i>В лесных массивах</i> – ограничения в сборе высокочувствительных к ТЭ дикорастущих лекарственных растений.</p> |
| Сублетальное среднее | <p><i>На пахотных землях</i> ограничить размещение высокочувствительных и сдерживать размещение среднечувствительных к ТЭ сельскохозяйственных культур. Исключить овощи, используемые в сыром виде, столовой зелени, ягодных культур, сохранив кормопроизводство. Используемые для продовольственных целей сельскохозяйственные культуры подвергать контролю на содержание ТЭ. Высоко- и среднечувствительные к ТЭ сельскохозяйственные культуры направлять на переработку.</p> <p><i>В лесных массивах</i> следует ввести ограничения на сбор грибов и дикорастущих лекарственных растений.</p> <p><i>Для сельских территорий</i> – запрет на выращивание столовых и зеленных овощей на приусадебных участках.</p> |
| Сублетальное высокое | <p><i>На пахотных землях</i> – приоритетное размещение устойчивых к ТЭ кормовых и технических культур. Ограничить размещение малочувствительных к ТЭ культур. Обязательный контроль за содержанием ТЭ в растениеводческой продукции. Приоритетная специализация – выращивание технических культур, зерно- и кормопроизводство.</p> <p><i>В лесных массивах</i> – введение строгих ограничений на сбор грибов и дикорастущих лекарственных растений.</p> <p><i>Для сельских территорий</i> – запрет с введением штрафных санкций на выращивание столовой зелени на приусадебных участках.</p> |
| Напряженное | <p><i>На пахотных землях</i> – приоритетное размещение устойчивых к ТЭ кормовых и технических культур, а также культур, последующее использование которых требует переработки. Организация на территории санитарно-защитных севооборотов. Рекомендуется проведение глубокой вспашки, внесение органических удобрений и известкование.</p> <p><i>Кормовые угодья</i> целесообразно использовать в большей степени под сенокосы, чем под выпас.</p> <p><i>В лесных массивах</i> – запрет на сбор грибов и дикорастущих лекарственных растений.</p> <p><i>Для сельских территорий</i> – ограничить использование территории для размещения мест отдыха и оздоровительных учреждений.</p> |
| Кризисное | <p><i>На пахотных землях</i> рекомендуется размещение только устойчивых к ТЭ технических культур для последующей глубокой переработки (на спирт, масло, крахмал и т. п.). Организация на территории санитарно-очистительных севооборотов. Рекомендуется глубокая вспашка для снижения содержания ТЭ в верхнем пахотном слое или удаление верхнего загрязненного слоя почвы, а также землевание или залужение пашни.</p> <p><i>На кормовых угодьях</i> допускается выращивание кормовых культур только с обязательной последующей переработкой. Запрещается выпас скота.</p> <p><i>Для городских и сельских территорий</i> – вывод детских дошкольных и школьных заведений, ликвидация мест отдыха населения.</p> |

| 1 | 2 |
|-------------|---|
| Губительное | <p><i>На пахотных земель</i> исключается выращивание любых культур. Целесообразна консервация пахотных земель с проведением комплекса мероприятий по их санации или залужению. В частности, при фитосанации целесообразно размещение растений-канцерогенов с высокой способностью к поглощению ТЭ из почвы с целью последующей утилизации (сжигания). При загрязнении высокоопасными загрязнителями рекомендуется обязательное удаление верхнего загрязненного слоя почвы.</p> <p><i>На кормовых угодьях</i> ограничивается хозяйственное использование растительности, в т. ч. на кормовые цели, даже после переработки.</p> <p><i>Для городских и сельских территорий</i> – обязательный вывод детских дошкольных и школьных заведений, ликвидация мест отдыха населения.</p> |

Приведенные рекомендации позволяют выработать принципиальные подходы к размещению сельскохозяйственных культур и их использованию на территориях с различным уровнем содержания тяжелых элементов, а также использованию кормовых угодий, сельских и лесных территорий. С целью более обоснованного использования территории следует учитывать также агроэкологические параметры на отдельных локальных участках территории хозяйства.

Для обеспечения агрономической эффективности и экологической безопасности при погрузке, транспортировке, поверхностном внесении твердой фракции органических отходов свинокомплекса необходимо придерживаться следующих правил [44]:

- постоянная скорость движения агрегата по полю – 7–12 км/ч;
- отклонение фактической дозы внесения от заданной дозы не должно превышать $\pm 10\%$;
- неравномерность распределения навоза по длине и рабочей ширине захвата не должна превышать $\pm 25\%$;
- стабильность дозы по всей длине рабочего хода агрегата должна соблюдаться в пределах $\pm 10\%$;
- на поле не должно быть огрехов и неудобренных участков;
- недопустимо растаскивание навоза по поверхности поля машинами и орудиями, не приспособленными для равномерного распределения удобрений;
- удобрения должны быть заделаны в почву на требуемую глубину почвообрабатывающими орудиями общего назначения не позднее, чем через два часа после распределения его по поверхности поля.

При внесении жидкого навоза должны соблюдаться следующие требования:

- при загрузке цистерны не допускается перелив заправленной емкости (коэффициент заполнения должен быть 0,95–0,96);
- перед внесением находящиеся в емкости удобрения должны тщательно перемешиваться в течение 2–5 мин.;
- стабильность дозы по всей длине рабочего хода агрегата должна соблюдаться в пределах $\pm 10\%$;
- перекрытие смежных проходов допускается в пределах 2–4 м, а по длине стыковых проходов – 2–7 м, огрехи на стыковых проходах не допускаются.

Для обеспечения экологической безопасности и агрономической эффективности утилизации отходов необходим контроль их качества перед внесением и соблюдение природоохранных требований в процессе внесения [44].

9.2.2. Агрехимические контрмеры в радиологических ситуациях

Агромероприятия по снижению поступления радионуклидов (^{90}Sr и ^{137}Cs) в продукцию растениеводства [16]:

- 1) разбавление поступающих в почву радионуклидов в виде небольших примесей (в зоне ЧАЭС) их химическими аналогами (кальцием [для блокирования стронция], калием [для блокирования цезия]);
- 2) уменьшение степени доступности растениям радионуклидов из почвы путем внесения веществ, переводящих их в менее доступные для них формы (органическое вещество, фосфаты, карбонаты);
- 3) заделка загрязненного радионуклидами слоя почвы в подпахотный горизонт за пределы зоны распространения корневых систем;
- 4) подбор культур и сортов, накапливающих минимальное количество радионуклидов;
- 5) размещение на загрязненных радионуклидами почвах технических культур, использование этих почв под семенные участки.

Традиционно используемые в практике земледелия агрохимические приемы, которые одновременно могут рассматриваться и как контрмеры [16]:

- известкование кислых почв;
- внесение органических удобрений;
- применение повышенных норм калийных, фосфорных и фосфорно-калийных удобрений;
- внесение в почву природных минеральных сорбентов;
- комплексное применение вышеуказанных приемов.

Известкование почв – метод химической мелиорации, основанный на изменении состава поглощенных катионов. При внесении известковых материалов в почву происходит нейтрализация кислотности почвенного раствора, вытеснение катионов водорода из почвенного поглощающего комплекса и насыщение его кальцием. Вследствие этого улучшаются физические и химические свойства почвы, повышается ее плодородие. В результате уменьшения кислотности почвенного раствора и увеличения емкости катионного обмена почвы снижаются подвижность радионуклидов и их поступление в растения. Эффективность известкования зависит от свойств радионуклида, типа и гранулометрического состава почвы, pH, времени и кратности проведения. Известкование почв с низкой кислотностью или низким содержанием обменного кальция уменьшает поглощение растениями ^{90}Sr и, в меньшей степени, ^{137}Cs . Экспериментально доказано, что изменение кислотности почвы в интервале pH 4,5–5,7 не оказывает заметного влияния на поглощение растениями радионуклидов цезия, тогда как поступление радиоактивного стронция снижается в $\approx 1,7$ раза. Снижение накопления ^{90}Sr растениями при внесении в почву кальция происходит за счет уменьшения отношения $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ в почвенном растворе и усиления конкурентного взаимодействия между этими ионами. Лучшие результаты известкования достигаются на почвах с низкой обеспеченностью обменным кальцием (< 2 мг-экв. $\text{Ca}^{2+}/100$ г почвы) и незначительным относительным насыщением им почвенного поглощающего комплекса. Известкование не эффективно при содержании в почве обменного кальция > 10 мг-экв./100 г.

На дерново-подзолистых песчаной и супесчаной почвах эффективность известкования выше, чем на суглинистой, но особенно заметно действие известки на торфяниках. Влияние известкования почв на накопление радионуклидов

в продукции проявляется и в последующие годы после их применения, причем на суглинистых и глинистых почвах эффект носит более длительный характер. Цикл известкования на таких почвах должен быть 5-летним, а на легких почвах – 3-летним. Высокие нормы известковых удобрений (8–10 т/га) рекомендуется вносить в два приема: 0,5 дозы под вспашку и 0,5 дозы под культивацию. На легких супесчаных почвах, где растения страдают от недостатка магния, лучше вносить доломитовую муку из расчета 10 т/га. На некоторых почвах известкование в повышенных нормах приводит к сдвигу pH до значений, которые не являются оптимальными для ряда сельскохозяйственных культур. Поэтому известкование должно проводиться в нормах, рассчитываемых, исходя из оптимального для конкретной культуры значения pH почвы. Нейтрализация почвенного раствора может привести также к снижению подвижности микроэлементов и может вызвать их дефицит для растений.

Органические удобрения повышают плодородие почв, служат источником гумуса и элементов питания для растений, успешно заменяют минеральные удобрения. Оказывают косвенное влияние на поступление радионуклидов в растения за счет эффекта «биологического разбавления» вследствие более интенсивного приращения биомассы и повышения урожая. Эффективность применения органических удобрений выше на малоплодородных почвах легкого гранулометрического состава, особенно при применении в целях снижения накопления ^{90}Sr . При внесении торфа в дерново-подзолистую супесчаную почву содержание радионуклидов в растительной продукции уменьшается в среднем в 1,5–2,5 раза, при использовании навоза – до 3 раз. Внесение органических удобрений в повышенных нормах может привести к увеличению накопления растениями ^{137}Cs , подобно тому как это происходит на торфяных почвах. Органические удобрения недороги, не требуют сложной техники для внесения. Обычно это навоз, торф, прудовый ил и другие местные удобрения. Поэтому перед их использованием необходимо убедиться, что они не загрязнены радионуклидами.

Внесение повышенных норм калийных удобрений изменяет соотношение Cs^+/K^+ в почвенном растворе, что увеличивает их конкуренцию при поглощении корнями. В результате накопление ^{137}Cs в растениях в зависимости от типа почв уменьшается в 2–5 раз, что особенно заметно при очень низком (<0,5 мг-экв./100 г почвы) содержании в почве обменного калия. На почвах с высоким калийным статусом эффективность этого метода снижается. Улучшение калийного питания приводит и к ограничению в определенной степени поступления в растения ^{90}Sr . Достижимый эффект заметнее на почвах с низким содержанием обменного калия и может быть обусловлен как увеличением содержания обменных катионов в почвенном растворе, так и «биологическим разбавлением» концентрации радионуклида в растении за счет более интенсивного приращения биомассы. Метод сравнительно недорог, прост в применении и должен использоваться регулярно. Вместе с тем внесение калийных удобрений в повышенных нормах должно быть оптимизировано, т. к. при увеличении норм выше некоторого предела величина положительного эффекта остается практически постоянной. Ежегодная норма калийного удобрения не должна превышать 200 кг/га по д. в.

Внесение повышенных норм фосфорно-калийных удобрений целесообразно на почвах, загрязненных как ^{90}Sr , так и ^{137}Cs . Для ограничения поступ-

ления из почвы в растения ^{90}Sr большее значение имеют фосфорные удобрения. При длительном систематическом внесении высоких норм суперфосфата в почву создаются запасы фосфора, что в свою очередь способствует меньшему поступлению ^{90}Sr из этих почв в растения из-за образования труднорастворимых фосфатов. На поступление ^{137}Cs в продукцию растениеводства фосфоритная мука практически не оказывает влияния. Применение повышенных норм фосфорно-калийных удобрений особенно эффективно на почвах легкого гранулометрического состава, а одних фосфорных – на черноземах выщелоченных и оподзоленных. Этот прием позволяет снизить накопление радионуклидов в растениях на старопахотных почвах в 2,5 раза. Повышенные нормы фосфорно-калийных удобрений вносят раз в три-четыре года, а в остальные годы – рассчитанные под запланированный урожай.

Внесение сорбентов – различного вида глинистых минералов, цеолитов, сапропеля – способствует увеличению емкости катионного обмена почвенного поглощающего комплекса и тем самым повышает прочность связывания радионуклидов твердой фазой почв. Эффективность метода в значительной степени зависит от количества и свойств вносимых в почву материалов, их сорбционной емкости, используемой техники и качества обработки почвы. Метод экономически оправдан при наличии близко расположенных месторождений природных минеральных сорбентов. Транспортировка на значительные расстояния экономически не оправдана, т. к. радиологическая эффективность контрмеры может быть сравнительно невысока.

Особенности применения минеральных удобрений на сельскохозяйственных угодьях, подвергшихся радиоактивному загрязнению. Внесение физиологически кислых минеральных и органических удобрений на известкованных слабокислых или кислых почвах еще больше повышает кислотность почвенного раствора, что может способствовать накоплению радионуклидов растениями. В этих случаях перед внесением минеральных удобрений должно быть проведено известкование почв. Минеральные удобрения рекомендуется вносить в почву в виде нейтральных солей, а азот – в форме нитратов. Применения азота в виде аммонийных солей и жидкого аммония следует избегать, т. к. ион NH_4^+ способен вытеснять в почвенный раствор ^{137}Cs , обратимо адсорбированный почвенными минералами. Внесение в почву высоких норм азотных удобрений – >150 кг/га по д. в., особенно при несбалансированном соотношении N:P:K в почве, заметно повышает переход ^{137}Cs из почвы в растения. В связи с этим необходимо увеличить нормы фосфора и калия, сохраняя соотношение N:P:K=1:1,5:2. Использование повышенных норм фосфорных удобрений и мелиорантов часто приводит к изменению подвижности микроэлементов в почве. Это может не только снизить урожай, но и ухудшить его качество. Чтобы избежать негативных последствий, рекомендуется внесение микроудобрений в почву перед посевом, предпосевная обработка семян или некорневые подкормки растений.

Исходя из общих закономерностей поведения радионуклидов в системе почва-растение, эффективность различных агрохимических приемов определяется степенью их влияния на физические и физико-химические свойства почв. Максимальная эффективность практически всех контрмер наблюдается на малоплодородных почвах легкого гранулометрического состава с кислой реакцией почвенного раствора. Применение комплекса агро-

технических и агрохимических мероприятий более эффективно, чем отдельно взятых контрмер. Так, при совместном внесении в почву извести и органических удобрений примерно на 30 % увеличивается урожай и в 2–2,5 раза снижается коэффициент поглощения ^{137}Cs растениями, причем не только в первый год, но и на второй и третий год после внесения мелиорантов в почву. Наибольшую эффективность дает глубокая отвальная вспашка с одновременным внесением фосфорного и калийного удобрения, а также известковых материалов. Это позволяет сократить в 4–5 раз поступление ^{137}Cs в растения. По данным 10-летних исследований на территории России, реализация комплекса мероприятий в производственных условиях обеспечивала снижение содержания ^{137}Cs в растениях в среднем в 2–3 раза (табл. 189; [16]).

Таблица 189 – Снижение накопления ^{137}Cs в продукции растениеводства при проведении агрохимических и агротехнических мероприятий на дерново-подзолистых и серых лесных почвах

| Мероприятия | Кратность снижения, раз |
|--|-------------------------|
| Глубокая вспашка с оборотом пласта | 10 |
| Известкование | 2 |
| Внесение калийных и фосфорных удобрений в повышенных нормах и азотных удобрений под планируемый урожай | 2,5 |
| Внесение органических удобрений | 1,5 |
| Глинование легких по гранулометрическому составу почв | 3 |
| Совместное проведение агромелиоративных мероприятий | 4–5 |

Планирование набора мероприятий и объемов их применения базируется на основании радиологической ситуации. Предпочтение отдается приемам, проведение которых не требует существенного изменения применяемой агротехнологии и структуры севооборотов, традиционных для данной территории. Если эффективность вводимых мероприятий оказывается недостаточной для получения продукции с загрязнением ниже уровней вмешательства, рассматриваются кардинальные контрмеры, связанные с перепрофилированием предприятий или изменением хозяйственного использования загрязненных земель.

Мероприятия на лугах и пастбищах. Основными мероприятиями в кормопроизводстве, обеспечивающими получение продукции с загрязнением ниже уровней вмешательства, являются коренное и поверхностное улучшение лугов и пастбищ. В отличие от пахотных земель, где первоначально выпавшие на поверхность почвы радиоактивные вещества распределяются при агротехнической обработке в пределах обрабатываемого горизонта, на естественных кормовых угодьях они аккумулируются дерниной и медленно перемещаются в нижележащие слои почвы. Поэтому в почве естественных сенокосов и пастбищ радионуклиды дольше остаются в доступной для растений форме и при одинаковой плотности загрязнения накапливаются в лугопастбищной растительности в большем количестве (в 2–5 раз), чем в продукции культурных лугов. Таким образом, естественные сенокосы и пастбища следует рассматривать как критические в радиологическом отношении угодья, особенно нуждающиеся в проведении мелиоративных работ. Различают два способа улучшения лугов: 1) *поверхностное* и 2) *коренное*.

Поверхностное улучшение кормовых угодий включает:

- внесение на поверхность почвы лугов известковых материалов;
- внесение фосфорно-калийных удобрений и стартовой дозы азота;
- дискование или фрезерование дернины, прикатывание;
- посев травосмесей с последующим прикатыванием.

Коренное улучшение лугов и пастбищ предусматривает:

- внесение половинной нормы известковых материалов на поверхность;
- дискование или фрезерование дернины;
- ярусная вспашка с заделкой дернового слоя;
- внесение фосфорно-калийных удобрений и стартовой дозы азота;
- дискование в два следа и прикалывание;
- посев травосмесей с последующим прикатыванием.

Помимо агротехнических работ, должны выполняться обычные агрохимические мероприятия, улучшающие условия развития травостоя и соответственно повышающие его продуктивность. Высокие нормы порядка 200–300 кг/га д. в. калийных и фосфорных удобрений можно вносить один раз в 3–4 года.

При коренном улучшении лугов поступление радионуклидов в фитомассу зависит от почвенного покрова, водного режима почв, состояния травостоя и его видового состава. Подбор травосмесей проводится с учетом районирования злаковых трав, что обеспечивает получение более высоких урожаев. Коренное улучшение естественных лугов и пастбищ снижает переход ^{137}Cs в лугопастбищную растительность в 10–15 раз. Эффективность коренного улучшения зависит от ряда факторов, в т. ч. типа лугов, характеристики почв, качества выполнения работ и используемой технологии обработки почвы. Поверхностная мелиорация кормовых угодий менее эффективна и приводит к уменьшению накопления ^{137}Cs растениями в 2–3 раза.

Анализ влияния агрохимических мероприятий на уменьшение накопления ^{137}Cs луговой и пастбищной растительностью показал, что при систематическом внесении повышенных норм минеральных удобрений и известки может наблюдаться ряд побочных негативных эффектов: многократное известкование почвы приводит к значительному (в 2–4 раза) снижению содержания в растениях ряда микроэлементов, что может усугубить их дефицит в рационе животных и человека и ухудшить технологические качества получаемой продукции; избыточное поступление калия в организм животных с кормом может вызвать «пастбищную тетанию» – заболевание, симптомы которого исчезают при потреблении животными кормов с нормальным содержанием калия [6, 25].

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите положительные и негативные эффекты для окружающей среды земледельческой деятельности человека.
2. Какие агроэкологические ограничения должны соблюдаться при применении агрохимических средств в земледелии?
3. Назовите причины загрязнения природной среды макро- и микроудобрениями.
4. Сформулируйте экологические проблемы, вызванные применением минеральных удобрений.
5. Какие негативные последствия имеет вмешательство человека в биохимический цикл азота?
6. Какие экологические проблемы могут возникнуть при нарушении регламента применения азотных, фосфорных и калийных удобрений?

7. Почему происходит фосфатизация педосферы?
8. Какие экологические последствия могут иметь загрязнения водоемов фосфором?
9. В чем опасность загрязнения окружающей среды фтором, радионуклидами и тяжелыми элементами?
10. Перечислите наиболее токсичные тяжелые элементы, загрязняющие почву и сельскохозяйственную продукцию.
11. Какие заболевания человека и животных связаны с загрязнением природной среды тяжелыми элементами?
12. Какие вы знаете способы ограничения загрязнения почвы и сельскохозяйственной продукции тяжелыми элементами?
13. Перечислите наиболее существенные нарушения технологии использования органических удобрений.
14. Перечислите факторы, снижающие поступление тяжелых элементов в растения.
15. Перечислите агромероприятия по снижению поступления радионуклидов в продукцию растениеводства.

Литература

1. Анисова Ж.М. Природные изотопы урана в почвах и растениях сосновых лесов Минской возвышенности / Ж.М. Анисова, Б. И. Якушев. – Минск: Белорусская наука, 2008. – 163 с.
2. Белоус Н.М. Эффективность и экологически безопасное применение органических удобрений / Н.М. Белоус // Химия в сельском хозяйстве. 1996. №3. С.10–11.
3. Благовещенская З.К. Потери питательных веществ удобрений в интенсивном земледелии / З.К. Благовещенская, Л.С. Могиндовид. – М. : ВНИИТЭИагропром, 1987. – 62 с.
4. Большаков В.А. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами / В.А. Большаков, Н.Я. Гальпер, Г.А. Клименко, Т.И. Лычкина, Е.В. Башта. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1978. – 52 с.
5. Вракин В.Ф. Влияние нитратов на организм животных / В.Ф. Вракин, И.С. Ковальчук. – М. : ВНИИТЭИСХ, 1984. – 69 с.
6. Временные рекомендации по использованию пахотных почв, загрязненных тяжелыми металлами / Матер. межвед. науч.-практ. конф. по проблемам загрязнения почв. – М., 1990. – 14 с.
7. Глуховский А.Б. Загрязнение почв тяжелыми металлами в условиях интенсивного земледелия / А.Б. Глуховский, В.Г. Сергеев, М.Ю. Ежов. – Краснодар: КубГАУ, 1994. – 51 с.
8. Гогмачадзе Г.Д. Агроэкологический мониторинг почв и земельных ресурсов Российской Федерации / Г.Д. Гогмачадзе. – М. : МГУ, 2010. – 592 с.
9. Дабахов М.В. Тяжелые металлы: экотоксикология и проблемы нормирования / М.В. Дабахов, Е.В. Дабахова, В.И. Титова. – Нижний Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. – 165 с.
10. Ермохин Ю.И. Агроэкологическая оценка действия кадмия, никеля, цинка в системе почва-растение-животное / Ю.И. Ермохин, А.В. Синдирева, Н.К. Трубина. – Омск: ОмГАУ, 2002. – 117 с.
11. Израэль Ю.А. Кислотные дожди / Ю.А. Израэль, И.М. Назаров, А.Я. Прессман, Ф.Я. Ровинский, А.Г. Рябошапка, Л.М. Филиппова. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 270 с.
12. Ильенков П.А. Курс химической технологии / П.А. Ильенков. – СПб: Изд-е книгопродавца В.И. Исахова, 1861. – 569 с.
13. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
14. Кидин В.В. Агрохимия азота, фосфора и калия / В.В. Кидин. – М.: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2014. – 254 с.

15. Ковда В.А. Биогеохимические циклы в природе и их нарушение человеком / В.А. Ковда / Биогеохимические циклы в биосфере. Матер. VII Пленума СКОПЕ. – М.: Наука, 1976. С. 19–85.
16. Козьмин Г.В. Основы ведения сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения / Г.В. Козьмин, С.В. Круглов, Б.И. Яцало, А.С. Зенкин, Б.И. Сынзыныс. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 184 с.
17. Кудеяров В.Н. Экологические проблемы применения минеральных удобрений / В.Н. Кудеяров, В.Н. Башкин, А.Ю. Кудеярова, А.Н. Бочкарев. – М.: Наука, 1984. – 213 с.
17. Кузина К.И. Влияние минеральных удобрений на качество продукции и окружающую среду / К.И. Кузина, А. Д. Мочалова, С. Ф. Покровская. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1985. – 68с.
19. Кузина К.И. Химизация, окружающая среда и качество продукции / К.И. Кузина, В.Д. Фокина, С.Ф. Покровская. – М.: ВНИИЭИсельхоз, 1982. – 58 с.
20. Липкина Г.С. Почвенно-экологические условия и применение удобрений / Г.С. Липкина. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1990. – 57с.
21. Макарикова Р.П. Агрохимическая оценка фосфоритов сибирских месторождений / Р.П. Макарикова // Агрохимия. 1996. №4. С.39–49.
22. Матвеев Н.М. Экологические основы аккумуляции тяжёлых металлов сельскохозяйственными культурами в лесостепном и степном Поволжье / Н.М. Матвеев, В.А. Павловский, Н.В. Прохорова. – Самара: Самар. ун-т, 1997. – 215 с.
23. Минеев В.Г. Агрохимия и биосфера / В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1984. – 245 с.
24. Минеев В.Г. Химизация земледелия и природная среда / В.Г. Минеев. – М.: Агропромиздат. 1990. – 287 с.
25. Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии / В.Г. Минеев. – М.: МГУ, 1988. – 285 с.
26. Назарюк В.М. Эколого-агрохимические и генетические проблемы регулируемых агроэкосистем / В.М. Назарюк. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 240 с.
27. Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории земли / С.Г. Неручев. – СПб.: ВНИГРИ, 2007. – 328 с.
28. Овчаренко М.М. Тяжёлые металлы в системе почва–растение–удобрение / М.М. Овчаренко, И.А. Шильников, Г.Г. Вендило, Н.А. Черных, Н.И. Аканова, Г.А. Грифская, Н.Т. Сопельняк, А.Н. Аристархов, А.В. Кузнецов, М.В. Никифорова. – М.: «Пролетарский Светоч», 1997. – 290 с.
29. Панин М.С. Аккумуляция тяжёлых металлов растениями Семипалатинского Прииртышья / М.С. Панин. – Семипалатинск, 1999. – 308 с.
30. Перельман А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза / А.И. Перельман. – М.: Недра, 1972. – 288 с.
31. Подколзин О.А. Состояние и охрана агроэкосистем от химического загрязнения в Центральном Предкавказье / О.А. Подколзин. – Ставрополь: Полиграф, 2009. – 352 с.
32. Покровская С.Ф. Пути снижения нитратов в овощах / С.Ф. Покровская. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1988. – 61 с.
33. Прянишников Д.Н. О значении фосфатов для нашего земледелия и о расширении возможностей непосредственного применения фосфатов / Д.Н. Прянишников // Труды научного института удобрений. 1924. Вып. 12. С. 19–30 / Д.Н. Прянишников. Избранные сочинения. Т.1. – М.: Сельхозиздат, 1953. С. 127–134.
34. Розанов Б.Г. Основы учения об окружающей среде / Б.Г. Розанов. – М.: МГУ, 1984. – 376с.
35. Сагит Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сагит, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
36. Свинец в окружающей среде / Отв. ред. В.В. Добровольский. – М.: Наука, 1987. – 182 с.
37. Скальный А.В. Биоэлементы в медицине / А.В. Скальный, И. А. Рудаков. – М.: Мир, 2004. – 272 с.
38. Соколов А.В. Агрохимия фосфора / А.В. Соколов. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – 151 с.

39. Соколов О.А. Потребление азота растениями с различных глубин почвенного профиля / О.А. Соколов // *Агрохимия*. 1998. №9. С. 88–96.
40. Сургучева М.П. Полифосфаты как источник фосфорного питания и их влияние на обмен веществ в растениях / М.П. Сургучева. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1980. – 55 с.
41. Танделов Ю.П. Фтор в системе почва-растение / Ю.П. Танделов. – М.: РАСХН, 2004. – 107 с.
42. Терновская М.И. Удобрения и окружающая среда / М.И. Терновская, В.Ф. Цыбульский. – Одесса: ОдесСХИ, 1983. – 24 с.
43. Титов А.Ф. Устойчивость растений к кадмию / А.Ф. Титов, Н.М. Казнина, В.В. Таланова. – Петрозаводск: Ин-т биологии Карел. Научного центра, 2012. – 55 с.
44. Титова В.И. Агроэкология / В.И. Титова. – Нижний Новгород: Нижегородская ГСХА, 2018. – 207 с.
45. Титова В.И. Охрана окружающей среды / В.И. Титова, Е.В. Дабахова. – Нижний Новгород: Изд-во Волго-Вятской академии гос. службы, 2003. – 213 с.
46. Трещов А.Г. Удобрения и окружающая среда / А.Г. Трещов, М.У. Ляшко. – М.: УДН, 1986. – 40 с.
47. Фулина Н.С. Хлор / Н.С. Фулина, Н.Ф. Лисенко, М.А. Чернова. – М.: Наука, 1983. – 200 с.
48. Химия тяжёлых металлов, мышьяка и молибдена / Под ред. Н.Г. Зырина и Л.К. Садовниковой. – М.: МГУ, 1985. – 208 с.
49. Черных Н.А. Закономерности поведения тяжёлых металлов в системе почва–растение при различной антропогенной нагрузке: Дис. на соис. уч. ст. докт. биол. наук. – М., 1995. – 386 с.
50. Шеуджен А.Х. Агрохимия и физиология питания риса / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2005. – 1012 с.
51. Шеуджен А.Х. Агрохимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: Афиша, 2006. – 1075 с.
52. Шеуджен А.Х. Агрохимия микроэлементов в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Е.М. Харитонов, Х.Д. Хурум, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 248 с.
53. Шеуджен А.Х. Агробιοгеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 878 с.
54. Шеуджен А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х.Шеуджен / Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2015. – 232 с.
55. Шеуджен А.Х. Теория и практика применения микро- и ультрамикроудобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2016. – 380 с.
56. Шеуджен А.Х. Агробιοгеохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2018. – 308 с.
57. Шильников И.А. Проблема снижения подвижности тяжелых металлов при известковании / И.А. Шильников, Н.И. Аканова // *Химия в сельском хозяйстве*. 1995. № 4. С. 29–32.
58. Шильцова Г.В. Тяжелые металлы и сера в почвах Валаамского архипелага / Г.В. Шильцова, Р.М. Морозова, П.Ю. Литинский. – Петрозаводск: Карель. науч. центр РАН, 2008. – 109 с.
59. Юфит С.С. Яды вокруг нас / С.С. Юфит. – М.: Классикс Стиль, 2002. – 368 с.
60. Ягодин Б.А. Кольцо жизни / Б.А. Ягодин. – М.: НИЭиС, 2002. – 135с.
61. Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города / Е.П. Янин. – М.: ИМГРЭ. 1992. – 169 с.
62. Chichilo T. Trace elements in agricultural limestones of the United States / T. Chichilo, C. Whittaker // *Agronomy journal*. 1961. V. 53. № 3. P. 139–144.

10 АГРОХИМИЧЕСКИЙ СЕРВИС – ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АГРОХИМИИ

Необходимым условием модернизации земледелия, сохранения и повышения плодородия почвы, рационального и экологически обоснованного применения средств химизации в сельском хозяйстве является дальнейшее развитие и совершенствование агрохимической службы с учетом современных требований сельского хозяйства.

**Л.М. Державин, Р.А. Афанасьев,
Г.Е. Мерзлая, 2016**

Истоки агрохимической службы в Российской Федерации уходят к началу XX столетия. В 1919 г. был организован Научный институт удобрений (НИУ), агрохимическим отделом которого под руководством Д.Н. Прянишникова, А.П. Левицкого и А.Н. Лебеяднца в 1926–1931 гг. было проведено около 4000 полевых опытов с удобрениями в различных природных зонах страны. Их результаты послужили обоснованием для развития промышленности по производству минеральных удобрений в СССР. 29 июля 1931 г. Народным комиссариатом земледелия СССР было принято Постановление об организации Всесоюзного института удобрений (ВИУ), перед которым были поставлены масштабные государственные задачи, связанные с разработкой научных основ химизации сельского хозяйства. Их решение требовало концентрации усилий не только агрохимиков, но и ученых других специальностей, в первую очередь агропочвоведов. Поэтому Всесоюзная сельскохозяйственная академия имени В.И. Ленина (ВАСХНИЛ) внесла предложение об объединении ВИУ с Институтом агропочвоведения, а Народный комиссариат земледелия СССР его утвердил. В результате 13 декабря 1931 г. был создан Всесоюзный институт удобрений и агропочвоведения (ВИУА), явившийся преемником Всесоюзного института удобрений. С самого начала деятельности ВИУА было решено создать Географическую сеть опытов с удобрениями с тем, чтобы квалифицированно решать теоретические и практические вопросы химизации земледелия с учетом особенностей почвенно-климатических зон.

В 1941 г. приказом Народного комиссариата земледелия СССР была официально утверждена Географическая сеть опытов с удобрениями. Ее организатором и руководителем работ до 1969 г. был известный ученый-агрохимик профессор П.Г. Найдин [1, 4, 7].

Постановлением Совета Министров СССР от 9 апреля 1964 г. № 319 «Об организации государственной агрохимической службы в сельском хозяйстве» была образована агрохимическая служба, включавшая 195 зональных лабораторий. Учреждения агрохимслужбы были сформированы на базе сельскохозяйственных опытных станций, зональных научно-исследовательских институтов и аграрных вузов. В тот же период в ряде сельскохозяйственных высших учебных заведений были созданы факультеты агрохимии и почвоведения, которые начали подготовку кадров для системы агрохимслужбы. На агрохимслужбу страны были возложены следующие функции:

– агрохимическое обследование почв;

- проведение массовых анализов почвы, удобрений и растительности;
- составление агрохимических картограмм земель;
- разработка рекомендаций по применению минеральных и органических удобрений;
- проведение полевых опытов с удобрениями;
- определение качества и питательной ценности кормов с выдачей рекомендаций по их использованию;
- контроль качества и условий хранения поставляемых сельскохозяйственным предприятиям агрохимических средств.

Методическое руководство и координацию работы учреждений агрохимслужбы осуществляла Центральная контрольная агрохимическая лаборатория (ЦКАЛ) при ВИУА. Позднее для развития и совершенствования методической работы. Постановлением Совета Министров СССР от 21 мая 1969 г. № 357 был создан Центральный институт агрохимического обслуживания (ЦИНАО). Административное руководство всей системой Госагрохимслужбы было возложено на Всесоюзное производственно-научное объединение «Союзсельхозхимия» Министерства сельского хозяйства СССР. В обязанности агрохимических зональных лабораторий, переименованных в 1976 г. в проектно-изыскательские станции и государственные центры агрохимической службы, входило [5, 6]:

- проведение почвенно-агрохимических обследований сельскохозяйственных земель, а также защищенных грунтов в овощеводстве, составление агрохимических картограмм и паспортов полей;
- разработка для сельскохозяйственных товаропроизводителей проектно-сметной и другой технологической документации на применение агрохимикатов; при централизованной экономике агрохимические лаборатории планировали поставки и распределение фондов минеральных удобрений и химических мелиорантов;
- организация и проведение опытов с удобрениями и другими средствами химизации в базовых хозяйствах для разработки нормативов их затрат и окупаемости;
- организация работы районных, а также межрайонных комплексных агрохимических лабораторий и экспресс-лабораторий по оперативному проведению диагностики питания растений и оценке качества кормов в хозяйствах;
- определение баланса элементов питания в земледелии;
- осуществление государственного контроля и авторского надзора за качеством и своевременностью проведения работ в хозяйствах по использованию агрохимических средств в строгом соответствии с проектно-сметной и другой технологической документацией, а также агроэкологическими требованиями и ограничениями;
- осуществление государственного контроля за качеством агрохимических средств, поставляемых сельскому хозяйству, их сертификация;
- оценка экономической и энергетической эффективности применения агрохимических средств; составление агрохимических карт административных районов, областей, краев, республик, анализ изменения почвенного плодородия;
- оценка качества сельскохозяйственной продукции и разработка рекомендаций по его улучшению;
- проведение паспортизации складов удобрений и других средств производства при химизации, контроль за учетом и хранением агрохимических средств;

- помощь производственным подразделениям агрохимической службы и сельскохозяйственным производителям в организации и проведении работ по агрохимическому обеспечению сельскохозяйственного производства;
- обобщение, пропаганда и внедрение в производство достижений науки и практики по агрохимическому обслуживанию и применению агрохимических средств.

10.1 Структура и функции агрохимической службы

В современных условиях становления рыночных отношений в агропромышленном комплексе концепцией развития агрохимии и агрохимического обслуживания сельского хозяйства России на период до 2020 г. предусматривается развитие следующих направлений деятельности агрохимслужбы [5, 6]:

- разработка методических основ и экономическое обоснование организации системы агрохимического сервиса сельхозтоваропроизводителей;
- разработка методов организации маркетинга в сфере агрохимобслуживания сельскохозяйственного производства; технико-экономическое обоснование деятельности предприятий агросервиса («Сельхозхимия», сельскохозяйственные кооперативы, машинно-тракторные станции, пункты проката техники), обеспечивающих интересы сельхозтоваропроизводителей;
- организация взаимодействия на условиях рыночных механизмов в системе «производство удобрений – посев – сервис»; определение экономической целесообразности применения удобрений при постоянно меняющемся соотношении цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию;
- выявление приоритетов в выборе видов и форм минеральных удобрений, норм, сроков и способов их внесения под различные сельскохозяйственные культуры в зависимости от складывающейся экономической обстановки;
- оценка экономической эффективности применения удобрений под различные сельскохозяйственные культуры в зависимости от почвенно-климатических условий и агрохимических свойств почв, прогнозирования экономики использования удобрений;
- агроэкономическая оценка технологий применения средств химизации;
- разработка научных основ экономической оценки земель сельскохозяйственного назначения в зависимости от типов почв, их гранулометрического состава, физико-химических и химических свойств, токсикологического и фитосанитарного состояния;
- разработка методических основ составления проектов на применение удобрений для получения урожая сельскохозяйственных культур определенного уровня и качества.

Структуру современной агрохимслужбы в Российской Федерации схематически изобразил академик В.Г. Сычев (рис. 26; [6])

Основными направлениями агрохимического сервиса современного земледелия являются:

- научные исследования;
- агрохимический анализ почв, растений, удобрений, сельскохозяйственной продукции;
- производство, хранение и поставки удобрений;
- информационно-методическое обслуживание;
- нормативно-правовое регулирование;
- подготовка специалистов агрохимиков.



Рисунок 26 – Структура агрохимслужбы в Российской Федерации

Применение удобрений поставило ряд сложных проблем перед современным земледелием: определение оптимальных норм, сроков и способов их внесения; повышение эффективности применения удобрений; увеличение коэффициента использования растениями элементов питания из почвы и удобрений; экологическая оценка использования агрохимических средств.

К ответственности ВНИИ агрохимии как головного научно-методического центра относятся [6]:

- проведение фундаментальных и приоритетных прикладных исследований по вопросам совершенствования агрохимической службы в России; проведение научных исследований по ключевым направлениям агрохимического обслуживания сельских товаропроизводителей;
- сбор, обобщение и анализ результатов агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий, радиологического и эколого-токсикологического мониторинга почв и посевов сельскохозяйственных культур;
- научно-методическое руководство работой Геосети полевых опытов с удобрениями и другими средствами химизации, а также массовых полевых опытов научно-производственными подразделениями агрохимслужбы;
- формирование и пополнение федеральной базы данных полевых опытов с удобрениями;
- разработка стандартов, нормативов, регламентов и правил, необходимых для функционирования научно-производственных подразделений – государственных центров и станций агрохимической службы;
- разработка информационных систем для решения задач агрохимического профиля и их внедрение в государственную агрохимическую службу;
- организация регистрационных испытаний агрохимикатов и разработка необходимых методических документов для центров и станций агрохимической службы по данному направлению;
- проведение межлабораторных сравнительных испытаний для оценки качества анализа почв, кормов, пищевой продукции и продовольственного сырья в лабораториях агрохимической службы;
- экспертиза и испытание новых приборов и оборудования, их внедрение в лаборатории государственных центров и станций агрохимической службы;

– обобщение и пропаганда передового опыта агрохимического обслуживания сельских товаропроизводителей, обеспечение подразделений агрохимической службы объективной и постоянно обновляемой информацией по тематике, связанной с их деятельностью;

– организация системы повышения квалификации и переподготовки специалистов государственных центров и станций агрохимической службы и специалистов по агрохимическому обслуживанию, подготовка и распространение информационных и учебно-методических материалов.

10.2 Особенности агрохимического обеспечения в системах точного земледелия

Истоки современного точного, или координатного, земледелия, основывающегося на учете внутривидовой пестроты агрохимических показателей плодородия почвы, лежат в глубокой древности. Еще римский естествоиспытатель Катон Старший (234–149 гг. до н. э.) в своем трактате «*О земледелии*» призывал бороться с «пестротой поля». Предвестником агрохимического обеспечения в системах точного земледелия по праву считают знаменитого немецкого агрохимика Юстуса Либиха. Еще в 1840 г. он в своем фундаментальном труде «*Химия в приложении к земледелию и физиологии*» писал: «Придет время, когда каждое поле сообразно с растением, какое на нем имеют в виду разводить, будет удобряться свойственным удобрением, приготовленным на химических заводах; тогда удобрение будет состоять только из тех веществ, которые нужны для питания растения». На пестроту плодородия полей обращали внимание и наши соотечественники П.А. Костычев (1845–1895), И.А. Стебут (1833–1923), А.В. Советов (1826–1901) и Д.Н. Прянишников (1865–1948) [2, 3, 8].

Наиболее полно идея внутривидовой дифференциации агротехнических мероприятий из наших соотечественников была выражена основоположником отечественной агрохимической научной школы академиком Д.Н. Прянишниковым, который в 1946 г. писал; «Определение содержания в почвах подвижных форм азота, фосфора и калия может быть использовано для дифференцировки доз и соотношений азотистых, фосфорнокислых и калийных удобрений, вносимых под одну и ту же культуру, в одном и том же поле севооборота, но на участках поля, различающихся по почвенным условиям ... Отсюда большое значение приобретают разнообразные способы учета этих изменяющихся во времени и пространстве свойств почвы в целях наиболее эффективного применения удобрений». Д.Н. Прянишников подчеркивал, что для такой «дифференцировки» необходимы почвенные исследования и соответствующим образом составленные карты почвенного покрова и почвенно-агрохимические картограммы. Эти различия в состоянии почв, по мнению ученого, могут служить основанием для составления дифференцированного плана мероприятий по улучшению их культурного состояния как с помощью удобрений, так и сочетания удобрений с углублением пахотного горизонта, мелиоративными мероприятиями. В этих тезисах выдающегося ученого-агрохимика дано исчерпывающее обоснование целесообразности дифференцированного применения удобрений в сочетании с другими технологическими приемами и обозначены два основных направления научного поиска в решении проблемы точного земледелия: разработка способов выявления и картографирования внутривидовой вариативности почвенного пло-

дородия и способы оптимизации минерального питания растений с учетом этой variability. Если агрохимические и агрофизические показатели качества и плодородия почв значительно отличаются в пределах одного поля, то затраты на новую технологию с большой вероятностью окупятся. Следовательно, первым необходимым шагом при переходе на новую технологию является объективная оценка пространственной variability.

Основная задача точного земледелия – адаптировать современные технологии возделывания сельхозкультур к пространственной и временной variability параметров плодородия почв в границах одного поля. Точкой отсчета начала точного земледелия следует считать 1928 г. В этом году в США осуществили известкование поля с учетом неоднородности показателя кислотности почвы. Идея точного земледелия была воплощена в жизнь полностью также в этой стране. В результате аэрофотосъемки одного из полей в инфракрасном диапазоне отраженного спектра была выявлена разница между двумя частями поля, вызванная различием в гранулометрическом составе почвы. Вследствие этого открытия, в США, а затем и в ряде европейских стран было организовано производство сельскохозяйственной техники, приспособленной к дифференцированному по площади поля внесению минеральных удобрений [2, 3, 9].

Способ внесения удобрений должен удовлетворять трем основным требованиям: обеспечивать точное внесение научно-обоснованной нормы; быть экономически выгодными; отвечать экологическим требованиям. Анализ существующих способов внесения удобрений показывает, что в наибольшей степени этим требованиям отвечает технология дифференцированного внесения удобрений по фазам роста и развития растений в соответствии с внутрипольной неоднородностью плодородия почвы и фитосанитарным состоянием посевов. Она является основным элементом системы точного земледелия, которая базируется на использовании глобальных спутниковых навигационных и геоинформационных систем (ГИС), а также систем автоматизированного управления технологическими процессами возделывания сельскохозяйственных культур, интегрированных в информационные технологии.

Ведущими российскими учеными в области точного земледелия А.Ю. Измайловым, З.А. Годжаевым, В.Г. Сычевым и Р.А. Афанасьевым [3] установлены закономерности внутрипольной variability агрохимических показателей плодородия почвы, на которые следует в первую очередь обратить внимание при разработке и внедрении технологий точного земледелия:

1. Реакция почвенной среды, содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия в принципе соответствуют закону нормального распределения;

2. Наибольшая variability агрохимических показателей наблюдается как раз на участках с относительно меньшими и большими их значениями при снижении variability в среднем интервале. Эта закономерность внутрипольного варьирования плодородия почвы свидетельствует, что агроэкономический эффект дифференцированного внесения удобрений в каждом конкретном случае зависит от соотношения участков с маргинальными значениями агрохимических показателей к участкам со средними их значениями на данном поле: чем выше это соотношение, тем выше эффективность дифференциации доз;

3. Внутрипольная пестрота плодородия почвы может превосходить межпольную. Данное свойство обусловлено тем, что увеличение площади пашни, по которой проводится усреднение агрохимических показателей,

снижает вариабельность между контурами и увеличивает ее внутри контуров и наоборот. Данную закономерность учитывают при разработке высокоэффективных агротехнологий, находя определенный компромисс между целесообразностью выделения контуров плодородия почвы с наименьшей внутриконтурной вариабельностью для повышения эффективности удобрений, с одной стороны, и наименьшим количеством таких контуров на поле для снижения затрат на отбор и анализ почвенных проб, с другой;

4. Пространственная гетерогенность почвенного плодородия определяется плавным, постепенным переходом от наибольших значений агрохимических показателей к меньшим и, наоборот, от меньших – к наибольшим. Учет данной особенности структуры почвенного покрова важен с практической точки зрения т. к. позволяет при проектировании и создании машин для дифференцированного применения агрохимических средств предусматривать сравнительно плавное изменение их доз при движении по полю, что облегчает как конструкторские решения, так и рабочие процессы внесения удобрений в производственных условиях;

5. Границы различных агрохимических контуров между собой не совпадают т. е. между различными агрохимическими показателями на внутрипольных контурах (элементарных участках) полей слабая корреляция. Иначе говоря, для каждого внутрипольного территориального агроконтура необходимы разные дозы и соотношения питательных веществ в удобрении, соответствующие агрохимической характеристике этих контуров. С учетом данной агрохимической особенности в технологиях дифференцированного внесения удобрений требуется или применение машин с одновременным высевом разных видов минеральных удобрений, или неоднократный проход машин, приспособленных для внесения одного вида удобрения;

6. Внутрипольное варьирование агрохимических показателей почвы проявляется в зависимости уровня ее плодородия, мезо- и микрорельефа полей. Химизм почв одного местоположения на рельефе местности влияет на агрохимические процессы соседних почв, в т. ч. на выщелачивание, перенос и осаждение химических компонентов. Данная закономерность позволяет использовать результаты топографической съемки полей для априорного выявления контуров плодородия (агроконтуров), для отбора и агрохимического анализа почвенных проб в целях сокращения затрат на агрохимическое обследование по сравнению с традиционной технологией агромониторинга;

7. Урожайность культур варьирует в меньшей степени, чем внутрипольные показатели плодородия почвы. Данный эффект вызван физиологической пластичностью растений, их способностью при недостатке питания усиливать развитие корневой системы, повышать ее воздействие на труднорастворимые формы элементов питания почвы. Подобная приспособительная реакция растений, направленная на их нормальное функционирование, вместе с тем снижает различия в урожайности сельскохозяйственных культур на участках с неодинаковым уровнем плодородия почвы и, соответственно, прибавки урожая от дифференцированного внесения удобрительных средств.

Все перечисленные особенности внутрипольного состояния почв и растений, их взаимодействия в процессе вегетации и формирования урожая должны учитываться при разработке систем удобрения сельскохозяйственных культур, включая определение видов, форм, норм удобрений, сроков и способов их внесения [10, 12, 13].

Внедрение технологии дифференцированного внесения удобрений осуществляется, как правило, поэтапно. Анализ производственного опыта позволяет установить следующую последовательность ее внедрения в производство.

1. Оснащение машинно-тракторных агрегатов навигационными системами параллельного вождения или автопилотами, позволяющими на основе использования сигналов спутниковых навигационных систем осуществлять привязку проводимых операций к конкретной местности, точно в автоматическом режиме выдерживая прямолинейность движения, а также способствующих повышению производительности агрегатов и сокращению расхода удобрений и топливно-смазочных материалов до 20 %. Наибольшее распространение в России нашли системы параллельного вождения и автопилотов фирм «Agrocom» (серии Outback), «Trimble» (серии AgGPS EZ-Guide, AgGPS Autopilot) и «John Deere» (серии Autotrac).

2. Создание электронных карт полей (контуров) с помощью GPS-приемника, спутниковых снимков и специального программного обеспечения (ГИС). Такая карта позволяет уточнять площади и конфигурации полей, что дает возможность заранее точно рассчитать потребность ГСМ и других расходных материалов. При этом проводится привязка карты к координатам топографической карты района, в котором расположено хозяйство.

3. Картирование урожайности. Зерноуборочный комбайн оснащается специальным оборудованием (устройство контроля урожайности, бортовой компьютер с соответствующим программным обеспечением), которое контролирует и фиксирует в памяти компьютера такие показатели, как урожайность, влажность и масса собранного зерна, обработанная площадь. На основании этих данных составляется карта урожайности сельскохозяйственных культур на каждом конкретном поле. Картирование урожайности позволяет сократить количество почвенных проб при последующем агрохимическом обследовании, т. к. оно будет проводиться только на участках с минимальной урожайностью. Для картирования урожайности могут использоваться как универсальные системы, пригодные для установки на комбайнах любых типов (например, Zeres фирмы «Agrosom», Германия), так и системы, разработанные фирмами для выпускаемых ими зерноуборочных комбайнов (например, «Claas», Германия; «John Deere», США).

4. Агрохимическое картирование полей, в основе которого лежит мониторинг почвенного плодородия с использованием мобильного комплекса. Такой комплекс может состоять, например, из автоматического почвенного пробоотборника, системы параллельного вождения AgGPS EZ-Guide Plus со встроенным высокоточным GPS-приемником, бортового компьютера и специального программного обеспечения. Для проведения работ каждое поле разбивается на условные квадраты или элементарные участки. С помощью пробоотборника осуществляется отбор образцов почвы по диагонали элементарного участка. Далее в лабораторных условиях проводятся исследования по определению агрохимических показателей, необходимых для расчета доз удобрений (содержание гумуса, подвижного фосфора и обменного калия, рН и др.), и с помощью специального программного обеспечения составляются точные карты пространственного распределения их значений внутри каждого поля.

5. Дифференцированное внесение удобрений. Это ключевой момент всей технологии точного земледелия. Может осуществляться в двух режимах –

off line (автономный) и *on line* (режим реального времени). Режим *off line* предусматривает предварительную подготовку на стационарном компьютере карты-задания, в которой содержатся пространственно привязанные с помощью GPS, дозы удобрения для каждого элементарного участка поля. Для этого проводится сбор необходимых для расчета доз удобрений данных о поле (пространственно привязанных), выполняется расчет дозы для каждого элементарного участка поля, тем самым формируется (в специальной программе) карта-задание. Затем карта-задание переносится на чип-карте (носитель информации) на бортовой компьютер сельскохозяйственной техники, оснащенной GPS-приемником, и выполняется заданная операция. Трактор, оснащенный бортовым компьютером, двигаясь по полю, с помощью GPS определяет свое местонахождение. Бортовой компьютер считывает с чип-карты дозу удобрений, соответствующую месту нахождения, и посылает соответствующий сигнал на контроллер машины для внесения жидких удобрений, которая выдает нужную дозу ЖКУ. В этом режиме целесообразнее вносить основное удобрение. Режим реального времени *on line*, который обычно используется для внесения подкормочных доз удобрений, предполагает предварительно определить агротребования на выполнение операции, а доза удобрений рассчитывается во время выполнения операции. Агротребования в данном случае – это количественная зависимость дозы удобрения от показаний датчика, установленного на сельскохозяйственной технике, выполняющей операцию. На основании этих данных, а также данных о сорте и фазе растения, определяется доза азотного удобрения. Результаты операции (дозы и координаты, обработанная площадь, время выполнения и фамилия исполнителя) записываются на чип-карту.

Бортовой компьютер получает данные от датчика, сравнивает их с определенными и записанными в память агротребованиями, посылает сигнал на контроллер по той же схеме, что и в режиме *off line*. В качестве технического средства для внесения жидких удобрений в режиме *on line* используется полевой штанговый опрыскиватель, оснащенный системой навигации, бортовым компьютером и датчиком азота (например, «Amazone UF800» в комплексе с N-сенсором «Yara», «Lem-ken Albatros 30» с N-тестером и т. д.). Основным элементом в этой схеме является датчик, поэтому в настоящее время активно ведутся разработки различных датчиков, позволяющих использовать режим *on line*. Первым появился оптический датчик N-сенсор фирмы «Hidro Agri», работа которого была основана на измерении светового потока, отраженного растением в инфракрасной и красной зонах спектра, и определении содержания хлорофилла в листьях. На основании этих данных, а также данных о сорте и фазе растений определяется локальная доза азотного удобрения. За рубежом применяются датчики, использующие и другие принципы работы (лазерная флуоресценция, электромагнитные колебания, механическое воздействие и т. д.). Одной из последних разработок является серия, представленная фирмой «Hydro Agri» (Германия). Это системы Greenseeker, MiniVeg N, N-Sensor, Crop-Sensor, характеристика которых отражена в таблице 190.

Для работы с жидкими удобрениями применяется система Greenseeker. Она снабжена активным источником света, излучаемого в диапазоне 600 нм (красный) и 780 нм (близкий к инфракрасному). Часть отраженного света попадает на фотодиоды, где измеряется его количество. После вычисления на компьютере выдается индекс вегетации, который служит показателем плотности травостоя и его жизнеспособности.

Таблица 190 – Сравнительная характеристика сенсорных датчиков фирмы «Hydro Agri»

| Показатель | Система | | | |
|-------------------------|--|--|---|---|
| | Greenseeker | Mini Veg N | N – Sensor | Crop-Sensor |
| Обрабатываемая культура | Озимая пшеница, кукуруза и ячмень | Зерновые культуры и кукуруза | Зерновые культуры, кукуруза и рапс | Все виды колосовых культур при отсутствии их полегания |
| Вносимые материалы | Жидкие удобрения | Удобрения, регуляторы роста | Удобрения, регуляторы роста | Удобрения, регуляторы роста |
| Принцип работы | Система излучает красные и ближние инфракрасные лучи света, которые, отражаясь от растений, попадают на фотодиоды, расположенные в головной части датчика, где измеряется количество отраженного света. После вычисления на компьютере выдается индекс вегетации, который служит показателем плотности травостоя и его жизнеспособности. Компьютер вычисляет необходимое количество удобрений и по его команде осуществляется их подача в каждый жиклер отдельно | Система работает по принципу лазерной флюоресценции. Датчики крепятся на штанге, которая поворачивается в сторону по ходу движения техники. В датчике происходит разложение солнечных лучей и сравнение с лучами от растений. В зависимости от содержания хлорофилла в видимой части спектра отражается больше или меньше света. Определяется цвет листьев и плотность травостоя. Компьютер вычисляет необходимое количество удобрений и определяет характер заболевания по изменению окраски листьев растений | В системе используется принцип оптического замера плотности посевов и концентрации хлорофилла в листьях растений. В датчике, монтируемом на крыше тягача, происходит разложение солнечных лучей на 256 диапазонов спектра и сравнение с лучами от растений. В зависимости от содержания хлорофилла отражается больше или меньше света. Определяется цвет листьев и плотность травостоя. Компьютер вычисляет необходимое количество удобрений. Программируются алгоритмы для их повторных внесений | На передней части трактора крепится маятник, с помощью которого на постоянной высоте измеряется сила сопротивления растений при их отклонении от вертикального положения. Во избежание погрешностей измерения выдерживается постоянная скорость движения машины. Условия влияющие на точность измерения (глубина колеи трактора или его наклон из-за неровности местности), учитываются автоматически |

Рабочий захват системы – 18 м. Через каждые 0,6 м монтируются 30 датчиков и жиклеров. Бортовой компьютер позволяет вычислять необходимое количество удобрений и подавать их в каждый жиклер отдельно. Алгоритм для внесения удобрения с локальной спецификой существует для озимой пшеницы, вскоре ожидается появление соответствующих версий для кукурузы и ячменя.

Точное земледелие, как этап дальнейшего развития мирового земледелия, – указывают А.Ю. Измайлов, З.А. Годжаев, В.Г. Сычев и Р.А. Афанасьев [3], – в значительной мере должно основываться на принципах оптимизации минерального питания растений, т. е. на рациональном, биологически, экономически и экологически сбалансированном применении удобрений и других агрохимических средств. Вместе с тем, – совершенно правильно отмечают авторы, – точное земледелие в его номинальном значении с агрономической точки зрения не может заменить результатов масштабных исследований, проводимых в условиях точного полевого опыта и реального производства, т. е. в опытах Геосети и агрохимслужбы, в частности. Поэтому разработка и осуществление полноценной программы исследований по дифференцированному применению агрохимических средств должны быть одним из приоритетных направлений в работе научных учреждений сельскохозяйственного профиля, центров и станций агрохимической службы. При этом особое значение приобретает комплексность научных и опытно-производственных работ агрохимиков с механизаторами при максимальном использовании потенциала конверсионных предприятий военно-промышленного комплекса страны, обладающих уникальными технологиями в области дистанционного (аэрокосмического) зондирования и автоматизации управления исполнительными органами агрегатов. Следует согласиться с этим мнением компетентных ученых.

Для агрохимического обеспечения точного земледелия во ВНИИА и сотрудничающих с ним организациях разрабатываются [2, 6, 11]:

- способы выявления характера внутривидовой вариативности почвенного плодородия и фитосанитарного состояния посевов в целях дифференцированного применения агрохимических средств;
- способы картографирования внутривидовой пестроты плодородия почв и посевов с использованием дистанционного (аэрокосмического) зондирования в радио- и фотодиапазонах электромагнитного излучения, а также способы отбора почвенных проб на выявленных контурах с использованием глобальных систем позиционирования (GPS, ГЛОНАСС);
- компьютерные программы автоматизированного расчета доз удобрений для дифференцированного внесения под основные сельскохозяйственные культуры в разных почвенно-климатических условиях;
- машины для дифференцированного внесения агрохимических средств в разные фазы развития растений (пока в виде действующих макетных образцов);
- приборы и оборудование для диагностики минерального питания растений, необходимой для технологий точного земледелия.

Подобные разработки открывают возможность в обозримой перспективе перейти в основном на отечественную научно-техническую базу в целях дифференцированного применения агрохимических средств.

По мнению Р.А. Афанасьева, Р.Ф. Байбекова, Г.И. Личмана и их коллег [2], деятельность региональных центров должна быть направлена на решение следующих задач:

- проведение агротехнологических исследований по оценке эффективности точного земледелия как с экономической, так и с экологической точек зрения;
- сбор, анализ, обобщение и распространение информации о технологиях, технических средствах, программном обеспечении;

- формирование банка данных о влиянии агроклиматических и других факторов на продуктивность агроценозов, воздействия агротехнологий на окружающую среду;
- выявление наиболее существенных факторов воздействия на продуктивность агроценозов;
- изучение пространственной и временной вариабельности параметров плодородия поля и состояния посевов с использованием контактных и дистанционных методов диагностики в глобальной системе позиционирования ГЛОНАСС, GPS;
- проведение мониторинга урожайности зерновых культур с использованием ГЛОНАСС, GPS или других систем позиционирования;
- разработка программных комплексов формирования банка данных параметров плодородия поля и состояния посевов, факторов риска, интерпретации полученной информации и принятия оптимальных управленческих решений с использованием современных ГИС;
- оказание методических консультаций по статистическому анализу пестроты плодородия полей, действию факторов риска, обуславливающих пестроту урожайности, составлению карт пестроты урожайности, их интерпретации и выработке предложений пользователю;
- разработка автоматизированных стендов, макетов и экспериментальных образцов машин для отработки технологических процессов, обоснования функциональных схем и параметров технических средств;
- проведение лабораторно-полевых и производственных испытаний технологий и технических средств дифференцированного воздействия на систему «почва–растение» на эталонных полях, выделенных в системе севооборотов при производстве сельскохозяйственной продукции и, прежде всего, зерна;
- разработка рекомендаций по проектированию и управлению технологическими процессами дифференцированного воздействия на систему «почва-растение-окружающая среда» в принятой системе позиционирования;
- обеспечение доступа пользователей к базе данных факторов, предопределяющих продуктивность возделываемых культур в системе координатного земледелия.

При организации региональных исследований особое внимание следует обратить на информационно-нормативное обеспечение технологий дифференцированного применения удобрений в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия [2, 3, 9].

Вопросы для самоконтроля

1. Структура агрохимической службы Российской Федерации и ее задачи.
2. Цель создания научных подразделений агрохимической службы.
3. Какие задачи решают научные подразделения агрохимической службы?
4. Какие задачи решают производственные подразделения агрохимической службы?
5. Научно-методическое руководство деятельностью агрохимической службы Российской Федерации.
6. На каких принципах должно осуществляться совершенствование структуры и деятельности агрохимической службы страны в современных социально-экономических условиях?

Литература

1. Агрохимия / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Агрэкоосодружество, 2017. – 854с.
2. Афанасьев Р.А. Точное земледелие: истоки, реальность, задачи на перспективу / Р.А. Афанасьев, Р.Ф. Байбеков, Г.И. Личман, П.М. Пугачев, Т.В. Мочкова, Е.В. Березовский, А.В. Мельников / Инновационные решения регулирования плодородия почв сельскохозяйственных угодий. – М.:ВНИИА, 2011. С. 108–126.
3. Измайлов А.Ю. Робототехника в агрохимии точного земледелия / А.Ю. Измайлов, З.А. Годжаев, В.Г. Сычев, Р.А. Афанасьев // Плодородие. 2018. №1 (100). С.53–57.
4. Минеев В.Г. Решение проблем агрохимии в Географической сети опытов с удобрениями В.Г.Минеев // Плодородие. 2006. №5(32). С. 7–9.
5. Муравин Э.А. Агрохимия / Э.А. Муравин, Л.В. Ромодина, В.А. Литвинский. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 304 с.
6. Сычев В.Г. Состояние и стратегия развития агрохимического обслуживания сельскохозяйственного производства в Российской Федерации / В.Г. Сычев / Консультативное агрохимическое обслуживание в Российской Федерации. Итоги и перспективы. – М.: ВНИИА, 2005. С. 3–9.
7. Сычев В.Г. Всероссийскому научно-исследовательскому институту агрохимии имени Д.Н. Прянишникова – 75 лет / В.Г. Сычев // Плодородие. 2006. №5(32). С. 2–5.
8. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 1. История и методология агрохимии / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – 1278 с.
9. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 2. Методика агрохимических исследований / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 703 с.
10. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 3. Экспериментальная агрохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 755 с.
11. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 4. Фундаментальная агрохимия. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 529 с.
12. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 5. Прикладная агрохимия. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2017. – 860 с.
13. Шеуджен А.Х. Технология применения агрохимических средств и техника безопасности при работе с ними / А.Х. Шеуджен, С.В. Кизинек, И.А. Лебедовский, Т.Н. Бондарева, М.А. Осипов. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2017. – 56 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Человечество, как живое вещество, неразрывно связано с материально-энергетическими процессами определенной геологической оболочки Земли – с ее биосферой. Оно не может быть независимым ни на одну минуту.

В.И. Вернадский

Россия – великая страна, с огромной территорией, многонациональным населением, разнообразными природно-климатическими и социально-экономическими особенностями. Она – часть Евразийского материка, волею судьбы выступающая в роли геотранспортного коридора, связывающего Европу и Азию. Россия – своеобразный мост, обеспечивающий самую короткую и эффективную транспортную, инфраструктурную и информационную связь между главными экономическими и политическими центрами мира. Но не только в этом её историческая роль в мире. Россия – это основной потенциал глобального экологического равновесия планеты Земля. В расчете на душу населения природно-ресурсный потенциал России в 2–2,5 раза превышает ресурсный потенциал США, 6 – Германии, 18–22 – Японии. Природные запасы России оцениваются триллионами долларов. Ежегодный поток доходов от используемого природно-ресурсного потенциала превышает 60–80 млрд. долл. Ее вклад в сохранение экономической устойчивости мировой экосистемы в 2 раза превышает вклад таких стран, как США и Канада, в 1,5 раза – Бразилии и Австралии. И, наконец, Россия – страна, сохраняющая высокую долю интеллектуального потенциала планеты – стратегический ресурс её будущего развития. И все дело в том, как мы сами сумеем распорядиться своим интеллектуальным потенциалом.

В силу тех реальных возможностей, которыми располагает Россия на своем геостратегическом пространстве, ей исторически предопределена роль ведущей державы мира. Она слишком масштабна в территориальном, экологическом, научно-техническом и оборонном измерениях, чтобы какое-либо другое государство или их коалиция могли оттеснить Россию на периферию мировой политической сцены.

Одной из определяющих компонент устойчивого развития любой страны является нравственная составляющая, непосредственно связанная с человеком, его культурой, историческими традициями, преданиями и верованиями, особенностями национального уклада жизни. Еще в самом начале прошлого века В.И. Вернадский говорил, что человечеству придется взять на себя ответственность за развитие не только общества, но и биосферы в целом. Добавим от себя, – пишет Д.С. Львов [1] без этого сохранение на Земле вида «человек разумный» становится весьма проблематичным.

Биосфера является гигантской экологической системой всего земного шара. Сама же Земля – дом человечества. Наиболее благородная задача всех ныне живущих людей состоит в том, чтобы будущие поколения могли пользоваться всеми благами природы. Вот почему охрана биосферы, как среды обитания всех живых существ, приобрела международный, можно сказать глобальный, характер. Разумеется, в выработке и осуществлении целенаправленной государственной экологической политики огромную роль играют прикладные направления экологии, к которым относится и экологическая агрохи-

мия, изучающая комплексное воздействие агрохимических средств на биосферу и их экологические функции в агроэкосистемах. Экологические проблемы агрохимии как часть общей проблемы сохранения биосферы стали возникать в ряде регионов нашей страны в последние годы, в связи с ростом производства и применения минеральных удобрений в сельском хозяйстве, широким развитием строительства крупных животноводческих комплексов промышленного типа. В европейских странах в связи с продолжительным интенсивным применением минеральных удобрений, высокими темпами накопления отходов животноводства эта проблема стоит острее. При возросшем влиянии общественного производства на окружающую среду необходимо ужесточение требований к охране природы, экономному использованию ее богатств, защите механизма самосохранения и саморегуляции биосферы от отрицательного воздействия деятельности человека, сочетания потребления и воспроизводства природных ресурсов в целях сохранения экологического равновесия [2].

Защита окружающей среды от прямого загрязнения и разрушения, снижение ресурсо-, материало- и энергоемкости сельскохозяйственного производства, внедрение малоотходных технологических систем и процессов, минимизация потерь сельскохозяйственной продукции, внедрение природообразных систем ведения земледелия, животноводства, оптимизация ландшафта сельскохозяйственных районов, производство экологически чистой продукции зависят от экологической грамотности специалистов сельского хозяйства и экологической культуры населения. Здесь уместно вставить выдержку из книги известного русского писателя И. Васильева «Дело и только дело» (1987): «Что творишь ты, земляк!.. Почему ты не думаешь? Не думаешь о том, что будет завтра с твоим домом, с твоими детьми, с землей, которая тебя кормит?.. Ну скажи, пожалуйста, на что тебе будут миллионы куриных яиц, которые ты собираешь сегодня на фабрике, если завтра не станет вот этого леса, если болота и озера превратятся в зловонные лужи и ты не отыщешь чистой водицы, чтобы утолить жажду, если зеленый покров земли сдерешь колесами и ветер поднимет тучи песка и понесет в твои окна и двери? Ведь ты бросишь все и пойдешь куда-нибудь. А там что же, опять за свое, опять бездумье? Земля велика, но и у нее предел есть. Грустно глядеть на твои следы... вот в десяти шагах от крайнего дома – болото. Оно было сухое, росли на нем березы и сосны, заслоняли деревню от огромного, расплывшегося на десятки гектаров зловонного поля, так называемого навозохранилища. Болото ты подтопил. Насыпал через ручеек дамбу, чтобы сократить дорогу к ферме, вода поднялась – лес погиб. Он стоит мертвый, птицы в нем не живут... Еще десять шагов – картофельные бурты, кучи прелой соломы, сухие сосны. Каждую весну бульдозер сгребает всю гниль, валит под откос – там уже вал образовался, сосняк задохся, повалился, открыв уже мертвое болото с другой стороны. А с третьей в это подтопленное болото текут обильные навозные ручьи. Теперь повернись, выбери любую из десяти дорог, коими расплосован молодой сосновый бор на жалкие лоскутки, и пройди по ней еще сотню шагов – увидишь как расплзается, низвергая сосны и березы под обрыв, другая язва земли – карьер... Если этого не понимать, то...».

Общее образование в области охраны окружающей среды необходимо давать всем гражданам независимо от системы просвещения. Экологически грамотные граждане должны располагать общими сведениями об окружающей среде, понимать последствия нерационального природопользования

и иметь необходимую подготовку, чтобы способствовать принятию нужных и полезных решений... Образование в области окружающей среды не является отдельной отраслью науки или особым предметом для изучения. Оно должно осуществляться в процессе общего образования на протяжении жизни каждого человека. Оно предназначено для всех и представляет собой активный процесс, который строится на материалах почти всех дисциплин. Это образование имеет отношение к динамическому взаимодействию между человечеством и природой и направлено на улучшение качества среды, существования всех живых существ. Для того чтобы биосфера могла гармонично и постоянно реагировать на деятельность человека по удовлетворению его потребностей и желаний, необходимо, чтобы все мероприятия по природопользованию исключали негативные последствия» [2].

Почва является основой производства продовольствия. Поэтому деятельность человека должна быть направлена на предотвращение деградации почв, восстановление и улучшение разрушенных вследствие неправильной их обработки. Подтверждением значимости плодородия почв в жизни человечества служит Притча о сеятеле и семени: «...вот вышел сеятель сеять; И когда сеял, случилось, что иное упало при дороге и налетели птицы и поклевали то; Иное упало на каменистое место, где немного было земли, и скоро взошло, потому что земля была не глубока; Когда же взошло солнце, увяло и, как не имело корня, засохло; Иное упало в терние, и терние выросло, и заглушило семя, и оно не дало плода; И иное упало на добрую землю и дало плод, который взошел и вырос, и принесло иное тридцать, иное шестьдесят, и иное сто. И сказал им: кто имеет уши слышать, да слышит!» (Евангелие от Марка, 4, 3–9).

Основное внимание в прочитанной Вами книге уделено экологическим функциям агрохимии и почв, а также получению экологически безопасной сельскохозяйственной продукции. Понимание необходимости бережного отношения к матушке-земле и биосфере в целом нельзя считать достижением только последних лет. Необходимость «обрабатывать и сохранять» землю была сформулирована еще в Книге Бытия. Вполне понятно, что слово, переведенное с древнееврейского как сохранять, имеет в оригинале более глубокий смысл: оно означает также разведывать, изучать, исследовать, экспериментировать и преобразовывать, не причиняя ей вреда. Хочется верить, что эта книга поможет читателям более успешно следовать заветам Создателя, чтобы мы также могли сказать: «Ты посещаешь землю и утоляешь жажду ее, обильно обогащаешь ее: поток Божий полон воды; Ты приготовляешь хлеб, ибо так устроил ее; наполняешь борозды ее, уравниваешь глыбы ее, размягчаешь ее каплями дождя, благословляешь произрастания ее; венчаешь лето благодати твоей, и стези твои источают тук, источают на пустынные пажити, и холмы препоясываются радостью; луга одеваются стадами, и долины покрываются хлебом, восклицают и поют» (Псалтырь, 64; 10–14).

Литература

1. Львов Д.С. Россия: в чем наше будущее? / Д.С. Львов / Агроэкология. Методология, технология, экономика. – М.: КолосС, 2004. С. 382–391.
2. Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии / В.Г. Минеев. – М.: МГУ, 1988. – 285 с.

ГЛОССАРИЙ

Дайте объяснение употребляемым словам, и вы избавите человечество от многих его заблуждений.

Р. Декарт

Абиотические факторы – освещение, температура, влажность и другие, необходимые для жизни условия, возникновение и действие которых прямо не зависят от деятельности живых организмов.

Автотрофы – организмы, создающие органическое вещество из CO₂, воды и минеральных солей в результате фотосинтеза или хемосинтеза.

Агрикультура (агрокультура) – 1) раздел агрономии, изучающий способы пользования земель и повышения плодородия почвы; 2) обработка земли с целью выращивания культурных растений; 3) совокупность мероприятий по улучшению культуры земледелия.

Агробиогеохимия – наука, изучающая взаимодействие живой и не живой природы в агробиогеоценозе. Термин «агробиогеохимия» 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).

Агробиогеоценоз – биоценоз, искусственно созданный или измененный человеком с целью создания растительной продукции сельскохозяйственного назначения, состоит из агробиотопа и агроэктопа.

Агробиохимическая 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; 6) техногенные элементы – элементы, не обнаруженные в земной коре, поступление которых в растение связано с техногенезом. (предложена А.Х. Шеудженом.)

Агроистощение земель – потеря почвенного плодородия в результате обеднения почв элементами минерального питания, неблагоприятных изменений почвенного поглощающего комплекса, реакции среды, обеднения минералогического состава, уменьшения содержания и ухудшения качества органического вещества, развития неблагоприятного комплекса почвенной биоты.

Агроландшафт (сельскохозяйственный ландшафт) – 1) территориальная система, в которой взаимосвязаны как природные, так и антропогенно-техногенные элементы; 2) техногенный ландшафт, который формируется под влиянием интенсивного техногенного воздействия и используется для целей сельскохозяйственного производства.

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 (агроруды) – горные породы и продукты их переработки, которые применяются в сельском хозяйстве для улучшения плодородия почв и повышения урожайности различных сельскохозяйственных культур.

Агрофитоценоз – растительное сообщество, представленное культурными (основная структурная единица) и сорными растениями и выполняющее функцию продуцентов.

Агрохимикаты – общее понятие для обозначения применяемых в сельском хозяйстве агрохимических средств, пестицидов и кормовых добавок, предназначенных для подкормки животных.

Агрохимическая характеристика почвы – совокупность химических и физико-химических показателей плодородия почв.

Агрохимические мероприятия – совокупность научно обоснованных приемов применения агрохимических средств в целях воспроизводства продуктивности агроценозов и плодородия земель сельскохозяйственного назначения при обеспечении мер по безопасному обращению с ними в целях охраны окружающей природной среды.

Агрохимические средства – минеральные и органические удобрения, химические мелиоранты, бактериальные препараты, регуляторы роста растений, включая стимуляторы роста и ретарданты, дефолианты, десиканты, сениканты, ингибиторы нитрификации, цеолиты и другие вещества, используемые для воспроизводства плодородия почвы, питания растений или целенаправленного регулирования обмена веществ растительного организма.

Агрохимическое обслуживание (агрохимический сервис) – деятельность по обеспечению сельскохозяйственных товаропроизводителей агрохимическими средствами, технологиями, техникой, а также деятельность по осуществлению агрохимических и мелиоративных

мероприятий, по проведению научных исследований в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

Агроэкология (сельскохозяйственная экология) – 1) 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; 2) раздел прикладной экологии, изучающий влияние факторов среды (абиотических и биотических) на продуктивность культурных растений, а также на структуру и динамику сообществ организмов, обитающих на сельхозугодьях.

Агроэкосистема – пространственно ограниченная, искусственно созданная, нестабильная, взаимосвязанная совокупность биотических и частично измененных абиотических компонент, характерной особенностью которой является относительно устойчивое функционирование во времени при наличии постоянного входящего потока антропогенной энергии и существующая для получения заранее определенного количества растительной сельскохозяйственной продукции.

Альтернативные системы земледелия – биологические системы земледелия (технологии) без использования химических удобрений и пестицидов, т. е. производство сельскохозяйственных продуктов, полностью исключающее применение агрохимикатов.

Амплитуда экологическая – пределы приспособляемости вида или биотического сообщества к меняющимся условиям среды.

Антропогенная деградация почв – необратимые изменения свойств почв, вызванные физическими, химическими или биотическими антропогенными воздействиями, которые превышают природную устойчивость почв и приводят к невозможности выполнения почвами их экологических функций.

Антропогенные факторы – факторы, обусловленные хозяйственной деятельностью человека и влияющие на природную среду.

Бактериальные препараты – препараты бактерий, которые вносятся в почву для повышения ее плодородия.

Баланс элементов питания в почве – разность между поступлением и расходом элементов питания в почве.

Бесподстилочный навоз – навоз без подстилки с добавкой воды или без нее.

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.

Биоиндикаторы – организмы, присутствие, количество или особенности развития, поведения, самочувствия которых служат показателями естественных процессов, условий или изменений среды обитания.

Биокомпост – компост, полученный в результате переработки органических отходов ускоренным методом в специальных камерах – ферментерах.

Биоконверсия – переработка сырья, почвогрунтов и отходов различных производств с помощью биологических методов для дальнейшего использования в сельском хозяйстве.

Биологизация земледелия – система взаимосвязанных мероприятий, направленных на устойчивое развитие продуктивного агробиоценоза при сохранении целостности окружающей среды.

Биологическая активность почв – интенсивность микробиологических процессов, протекающих в почве.

Биологический азот – азот, поступающий в почву и растения в результате фиксации атмосферного азота микроорганизмами.

Биологический круговорот – циркуляция химических элементов в экологической системе в результате синтеза и распада органических веществ.

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.

Бонитет прорастания семян – произведение числа проросших семян на сухую массу 10 дневных проростков.

Вермикомпост (биогумус) – компост, полученный в результате переработки органических отходов дождевыми червями.

Вермиккультура – компостные черви в органическом субстрате.

Вещество биогенное – 1) химическое соединение, возникшее в результате жизнедеятельности организмов (но не обязательно входящее в состав их тел); 2) вещество, создаваемое

и перерабатываемое жизнью (по В.И. Вернадскому); 3) химический элемент или соединение, необходимое для поддержания жизни.

Вещество живое – совокупность тел живых организмов, населяющих Землю, вне зависимости от их систематической принадлежности. Общая масса живого вещества оценивается величиной $(2,4-3,6) \cdot 10^{12}$ т.

Воспроизводство плодородия почв – сохранение и повышение плодородия почв посредством систематического проведения агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных, противоэрозионных и иных мероприятий.

Вынос элементов питания из почвы – количество элементов питания, отчуждаемое из почвы урожаем основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур с единицы площади.

Выносимость – способность живых организмов переносить неблагоприятные воздействия окружающей их среды. Высокая выносимость является предпосылкой выживания видов, низкая в условиях постоянного (в том числе антропогенного) изменения среды ведет к сокращению и исчезновению вида (см. *вымирание*).

Географическая сеть опытов с удобрениями – сеть полевых опытов с удобрениями, проводимых в различных географических зонах страны по согласованной программе.

Гидротермический коэффициент (ГТК) – сумма осадков за период с температурой воздуха выше +5°C деленная на сумму суточных температур за этот же период уменьшенную в 10 раз. Введен Г.Т. Селяниновым (1937). Характеризует условия увлажнения; в отличие от сумм осадков, учитывает и испаряемость, связанную с температурой. При ГТК >1 количество выпавших осадков преобладает над испарением (нормальное и избыточное увлажнение), ГТК <1 – испарение превышает количество выпавших осадков (увлажнение недостаточное).

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.

Гомеостаз – состояние внутреннего динамического равновесия природной системы, поддерживаемое регулярным возобновлением основных ее структур, вещественно-энергетического состава и постоянной функциональной саморегуляцией во всех ее звеньях.

Гуано – помёт морских птиц.

Гумификация – 1) сложный биохимический процесс разложения органических остатков и одновременного синтеза высокомолекулярных гумусовых веществ (гуминовые кислоты, фульвокислоты и негидролиземый остаток); 2) превращение растительных и животных остатков и микроорганизмов, а также продуктов их жизнедеятельности в почве в гумусовые вещества.

Гумус – 1) совокупность всех органических соединений, находящихся в почве, но не входящих в состав живых организмов или образований, сохраняющих анатомическое строение; 2) часть органического вещества почвы, образующаяся при гумификации остатков биоценоза.

Девегетация почв – потеря почвами лесного, кустарникового, травянистого растительного покрова, ведущая к постепенному омертвлению почв, снижению биопродуктивности и утрате экологических функций.

Деградация почв – постепенное ухудшение свойств и плодородия почвы в результате воздействия природных или антропогенных факторов и сопровождающееся уменьшением содержания гумуса, разрушением почвенной структуры и снижением плодородия.

Деградированные почвы – почвы, в которых негативные процессы природного или антропогенного характера привели к снижению продуктивности растительной продукции или ее качества.

Дегумификация почв – потери почвами гумуса.

Десикант – химическое вещество для предуборочного высушивания растений.

Детрит – разложившиеся, гумифицированные органические остатки, практически утратившие исходное строение, но не превратившиеся полностью в гуминовые вещества.

Дефекат – отход свеклосахарного производства, образующийся при осветлении свекловичного сока.

Дефолиант – химическое вещество для предуборочного удаления листьев растений.

Доза предельно допустимая (ПДД) – максимальное количество поллютанта, которое при контакте за определенный промежуток времени не оказывает отрицательного влияния на организм или экосистему.

Емкость среды – способность природного или природно-антропогенного окружения обеспечивать нормальную жизнедеятельность (дыхание, питание, размножение, отдых и т. д.) определенному числу организмов или их сообществ без заметного нарушения самого окружения.

Естественное загрязнение – загрязнение среды, источником которого являются какие-либо природные процессы и явления, напрямую не обусловленные деятельностью человека (например, извержения вулканов, *пыльные бури*, наводнения, стихийные пожары и т. п.).

Живое вещество – совокупность живых организмов, их биомассы в биосфере (В.И. Вернадский). Имеет специфический химический состав (преобладают водород, углерод, азот, кальций, кислород, натрий, магний, алюминий, кремний, сера, хлор, фосфор) и огромную массу ($18; 10^{11}$ т).

Загрязнение – нежелательное изменение физических, химических или биологических свойств воздуха, почвы и воды, которое может сейчас или в будущем оказывать неблагоприятное воздействие на природу, производственные процессы, условия жизни человека, истощать или портить его сырьевые ресурсы.

Закисление почв – загрязнение почв кислотными осадками, вызывающее повышение кислотности почв.

Засоление почв – 1) процесс накопления в почвах аридных и полуаридных областей легкорастворимых солей; 2) превышение (более 0,25 %) содержания в почве легкорастворимых солей (карбонат натрия, хлориды и сульфаты), обусловленное или засоленностью почвообразующих пород (остаточное засоление), или чаще неправильным орошением, или внесением солей вместе с грунтовыми или поверхностными водами.

Землевание – внесение плодородного слоя почвы и потенциально плодородных пород земли на малопродуктивные сельскохозяйственные угодья с целью их улучшения.

Изменение биосферы человеком – неизбежное изъятие человечеством вещества и изменение физических и химических характеристик *биосферы* в ходе собственного развития.

Иммунитет – невосприимчивость организмов к заболеваниям.

Ингибитор нитрификации – химические соединения, задерживающие или подавляющие процессы нитрификации или денитрификации в почве.

Истощение почвы – обеднение почвы питательными веществами в результате длительного выращивания сельскохозяйственных культур без внесения удобрений.

Каньга – удобрение на основе содержимого пищеварительного тракта убойных животных.

Катена – 1) закономерная последовательность расположения на склонах или вокруг водоемов элементарных природных комплексов (элементарных ландшафтов, фаций, биогеоценозов); 2) в географии почв – закономерная последовательность размещения типов почв на склонах.

Кизяк – прессованный сухой навоз.

Кислотные дожди (кислые), кислые осадки – осадки в виде дождя или снега, подкисленные (рН ниже 5,6) из-за растворения в атмосферной влаге промышленных выбросов. Кислотные осадки подкисляют водоемы и почву, что приводит к гибели рыбы и других водных организмов и резкому снижению прироста лесов и их усыханию.

Кларк – среднее содержание химического элемента в геохимической или космохимической среде.

Климат – завершающая стадия *сукцессии* для данных условий окружающей среды.

Комменсализм – сожительство организмов разных видов, при котором один из партнеров пользуется остатками пищи или продуктами метаболизма другого.

Консументы – организмы, потребляющие готовые органические вещества, но не доводящие разложение этих веществ до простых минеральных составляющих (ср. редуценты). Совокупность консументов образует трофические цепи (уровни), в которых выделяют консументы первого порядка (растительноядные) и консументы второго, третьего и последующих порядков (хищники).

Круговорот веществ – 1) повторяющиеся процессы превращения и перемещения веществ в природе, имеющие циклический характер; 2) многократное участие веществ в процессах, протекающих в *атмосфере, гидросфере и литосфере*, в том числе в тех слоях, которые входят в *биосферу* планеты.

Ландшафт элементарный – участок, сложенный одной породой, находящийся на одном элементе рельефа, в равных условиях залегания грунтовых вод, характеризующийся определенным растительным сообществом и одним типом почв.

Лимитирующий показатель вредности вещества – признак, характеризующийся наименьшей безвредной концентрацией вещества в той или иной среде.

Макро- и микроэлементозы – заболевания животных, обусловленные недостаточным или избыточным поступлением в организм макро- и микроэлементов.

Мезоэлемент – химический элемент, содержащийся в растительных тканях в количестве 0,01–0,1 % сухой массы.

Метаболизм (обмен веществ) – совокупность процессов биохимического превращения веществ и энергии в живых организмах.

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.

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 и прогноза изменения в будущем.

Мониторинг региональный – слежение за процессами и явлениями в пределах какого-либо региона, где процессы и явления могут отличаться и природным характером, и антропогенным воздействием от базового фона, характерного для всей биосферы.

Нарушенные земли – участки, на которых в результате хозяйственной деятельности человека уничтожена растительность, разрушен почвенный покров, изменены гидрологический режим и рельеф местности.

Неживая природа – косные компоненты экосистемы.

Ноу-хау – технические секреты, знания, опыт, необходимые для решения какой-либо задачи, налаживания производства.

Окружающая среда – 1) среда обитания и производственной деятельности человека; 2) природное тело и явления, с которыми живое вещество связано прямо или косвенно; 3) совокупность в данный период физических, химических, биологических характеристик, а также социальных факторов, способных оказывать прямое или косвенное, немедленное или отдаленное воздействие на биоту и человека.

Окультуривание почв – совокупность мероприятий, направленных на улучшение агрофизических, химических, физико-химических и биологических свойств почв.

Охрана природы – 1) общее обозначение системы мероприятий, обеспечивающих возможность сохранения природой ресурса- и средовоспроизводящих функций, разнообразия, а также сохранение невозобновляемых ресурсов; 2) совокупность международных, государственных, региональных, административно-хозяйственных, политических и общественных мероприятий, направленных на региональное использование, воспроизводство и сохранение природных ресурсов Земли и ближайшего к ней космического пространства в интересах существующих и будущих поколений людей. 3) комплексная дисциплина, разрабатывающая общие принципы и методы сохранения и восстановления природных ресурсов. Включает в качестве главных разделов охрану земель (почв), вод, атмосферы и живой природы.

Пал – выжигание растительности для улучшения пастбищного травостоя или преобразование участка леса в сельхозугодье.

Плодородие – способность почвы обеспечивать растения факторами жизни: водой, элементами питания, воздухом.

Поддержание экологического равновесия – 1) территориальное – сохранение природных экосистем на части территории с таким расчетом, чтобы эти специально выделенные участки поддерживали ранее существовавший или желаемый баланс между средообразующими компонентами территорий; 2) компонентное – искусственное добавление какого-либо из средообразующих компонентов при его нехватке против естественно существовавшего количества (например, путем лесопосадок, переброски вод и т. п.); 3) социально-экономическое – развитие природопользования в соответствии с ресурсными возможностями региона и мира в целом без их переэксплуатации, ведущей к деградации природы.

Поллютант (загрязнитель) – 1) любое вещество, находящееся в окружающей среде в количествах, достаточных для того, чтобы вызвать нежелательные или опасные для биоты последствия; 2) химические соединения, повышенное содержание которых в биосфере и ее компонентах вызывает негативную токсико-экологическую ситуацию.

Последствие удобрения – действие удобрения, внесенного под предшествующие культуры, на второй и в последующие годы.

Почвенный глобальный мониторинг – система наблюдений за состоянием почв фоновых территорий с целью оценки подверженности их загрязнению вследствие дальнего переноса химических веществ.

Почвенный локальный мониторинг – система наблюдений за состоянием почв, подверженных локальному антропогенному воздействию в границах территорий отдельных землевладений и землепользований.

Почвоугнетение – непригодность почвы для возделывания культур определенного рода или снижение урожайности при монокультуре.

Предельная допустимая концентрация (ПДК) – предельно допустимые концентрации химических элементов в воде, воздухе, почве и т. д., не оказывающие вредного воздействия на человека, животных, растения.

Природная среда – совокупность объектов и условий природы, в которых протекает деятельность какого-либо субъекта.

Природный фон (естественный фон) – отдельные физические, химические и другие показатели или их совокупность, характеризующие неизменную природную среду и природные условия данной местности, отражающие уровень относительно постоянного (в пределах естественных многолетних отклонений) влияния того или иного природного фактора и позво-

ляющие давать количественную и качественную оценку эффектам взаимодействия человека и окружающей среды (или отдельных ее элементов).

Продуктивность – фито- или биомасса, продуцируемая организмами в расчете на единицу площади.

Продуценты – организмы, синтезирующие сложные органические соединения из простых неорганических.

Равновесие экологическое – баланс естественных или измененных человеком средообразующих компонентов и природных процессов, приводящий к длительному (условно бесконечному) существованию данной *экосистемы*. Различают компонентное равновесие экологическое, основанное на балансе экологических компонентов внутри одной экосистемы, и территориальное, возникающее при некотором соотношении интенсивно (агроценозы, урбо-комплексы и т. п.) и экстенсивно (выпасы, естественные леса и т. п.) эксплуатируемых или неэксплуатируемых (заповедники) участков и обеспечивающее отсутствие сдвигов в экологическом балансе крупных территорий в целом.

Размах вариации – показатель, представляющий собой разность между максимальной и минимальной вариантами совокупности.

Редуценты – организмы, разлагающие сложные органические вещества на простые органические соединения.

Ресурсосберегающие технологии – совокупность последовательных технологических операций, обеспечивающих производство продукта с минимально возможным потреблением топлива и других источников энергии (энергосберегающие технологии), а также сырья, материалов, воды, воздуха и других ресурсов для технологических целей.

Санация – комплекс мероприятий по очистке от загрязнений территории или изменению территории при создании очистных сооружений на «грязных» предприятиях, которые превышают предельно допустимые выбросы.

Сукцессия – последовательная смена одних биогеоценозов другими.

Талассофильность – отношение элемента в океане к кларку земной коры.

Техногенез – совокупность химических и технологических процессов, производимых деятельностью человечества и приводящих к перераспределению химических масс земной коры.

Технофильность – отношение ежегодной добычи элемента к его кларку в земной коре.

Толерантность (от лат. – терпение) – способность живых организмов противостоять действию неблагоприятных внешних факторов среды.

Трофический уровень – совокупность организмов, занимающих определенное положение в общей цепи питания. Автотрофные организмы (преимущественно зеленые растения) занимают первый трофический уровень (*продуценты*), далее следуют гетеротрофы; на втором уровне – травоядные животные (консументы 1-го порядка); на третьем – хищники, питающиеся травоядными животными; (консументы 2-го порядка); на четвертом – вторичные хищники (консументы 3-го порядка). Сапротрофные организмы (редуценты) могут занимать все уровни, начиная со второго. Организмы различных трофических цепей, получающие пищу через равное число звеньев в трофической цепи, находятся на одном трофическом уровне.

Тяжелые элементы – 1) химические элементы с плотностью $\geq 5 \text{ г/см}^3$; 2) химические элементы с массой > 40 атомных единиц. Встречаемое в технической литературе собирательное название «тяжелые металлы» неприемлемо в агрохимии.

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;

Улучшение (восстановление) окружающей среды – переход окружающей среды на более высокий энергетический уровень, повышение качества этой среды в результате эволюционного развития или деятельности человека.

Ультрамикрэлемент неэссенциальный – ультрамикрэлемент, который может стимулировать рост и развитие растений, но в полной мере не соответствует требованиям, предъявляемым к необходимым и незаменимым элементами питания.

Ультрамикрэлемент эссенциальный – жизненно необходимый ультрамикрэлемент.

Уровень загрязнения – абсолютная и относительная величина содержания в окружающей среде загрязняющих веществ.

Урожай – продукция, полученная в результате выращивания культуры.

Урожайность – количество продукции, полученной с единицы площади.

Фактор антропогенный – фактор, обязанный своим происхождением деятельности человека (планируемой и случайной, постоянной и прошлой).

Фактор экологический – любое условие окружающей природной среды, на которое живые организмы реагируют приспособленными реакциями (за пределами приспособительных способностей лежат летальные факторы). Такие факторы принято делить на абиотические, биотические и антропогенные.

Фундаментальная агрохимия – раздел агрохимии, являющийся научной основой (фундаментом) науки; рассматривает теорию минерального питания и химический состав растений в связи с применением агрохимических средств, химические и физико-химические свойства почвы и ее биологическую активность с точки зрения питания растений и взаимодействия с удобрениями, экологически безопасные методы регулирования метаболизма у растений внесением удобрений для повышения количества и качества урожая.

Цвение почв – массовое развитие водорослей и ряда других микроорганизмов в верхнем слое почв, вызывающее изменение его естественной окраски, что свидетельствует о нарушении водного режима почв, изменении их биологических свойств, часто о химическом загрязнении.

Целина – земли (преимущественно в степной зоне), пригодные для сельскохозяйственного освоения, но по разным причинам не окультуренные, сохранившие естественную растительность и почвенный профиль.

Цеолиты (от греч. – кипящий и камень) – группа минералов, водных алюмосиликатов (натрия, кальция, реже – калия и бария), которые при нагревании вспучиваются.

Экологизация – усиление экологической ориентации различных отраслей науки и хозяйственной деятельности человека, направленное на сохранение природы и эффективное использование ее ресурсов.

Экологическая агрохимия – 1) раздел агрохимии, изучающий воздействие агрохимических средств на биосферу; 2) наука о расширенном, постоянно увеличивающемся круговороте веществ в агроценозах, изучающая на элементарном, молекулярном, клеточном, организменном, популяционном и биосферном уровнях химические взаимодействия растений с почвой и окружающей средой в целом.

Экологическая пирамида (пирамида биомассы) – соотношение между продуцентами, консументами (первого и второго порядков) и редуцентами в экосистеме, выраженное их массой (числом – пирамида чисел Элтона, заключенной энергией – пирамида энергий) и изображенное в виде графической модели. В наземных экосистемах масса продуцентов (на единицу площади и абсолютно) больше, чем масса консументов; консументов первого порядка больше, чем консументов второго порядка, и т. д., поэтому графическая модель имеет вид пирамиды. В некоторых водных экосистемах, отличающихся исключительно высокой биологической продуктивностью продуцентов, пирамида может быть обращена вниз, т. е. биомасса продуцентов в них меньше, чем консументов, а иногда и редуцентов. Однако суммарная продуктивность каждого звена экологической пирамиды сохраняет классический вид.

Экологический фактор – 1) любые условия окружающей природной среды, прямо или косвенно воздействующие на живые организмы; подразделяются на абиотические, биотические и антропогенные; 2) элемент (компонент), процесс (явление) внешней среды, оказывающий влияние на биологическую систему, в качестве которой может выступать отдельный организм, группа особей, популяция или биоценоз.

Экология (от греч. – дом, жилище и наука) – 1) наука, изучающая условия существования живых организмов и взаимосвязи между организмами и окружающей средой; 2) наука о взаимоотношениях живых организмов, условий среды их обитания и всех функциональных процессов, делающих среду пригодной для жизни. Этот термин был предложен немецким биологом Э. Геккелем в 1869 г.

Экотоксикологический мониторинг – система наблюдения и контроля за содержанием разнообразных поллютантов с целью оценки и прогноза состояния компонентов биосферы.

Экспериментальная агрохимия – раздел агрохимии, базирующийся на научных знаниях, полученных в результате проведения агрохимических экспериментов или моделирования процессов происходящих в системе почва–удобрение–растение.

Экстра-азот – минерализованный (мобилизованный) или дополнительно усвоенный растениями азот почвы под влиянием азотных удобрений.

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.

Эрозия – разрушение горных пород, почвы или любых других образований с изменением свойств и целостности их поверхностей, обычно сопровождающееся переносом частиц с одного места на другое.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| 1. ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ | 13 |
| 1.1 Окружающая среда, как система | 13 |
| 1.2 Экологические факторы | 14 |
| 1.3 Предмет, задачи, структура и методы экологии | 18 |
| 2. ПРИРОДНАЯ СРЕДА И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ | 25 |
| 2.1 Атмосфера | 25 |
| 2.2 Гидросфера | 31 |
| 2.3 Педосфера | 45 |
| 3. КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ В ПРИРОДЕ | 74 |
| 3.1. Геологический круговорот | 75 |
| 3.2. Биологический круговорот | 77 |
| 3.2.1 Биогехимический цикл азота | 81 |
| 3.2.2 Биогехимический цикл серы | 86 |
| 3.2.3 Биогехимический цикл фосфора | 89 |
| 3.2.4 Биогехимический цикл калия, мезо- и микроэлементов | 92 |
| 4. БИОСФЕРА – ГЛОБАЛЬНАЯ ЭКОСИСТЕМА ЗЕМЛИ | 94 |
| 4.1 Биосфера – «область жизни» | 94 |
| 4.1.1 Живое вещество и энергетика биосферы | 94 |
| 4.1.2 Компоненты биосферы | 95 |
| 4.1.3 В.И. Вернадский – основоположник учения о биосфере | 96 |
| 4.1.4 Биосфера и техногенез | 98 |
| 4.2 Биосфера и экологические функции агрохимии | 112 |
| 5. БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ АГРОБИОХИМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ | 145 |
| 5.1 Агробихимическая классификация химических элементов | 145 |
| 5.2 Биогенные элементы | 147 |
| 5.2.1 Органогенные макроэлементы | 147 |
| 5.2.2 Зольные макроэлементы | 155 |
| 5.2.3 Мезоэлементы | 161 |
| 5.2.4 Микроэлементы | 167 |
| 5.2.5 Эссенциальные ультрамикроэлементы | 176 |
| 5.2.6 Неэссенциальные ультрамикроэлементы | 179 |
| 6 АГРОХИМИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И РЕГЛАМЕНТЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ | 184 |
| 6.1. Минеральные удобрения | 186 |
| 6.1.1. Азотные удобрения | 188 |
| 6.1.2. Фосфорные удобрения | 198 |
| 6.1.3. Калийные удобрения | 204 |
| 6.1.4. Комплексные минеральные удобрения | 209 |
| 6.1.5. Микроудобрения | 212 |
| 6.2. Органические удобрения | 215 |
| 6.2.1. Навоз | 215 |
| 6.2.2. Торф | 219 |
| 6.2.3. Птичий помёт | 221 |
| 6.2.4. Солома | 222 |
| 6.2.5. Сапропель | 225 |
| 6.2.6. Зелёные удобрения | 226 |
| 6.2.7. Компосты | 227 |
| 6.3. Химические мелиоранты | 230 |
| 6.3.1. Известковые материалы | 230 |
| 6.3.2. Гипсосодержащие материалы | 237 |
| 6.4. Регламенты применения агрохимических средств | 239 |
| 6.4.1. Производственный контроль за применением удобрений | 239 |

| | |
|---|------------|
| 6.4.2. Регламенты применения твердых непылящих минеральных удобрений и химических мелиорантов | 240 |
| 6.4.3. Регламенты применения пылевидных минеральных удобрений и химических мелиорантов | 244 |
| 6.4.4. Регламенты применения водного аммиака (аммиачной воды) | 244 |
| 6.4.5. Регламенты применения жидкого (безводного) аммиака | 245 |
| 6.4.6. Регламенты применения жидких минеральных удобрений | 247 |
| 6.4.7. Регламенты применения минеральных удобрений и химических мелиорантов с поливной водой | 248 |
| 6.4.8. Контроль за соблюдением регламентов применения твердых органических удобрений | 250 |
| 6.4.9. Регламенты применения бесподстилочного навоза | 254 |
| 6.4.10. Технология работ по известкованию кислых почв и гипсованию солонцов | 256 |
| 6.4.10.1. Агротехнические требования к качеству механизированных работ по известкованию | 256 |
| 6.4.10.2. Агротехнические требования к качеству механизированных работ по гипсованию солонцов | 257 |
| 7. ФИЗИОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УДОБРЕНИЙ | 263 |
| 7.1. Цеолиты, бактериальные препараты и регуляторы роста растений | 263 |
| 7.1.1. Цеолиты | 263 |
| 7.1.2. Бактериальные препараты | 268 |
| 7.1.3. Регуляторы роста растений и поликомпонентные удобрения | 275 |
| 7.1.4. Гуматы | 330 |
| 7.1.5. Почвенные грунты и сорбенты | 335 |
| 7.2. Дефолиация, десикация и сеникация | 339 |
| 7.2.1. Дефолиация | 339 |
| 7.2.2. Десикация | 343 |
| 7.2.3. Сеникация | 350 |
| 7.3. Ингибиторы нитрификации | 354 |
| 8. АГРОХИМИЯ В АГРОЦЕНОЗЕ | 363 |
| 8.1. Мониторинг: цель, задачи, объекты | 363 |
| 8.2. Агроэкологический мониторинг | 366 |
| 8.3. Почвенно-экологический мониторинг | 369 |
| 8.4. Эколого-агрохимический мониторинг | 372 |
| 8.4.1. Физико-химические свойства почвы | 382 |
| 8.4.2. Гумусное состояние почвы | 385 |
| 8.4.3. Содержание биогенных элементов и трансформация их соединений в почве | 391 |
| 8.4.3.1. Макроэлементы | 391 |
| 8.4.3.2. Мезоэлементы | 406 |
| 8.4.3.3. Микроэлементы | 420 |
| 8.4.3.4. Ультрамикроэлементы | 435 |
| 8.4.4. Микрофлора и биологическая активность почвы | 456 |
| 8.4.4.1. Микрофлора | 456 |
| 8.4.4.2. Ферментативная активность | 460 |
| 8.4.4.3. Интенсивность «дыхания», аммонифицирующая и нитрифицирующая способность | 464 |
| 8.4.4.4. Амило-, протео- и целлюлозолитическая активность | 466 |
| 8.4.5. Продуктивность агроценоза и эколого-агрохимическая эффективность удобрений | 468 |
| 8.4.5.1. Продуктивность агроценоза | 468 |
| 8.4.5.2. Окупаемость удобрений | 469 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 8.4.5.3 | Баланс биогенных элементов в системе удобрения-почва-урожай..... | 470 |
| 9. | УДОБРЕНИЯ И БИОСФЕРА..... | 480 |
| 9.1. | Последствия нарушения регламента применения агрохимических средств ... | 484 |
| 9.1.1. | Минеральные удобрения..... | 484 |
| 9.1.2. | Органические удобрения | 519 |
| 9.1.3. | Химические мелиоранты | 532 |
| 9.2. | Пути минимизации негативного воздействия агрохимических средств на биосферу | 534 |
| 9.2.1. | Минеральные и органические удобрения | 534 |
| 9.2.2. | Агрохимические контрмеры в радиологических ситуациях | 541 |
| 10 | АГРОХИМИЧЕСКИЙ СЕРВИС – ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АГРОХИМИИ | 549 |
| 10.1 | Структура и функции агрохимической службы | 551 |
| 10.2 | Особенности агрохимического обеспечения в системах точного земледелия | 553 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 562 |
| | ГЛОССАРИЙ | 565 |

**Асхад Хазретович Шеуджен
Наталья Ивановна Аканова
Татьяна Николаевна Бондарева**

**АГРОХИМИЯ
Часть 6.
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АГРОХИМИЯ**

Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение»

Подписано в печать __. __. 2018 г. Бумага офсетная. Формат бумаги 60×90 ¹/₁₆.
Способ печати офсетный. Усл. печ. л. 54,3. Заказ №----- . Тираж 1000.
Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО «Полиграф–Юг».
г. Майкоп, ул. Пионерская, 268, т. 52-23-92