

**В. А. ПОПОВ
Н. В. ОСТРОВСКИЙ**

**МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ
МЕЛИОРАТИВНЫХ
ОПЫТОВ
В РИСОВОДСТВЕ**



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ФГБОУ ВПО «КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В.А. Попов
Н.В. Островский

МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОПЫТОВ
В РИСОВОДСТВЕ

Монография

Краснодар
2012

УДК 631.6:001.891.55]:633.18

ББК 40.6

П 58

Рецензенты:

А.Ч. Уджуху, доктор сельскохозяйственных наук

(ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт риса);

Т.И.Сафронова, доктор технических наук, профессор

(Кубанский государственный аграрный университет)

П 58 **В.А. Попов**

Методика полевых мелиоративных опытов в рисоводстве:
монография / В.А.Попов, Н.В.Островский. – Краснодар, 2012. – 57 с.
ISBN 978-5-94672-563-7

Реализован уникальный подход к выполнению полевых мелиоративных опытов в рисоводстве, основанный на глубоком изучении законов экологии, земледелия и рационального природопользования и практическом знании вопроса. Представленные методы полевых опытов содержат авторские организационно-методические и инструментальные разработки, обеспечивают максимальную информационную насыщенность результатов диагностики, что необходимо для прогнозирования мелиоративного состояния почв и урожайности риса.

Монография рассчитана на широкий круг читателей: бакалавров, магистров (по направлению подготовки 280100.62 «природообустройство и водопользование»), аспирантов, научных сотрудников, а также будет полезна ученым-агрономам и фермерам, занимающимся возделыванием риса.

УДК 631.6:001.891.55]:633.18

ББК 40.6

© Попов В.А., Островский Н.В., 2012

© ФГБОУ ВПО «Кубанский
государственный аграрный
университет», 2011

ISBN 978-5-94672-563-7

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ МЕЛИОРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	6
2 ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ЭКОЛОГИИ, ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ	8
2.1 Закон незаменимости и равнозначности факторов жизни и неравнозначности факторов среды	8
2.2 Закон лимитирующего фактора Ю.Либиха.....	9
2.3 Закон продуктивности (урожайности) риса	12
2.4 Четвертый Закон экологии Б. Коммонера «Ничто не дается даром»	16
3 ГИПСОМЕТРИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РИСОВОГО ПОЛЯ КАК ОБЪЕКТА АГРОМЕЛИОРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	18
4 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И ВОДНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ.....	22
4.1 Полная влагоемкость	22
4.2 Наименьшая влагоемкость	23
4.3 Общая и активная порозность (пористость) почвы	24
4.4 Приборы для изучения фильтрации и режима грунтовых вод.....	27
4.5 Коэффициент фильтрации	32
4.6 Основная гидрофизическая (энергетическая) характеристика почвы (ОГХ).....	33
5 МЕТОДИКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	37
5.1 Гидромодуль первоначального затопления рисового чека.....	37

5.2. Режим почвенно-грунтовых и грунтовых вод	40
5.2.1 Верховодка.....	40
5.2.2 Режим грунтовых вод в межполивной период. Методика построения изогалин.....	43
5.2.3 Гидрохимический режим почвенно-грунтовых вод в корнеобитаемом слое почвы в период затопления.....	44
5.3 Естественная скорость сработки слоя воды	48
5.4 Водные режимы рисовых чеков	50
6 МЕТОДИКА ПРИВЕДЕНИЯ ОДНОГОДИЧНОЙ УРОЖАЙНОСТИ К ЕЕ ВИРТУАЛЬНЫМ МНОГОЛЕТНИМ ЗНАЧЕНИЯМ	52
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	56

ВВЕДЕНИЕ

Мелиорация почв имеет долговременный экономический эффект и придает почвам те ценные свойства, которыми они не обладали. Почвы рисовых систем изначально были подвергнуты комплексу гидротехнических мелиораций. Значительная часть рисовых систем России расположена в приморских низменностях на заболоченных землях (плавнях). Осушение этих территорий и строительство специализированных ирригационных систем позволило возделывать собственный российский рис. Специфика функционирования и эксплуатации рисовых систем требует контроля и поддержания мелиоративного состояния почв. Почвы эксплуатируются в сверхсложных условиях: это продолжительное затопление, влияние минерализованных грунтовых вод, сложные условия обработки и др. К тому же сами рисовые системы эволюционируют и требуют реконструкции.

Мелиоративный фактор лежит в основе стабильных высоких урожаев риса, которых ждет сегодня от производителя население России. Поэтому оценка мелиоративного состояния почв должна выполняться с глубоким научным подходом к проблеме.

Предлагаемый читателю научный подход к организации мелиоративного опыта основан с одной стороны на знании и применении основных законов экологии и рационального природопользования, а с другой стороны на знании особенностей рисовых оросительных систем и обобщении многолетнего практического опыта в области мелиоративных исследований. Традиционные методики мелиоративного опыта представлены в авторской интерпретации с применением запатентованных разработок.

Авторы благодарят рецензентов Т.И. Сафронову, доктора технических наук и А.Ч. Уджуху, доктора сельскохозяйственных наук за ценные замечания по тексту работы.

1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ МЕЛИОРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью мелиоративных исследований, проводимых на действующих рисовых системах с известными конструкциями поливных карт и параметрами орошения и дренажа, является разработка водных режимов рисовых чеков, обеспечивающих хорошее и стабильное мелиоративное состояние почв, экономное и рациональное использование оросительной воды и водных ресурсов, что вместе взятое определяет рентабельность производства риса – главной культуры специализированных рисовых севооборотов. Для достижения поставленной цели необходимо в динамике изменяющихся условий:

- установить оптимальную величину водопотребления риса в целом и по фазам развития;
- установить экологические требования риса к гидрохимическому режиму почвенно-грунтовых вод по фазам вегетации;
- установить связь между слоем воды и температурой почвы в периоды открытой и закрытой водной поверхности, рассматривая чек как зарастающий водоем, с выводом функционально-эмпирических уравнений;
- разработать методы, повышающие содержание в почве на глубине от 1 до 2 см кислорода O_2 ;
- установить оптимальную величину активной порозности почв, при которой поглощение корнями питательных растворов усиливается, и разработать методы ее достижения;
- установить параметры прерывистого затопления, при которых создаются благоприятные условия для поглощающих свойств корней риса в увлажненной почве и существенной экономии водных ресурсов;
- разработать информационные программы для оптимизации первоначального затопления посевов и их предуборочного осушения;

- установить оптимальное соотношение SiO_2/N в почвенно-грунтовых водах, создающее условия для устойчивости риса к полеганию и пирикуляриозу.

Генетический потенциал риса в рамках теплоэнергетических ресурсов климата юга РФ оценен в 8-10 т/га. Реализация этого потенциала связана с решением следующих проблемных задач:

1) модернизация регулирующей сети рисовых систем с целью повышения оперативности управления геобиоценозом посредством режима орошения;

2) создание геоинформационных систем управления экосистемой «посевы риса - окружающая среда»;

3) создание приборов для дистанционного зондирования условий внешней среды с оперативным получением данных о динамике развития риса. Перечисленные задачи являются основой перехода с директивного на «точное земледелие» (precision farming).

2 ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ЭКОЛОГИИ, ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Ниже излагаются законы, которые исследователь должен учитывать при планировании и проведении экспериментов.

2.1 Закон незаменимости и равнозначности факторов жизни и неравнозначности факторов среды

Закон играет важную роль в планировании эксперимента и проведении агрометеорологических и почвенно-мелиоративных исследований, в результате которых устанавливаются лимитирующие факторы и приоритетные направления исследований [1, 3].

К факторам жизни растений относятся следующие компоненты окружающей среды: ФАР, тепло, дефицит влажности воздуха (энергетические компоненты), вода, воздух и минеральные элементы (материальные компоненты). Они участвуют в продукционном процессе растений (ППР), формируя биомассу (урожай). При отсутствии в среде любого из них жизнедеятельность растений не осуществима.

К факторам среды относятся: почва (ее энергетическое и агрегатное состояние, дисперсность, механический и солевой состав, содержание гумуса), сорная растительность, слой воды, грунтовые воды, густота растений риса, органические удобрения и др. В отличие от факторов жизни они непосредственно в ППР не участвуют, однако отдельные из них могут оказать влияние на количество и доступность растениям факторов жизни. Например: рыхлое состояние тяжелосуглинистой почвы, образующееся благодаря ее обработке и внесению структурообразователей, снижает водоудерживаемость, повышая тем самым доступность почвенной влаги;

сорная растительность, отнимая у риса часть ФАР и минеральных удобрений и повышая влажность воздуха в травостое, снижает их обеспеченность и транспирацию.

Из физической сущности закона вытекают следующие следствия и рекомендации:

а) нет смысла ставить эксперименты по установлению доли вклада в урожай факторов жизни, так как они равнозначны;

б) агроприемы, не оказывающие существенного влияния на количество или доступность факторов жизни, являются балластными, ненужными.

2.2 Закон лимитирующего фактора Ю.Либиха

Закон лимитирующего фактора Ю.Либиха [1,2] гласит «Величина урожая определяется фактором (жизни), находящимся в минимуме. Наибольший урожай осуществим при оптимальном наличии фактора. При минимальном и максимальном наличии фактора урожай не осуществим». К сожалению, Ю.Либих не представил математического толкования своего закона, в связи с чем он имеет чисто познавательное значение. Однако нам удалось найти его математическую модель, представленную уравнением [2]:

$$Y = Y_{opt} e^{-4,5(x-1)^2} \quad 2 \geq x \geq 0, \quad (1)$$

где Y – урожайность при наличии лимитирующего фактора;

Y_{opt} – наивысшая урожайность, достигаемая при оптимуме всех факторов жизни;

x – количество лимитирующего фактора в долях от оптимального.

Графически закон представляет собой дифференциальную кривую Гаусса (рисунок 1), со следующими значениями характерных точек:

$$x=0, \quad y=0,01 \quad y_{\min} \approx 0;$$

$$x=1, \quad y= y_{\max}=1;$$

$$x \geq 2, \quad y=0,01 \approx y_{\min}$$

$$\text{точки перегиба } x_1=0,65; \quad x_2=1,35$$

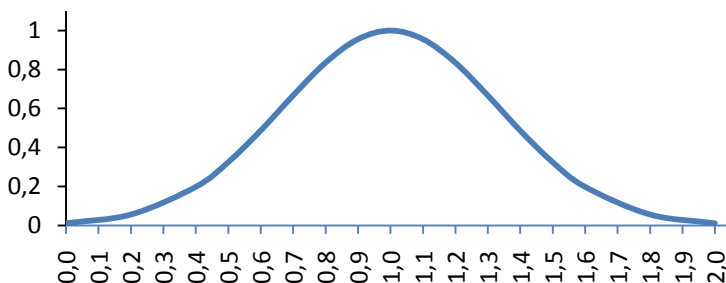


Рисунок 1

Из физической сущности закона вытекают следствия и рекомендации:

а) для сортов аборигенного типа оптимальное количество космических факторов жизни (ФАР, температура, дефицит влажности и состав воздуха) принимают равными их среднегодовым значениям в данной местности, желательно по фазам развития или, в крайнем случае – по декадам;

б) для сортов аллохтонов перечисленные факторы определяют экспериментально;

в) для всех сортов оптимальную дозу NPK определяют по выносу их с урожаем, с небольшим превышением (10-15 %);

г) в связи с тем, что факторы жизни и среды зависимы друг от друга, а методика статистического анализа с установлением доли вклада факторов в урожай для такого случая в теории математической статистики из-за большой сложности пока еще не разработана, закладывать многофакторные опыты не рекомендуется. Однако и однофакторные опыты с фиксацией лишь конечного результата (урожайности) не дают однозначного обоснованного вывода. Приведем пример.

Изучается влияние величины слоя воды на урожайность риса. При тонком слое воды температура почвы, как известно, повышается, что с одной стороны активизирует деятельность корней и клеток в целом, способствуя более интенсивному формированию биомассы, а с другой, с повышением температуры почвы усиливается разложение органики, при котором выделяется в больших количествах аммонийный азот, теряется растворенный в воде кислород, выделяются токсичные соединения (H_2S , метан и др.), что вместе взятое приводит к болезням корней, пирикулярриозу и полеганию. Урожайность снижается, откуда вытекает вывод: тонкий слой воды для риса не желателен, что абсурдно. Однако аргументов для опровержения такой опыт не дает.

Чтобы избежать казусов и сделать обоснованные выводы, необходимо следить не только за развитием и биомассой риса, но и вести в динамике изучение температуры воздуха и почвы, содержание аммонийного азота, кислорода и токсичных соединений. В этом случае результаты наблюдений позволяют установить причинно-следственные связи формирования величины урожайности и сделать обоснованные выводы и рекомендации.

Совсем другая картина наблюдается в технических опытах, где факторы независимы друг от друга. Изучается, к

примеру, влияние уклона дна канала и гидравлической шероховатости русла на его расход (двухфакторный опыт). Здесь факторы независимы друг от друга и использование латинского квадрата Р. Фишера позволит установить достоверно долю вклада каждого из них в величину расхода.

2.3 Закон продуктивности (урожайности) риса

К сожалению, такого закона в современной агробиологической науке не существует. Нами в период с 1999 по 2007 гг. опубликован ряд теоретических и экспериментальных работ, в которых описаны закономерности, претендующие на статус открытий, и благодаря которым стало возможным сформулировать закон продуктивности (урожайности) риса.

Формулы **предполагаемых** открытий (цитируются по работам [3, 12]):

1 Установлено не известное ранее существование нового фактора жизни растений - градиента упругости водяного пара в атмосфере (ГУВПА), являющегося генератором энергии для транспирации – регулятора и координирующего звена продукционного процесса.

Математически ГУВПА, или дефицит влажности воздуха, представляет собой разность между максимальной упругостью водяного пара, соответствующей температуре поверхности воды, и фактической упругостью пара, содержащегося в воздухе (на метеостанциях на высоте 2 м), а физически - воздушный насос, отсасывающий пары воды от травяного покрова, что усиливает транспирацию. Он определяет испаряемость климата в регионе, которая по странам мира колеблется от 830 мм за вегетационный период (Австралия, Египет) до 260 мм (российское Приморье).

Статистический анализ урожаев риса по странам мира [3] позволил установить между испаряемостью и урожайностью риса корреляционную связь, выражаемую уравнением регрессии (2):

$$Y_p = \alpha_1(E_1 - E_0) \text{ т/га}, \quad E_1 \leq 900 \text{ мм}, \quad (2)$$

где E_1 – испаряемость в регионе или стране, мм (под нею понимается количество воды, которое может испаряться с поверхности водоема (озеро, чек) за вегетационный период риса; $E_1 = \alpha_2(l_0 - l)(1 + 0,72w)$, в котором $(l_0 - l)$ – дефицит влажности воздуха, мб; w – скорость ветра, м/с);

α_1 – коэффициент пропорциональности, равный 0,14 мм/мб;

E_0 – порог испаряемости, ниже которого рис не формирует хозяйственно-полезного урожая (в наших опытах $E_0 = 100$ мм);

α_2 – показатель биологической эффективности испаряемости, равный 0,01 т/га мм.

2. Установлено неизвестное ранее свойство высших растений *утилизировать* через посредство транспирации капиллярную энергию сосудов ксилемы для передачи корням сосущей силы (десукция), необходимую для извлечения из почвы воды и растворенных в ней элементов минерального питания в виде анионов, катионов и молекул не растворяющихся в виде химических соединений (напр. SiO_2) и транспорта растворов в надземную часть.

Это открытие, доказывая зависимость транспирации от ГУВПА, подтверждает, с одной стороны правомерность включения последнего в категорию факторов жизни, а с другой, наделяет транспирацию T лимитирующей и координи-

рующей ролью в ППР и, как следствие, в формировании величины урожайности. Это подтверждает наличие корреляционной связи $Y = f(T)$:

$$Y = \alpha_2(T - T_0) \text{ т/га}, T_1 \leq 1000 \text{ мм}, \quad (3)$$

где $\alpha_2 = 0,023$ т/га мм;

$$T_0 = 300 \text{ мм}$$

На основе сущности изложенных открытий сформулирован закон урожайности культуры затопляемого риса: при оптимуме в почве удобрений и отсутствии лимитов на технологические средства производства урожайность риса определяется транспирационной способностью посевов.

Математическое выражение закона представлено уравнением (3), а регуляторные механизмы транспирационной способности посевов риса таблицей 1.

Следствие и рекомендации. Вся агрономическая и мелиоративная часть рисовой системы земледелия преследует одну цель - создать благоприятные условия для транспирации посевов риса. Необходимо стремиться к тому, чтобы задачи для достижения цели были реальными и не отличались высокой ценой при их внедрении.

Таблица 1- Регуляторные механизмы транспирации

Механизмы (агроприемы, методы)	Повышение эффективности транспирации достигается за счет:
1 Промывка засоленных почв	повышения давления паров воды над поверхностью листьев (эффект Рауля)
2 Рыхление корнеобитаемого слоя почвы с внесением структурообразователей	снижения энергии вододерживаемости почвы и, как следствие, повышения количества доступной влаги
3 Высокоточная планировка поверхности чеков	равномерного распределения растений по высоте и площади
4 Глубокое мелиоративное рыхление	активизация окислительных процессов и снижения количества токсичных соединений (сероводород и др.)
5 Уничтожение сорной растительности	повышения турбулентности водяного пара в травостое и улучшения минерального питания растений
6 Дробное внесение удобрений	эффекта Рауля и повышения степени ионизации удобрений
7 Использование сортов эректоидного типа	повышения турбулентности в травостое при более повышенной густоте стеблестоя
8 Посев многолетних трав	повышения порозности почвы и, как следствие, количества доступной влаги

2.4 Четвертый Закон экологии Б. Коммонера «Ничто не дается даром»

Четвертый Закон экологии Б. Коммонера «Ничто не дается даром» [4] согласуется с Законом растущего плодородия (урожайности) [5 с. 167] и с Законом снижения энергетической эффективности природопользования [5 с. 157-159].

Современная технология возделывания риса позволяет передовым хозяйствам Краснодарского края получать устойчивые урожаи в $5,5 \pm 0,5$ т/га. Однако существует мнение, что можно вывести новые сорта, которые смогут довести урожайность до 10 т/га и более, не изменяя при этом технологии, т.е. не внося средств в ее совершенствование. Создается впечатление, что прибавка урожайности в 4,5- 5,0 т/га в этом случае достается как бы даром. Это мнение глубоко ошибочное.

Закон растущей урожайности разъясняет: «При любом ограничении в энергетике рост урожайности в рамках существующих технологий прекращается, и человечество переходит к новым агроприемам, вновь снижающим ограничения и дающим возможности для дальнейшего повышения урожайности. При этом резко увеличивается количество используемой энергии». В США, например, для повышения урожайности кукурузы с 2,2 т/га (1913 г.) до 7 т/га в настоящее время затраты энергии на совершенствование технологии возросли в 12 раз. На Кубани для подъема урожайности риса с 1,9 т/га (1950 г.) до 4,7 т/га (1971-75 гг.) государству пришлось вложить средства только на реконструкцию рисовых систем на качественно-новой основе около 1 млрд. руб. в ценах 1985 г., при этом сорта риса (Краснодарский 424, Кубань 3 и Дубовский 129) оставались одни и те же.

Получаемые в отдельные годы на небольших участках рисовых систем рекордные (8-10 т/га) урожаи риса при использовании какого-то нового сорта еще не говорят о его вы-

сокой энергетической продуктивности. Причиной высокого урожая может быть хорошее естественное мелиоративное состояние почв, которое создать на площади в сотню тысяч гектаров без вложения средств невозможно.

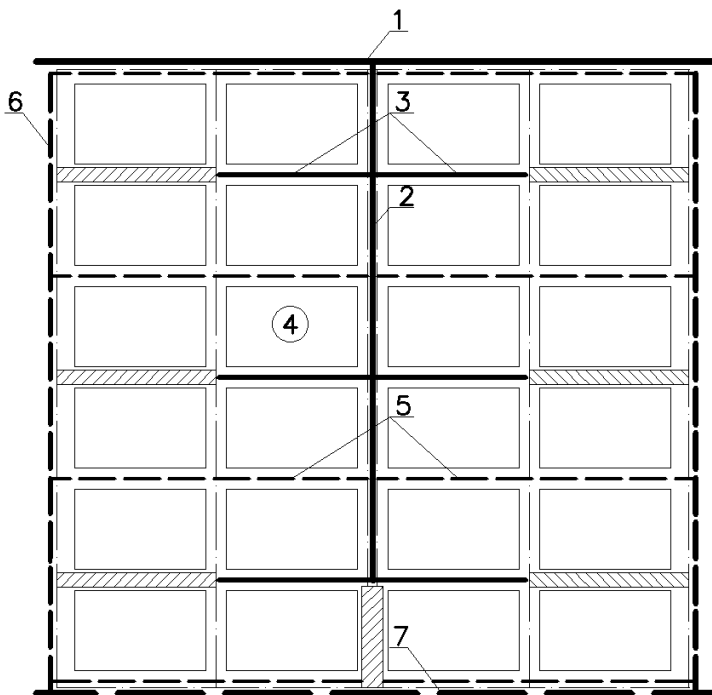
Следствие. Один и тот же сорт может быть одновременно и интенсивного и экстенсивного типа: дело в мелиоративном состоянии почв и уровне технологии, при этом сорта интенсивного типа в условиях экстенсивного земледелия окажутся биологически менее продуктивными.

3 ГИПСОМЕТРИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РИСОВОГО ПОЛЯ КАК ОБЪЕКТА АГРОМЕЛИОРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В умеренных широтах, отличающихся малым количеством осадков (100-300 мм за вегетационный период) рис возделывают в условиях искусственного орошения, осуществляемого через посредство рисовых оросительных систем (РОС). Источниками водоснабжения РОС являются реки и водохранилища. В результате строительства рисовых систем происходит коренное преобразование природного ландшафта с превращением его мезорельефа из волнистого, слаборасчлененного в сильнорасчлененный с огромным множеством горизонтально спланированных площадок (чеков 4-6 га), расположенных на разных геодезических отметках и огражденных со всех сторон земляными дамбами и валиками. Чеки объединяются в поливные карты (рисунок 2), а последние - в участки севооборота.

Каждый рисовый чек всеми своими сторонами примыкает к водным объектам, в качестве которых выступают оросительные и дренажно-сбросные каналы, а также смежные чеки, уровни воды в каждом из которых выше или ниже плоскости того или иного чека.

После затопления чеков поверхностные и грунтовые воды на севооборотном рисовом участке смыкаются и водные объекты вступают в гидродинамическое взаимодействие: фильтрационно-грунтовая вода из оросительных каналов и высоких чеков выклинивается в приканальных и притеррасных полосах низких чеков, а из всех чеков дренируется в прилегающие к ним дренажно-сбросные каналы (рисунок 3).

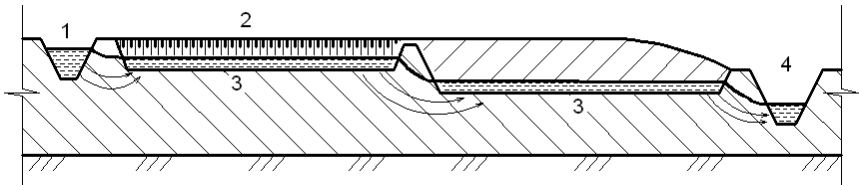


1 – внутривозделный распределитель; 2 – участковый распределитель; 3 – оросители; 4 – рисовые чеки; 5 – картовые сбросные каналы; 6 – участковый сбросной канал (коллектор); 7 – внутривозделный сбросной канал

Рисунок 2 – Конструкция модуля РОС «Кубанская»

Тепло и массоперенос в активных зонах определяется направленностью грунтовых потоков.

В силу описанного гидродинамического взаимодействия плодородие почв и, как следствие, урожайность риса на поливной карте может существенно различаться: наиболее благоприятные условия создаются на высоких чеках, наименее благоприятные - на низких «защемленных» чеках.



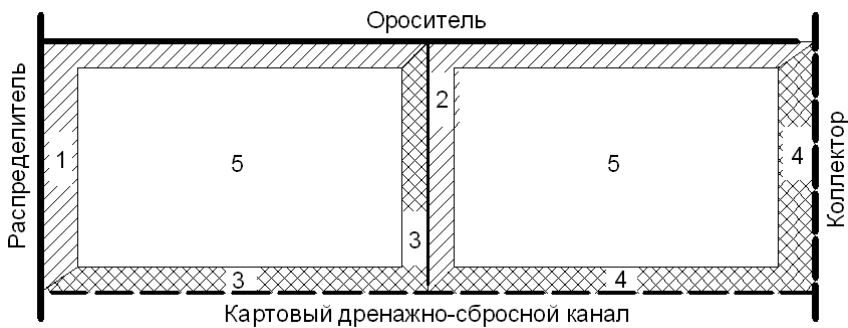
1 – участковый распределитель; 2 – картвый ороситель;
3 – рисовые чеки; 4 – участковый коллектор

Рисунок 3 – Разрез по оси поливной карты

Разница в урожайности риса между ними может достигать 1-2 т/га, а на массивах с залеганием сильноминерализованных грунтовых вод и более.

В гидрогеологическом отношении плоскость рисового чека разделяется на 5 зон: выклинивания грунтовых вод (1, 2 рисунок 4), дренирования (3,4) и застойная зона (5).

Ширина зон выклинивания и дренирования зависит от разницы отметок в водных объектах и глубины залегания водоупора и может колебаться от 5 до 10 м. При проведении деляночных агрономических и мелиоративных опытов, указанная зональность должна быть учтена - она не может служить случайной ошибкой при оценке, например, урожая.



1, 2 – зоны выклинивания грунтовых вод; 3, 4 – зоны дренирования; 5 – застойные зоны

Рисунок 4 – Гидрогеологические зоны на рисовых чеках

4 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И ВОДНЫХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ

4.1 Полная влагоемкость

Полная влагоемкость (ПВ), или водовместимость, соответствует количеству воды, заполняющему полностью все почвенные поры, т.е. наибольшему содержанию влаги в почве. Ее величину в полевых условиях определяют путем проведения следующих опытных работ.

С поверхности репрезентативного чека в средней его части в металлические цилиндры с заточенными снаружи нижними краями (рисунок 5) берут не менее чем в 3-х кратных повторностях монолиты почвы. Наиболее удобны для этого цилиндры диаметром 80 мм, высотой 100 мм и вместимостью около 500 см³. Монолиты берут следующим образом.

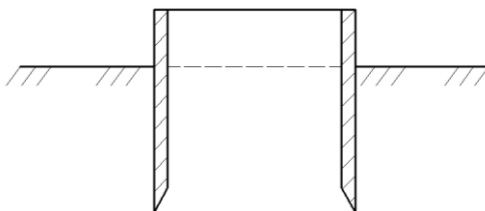


Рисунок 5 – Металлический цилиндр (режущее кольцо)

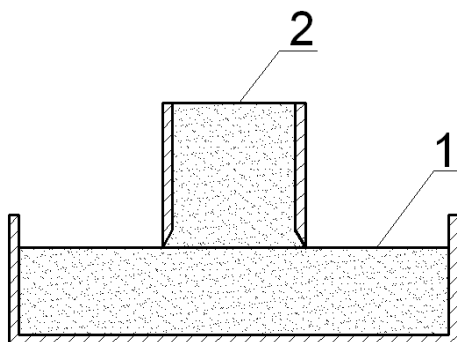
Цилиндр с режущей нижней кромкой устанавливают на почву строго вертикально. Затем наверх цилиндра устанавливают оголовок и ударами тяжелого молотка вбивают в почву так, чтобы верхний край цилиндра вошел в почву на 2-4 мм. Цилиндр окапывают со всех сторон и осторожно вынимают, подрезая почву сверху и снизу ножом. Цилиндр плотно закрывают крышками сверху и снизу и доставляют в лабора-

торию, где на них снизу надевают сетчатые крышки, и монолиты насыщают водой снизу до величины, соответствующей полной влагоемкости, что достигается постепенным поднятием уровня воды в сосуде, в котором установлены монолиты, до верхнего края последних. В этом случае заземленный в монолитах воздух вытесняется из них.

Цилиндры вынимают из сосуда, вытирают сухой тряпкой и быстро взвешивают. Затем их помещают в термостаты для высушивания. Разница в весах составит полную влагоемкость в % от объема.

4.2 Наименьшая влагоемкость

Наименьшая влагоемкость (НВ)- это наибольшее возможное содержание подвешенной влаги в данном слое почвы в ее естественном сложении при отсутствии слоистости и подпирающего действия грунтовых вод после стекания всей гравитационной влаги. Ее величина в полевых условиях определяется так же как и ПВ с той лишь разницей, что цилиндры после насыщения их водой помещают не в термостат, а устанавливают на поверхность воздушно-сухого образца той же почвы, при этом масса образца не должна быть меньше массы почвы в колонке. Для лучшего контакта смоченной и сухой почвы сверху на цилиндр помещают на дощечке груз (например гирию в 500 г) (рисунок 6). Через 12 часов для супесчаных почв и 24 часа - суглинистых цилиндры взвешивают и, зная массу сухой почвы в них, рассчитывают процент влаги, соответствующей НВ.



1 – цилиндр с воздушно-сухой почвой; 2 – режущее кольцо

Рисунок 6 – К методике определения наименьшей влагоемкости

Знание величин ПВ и НВ имеют большое значение при разработке оросительных, поливных, а также норм при орошении сопутствующих культур и риса - при прерывистом затоплении посевов.

4.3 Общая и активная порозность (пористость) почвы

В пористом пространстве почвы размещается газообразная и жидкая фаза почвы, а также живые организмы. От общего количества пор и их размеров зависит как количественное соотношение фаз, так и условия перемещения растворов. Для культуры затопляемого риса знание пористости имеет особенно важное значение, так как, во-первых, именно в поровом пространстве защемляется при форсированном затоплении воздух, включая кислород, без которого всходов риса получить невозможно, а во-вторых, корни риса обладают слабой сосущей силой, в связи с чем влага, размещенная в

тонких капиллярах им недоступна и они используют только ту ее часть, которая находится в крупных порах, относящихся к активной пористости.

Активная пористость - это совокупность пор, по которым почвенная влага может свободно перемещаться, не испытывая заметного притяжения со стороны твердых частиц. Для риса это наиболее доступная влага.

Общую пористость почвы $P_{\text{общ}}$ определяют по формуле:

$$P_{\text{общ.}} = \left(1 - \frac{\rho}{d}\right) 100\% , \quad (4)$$

где d – объемная плотность, г/см³;
 ρ – плотность твердой фазы почвы, г/см³.

а активную $P_{\text{акт}}$

$$P_{\text{акт}} = P_{\text{общ}} - 0,8P_{\text{кан}} = \left(1 - \frac{\rho}{d}\right) - 0,8P_{\text{кан}} , \quad (5)$$

где $P_{\text{кан}}$ – капиллярная пористость, численно равная разнице между полной и наименьшей влагоемкостью.

Величины ρ и d определяют опытным путем по методике почвенного института им. Докучаева [6, 13], ориентировочные значения которых, а также влажности представлены ниже (таблицы 2-4).

Таблица 2 – Ориентировочные значения плотности твердой фазы (d , г/см³) различных почв (по А.А. Качинскому)

Название почв	Глубина, см			
	0-20	20-40	40-100	более 100
Суглинистые и глинистые: - черноземы типичные - южные - каштановые - пустынно-степные	2,40	2,50	2,65	2,70
	2,55	2,60	2,65	2,70
	2,60	2,65	2,70	2,75
	2,65	2,70	2,70	2,75
В среднем по типам:	2,55	2,64	2,67	2,72

Таблица 3 – Ориентировочные значения влажности (% от массы), соответствующие различным видам влажности (по О.Г. Растворовой)

Механический состав почвы	Горизонты	Виды влагоемкости		
		ВЗ	НВ	ПВ
Супесчаные	безгумусовые	1,5-2,5	10-15	25-30
	гумусовые	2,5-4,0	12-20	30-40
Суглинистые	безгумусовые	3-12	21-24	25-30
	гумусовые	5-15	25-45	30-50
Глинистые	безгумусовые	10-20	24-27	25-30
	гумусовые	15-22	30-45	35-50
	органо-генные	25-60	200-500	300-1000

Таблица 4 – Ориентировочные значения порозности, необходимой для обеспечения оптимальных физических условий в почвах (% от общего объема) при орошении сопутствующих культур рисового севооборота

Объект	Общая порозность	Порозность аэрации	Порозность агрегатов > 1 мм	Поры < 0,003 мм
Гумусовые и пахотных горизонты суглинистых и глинистых почв	55-65	>20	>35	<20
Гумусовые подпахотные горизонты тех же почв	40-50	> 10	-	<10
Гумусовые горизонты (пахотные горизонты песчаных почв)	45-50	>30	-	-

4.4 Приборы для изучения фильтрации и режима грунтовых вод

Одной из особенностей рисовых оросительных систем является то, что движение грунтовых вод здесь происходит под плоской поверхностью их уровня. Вода из оросительных

каналов фильтруется в прилегающие затопленные чеки, из чеков высоких в смежные, более низкие, а из всех чеков, независимо от их высотного положения, - в дренажно-сбросные каналы. Иными словами, на рисовой оросительной системе происходит переток воды из повышенных элементов, на которых имеется слой воды той или иной мощности, в пониженные затопленные места (водоемы). В первом случае на дне водоемов будет иметь место нисходящая фильтрация, во втором - восходящая, или выпор грунтовых вод.

Для измерения количества воды, проходящей через поверхность раздела «почва - слой воды» сверху вниз (нисходящая фильтрация) и далее в нижний чек или в дренажно-сбросной канал, может быть использовано обычное кольцо, вдавленное в почву. Чтобы зафиксировать истинное значение фильтрации, уровень воды внутри кольца должен поддерживаться на одном уровне со слоем воды в чеке. В противном случае вода будет поступать или внутрь кольца, если горизонт воды в нем ниже, или из кольца в слой затопления, если наоборот.

Для поддержания заданного слоя воды в кольце можно использовать мариоттово устройство. В этом случае по расходу воды из сосуда Мариотта определяют точечную скорость нисходящей фильтрации как частное от деления объема воды на произведение площади кольца на время фильтрации.

Для фиксации количества восходящей фильтрации (например, на нижнем чеке) необходимо внутрь кольца поместить емкость, открытую сверху, верхняя кромка которой должна быть установлена на отметке слоя воды в чеке и внутри кольца. В этом случае поступающая снизу фильтрующаяся вода будет переливаться в емкость, при этом слой воды в кольце останется во все время опыта неизменным, что отвечает условиям задачи. Скорость фильтрации определяют таким же путем.

На основе высказанных соображений В.А. Поповым (а.с. №543851) разработана конструкция фильтромера, позволяющего оценить скорость фильтрации в любой точке рисового поля, в том числе в каналах, независимо от ее направления. Прибор состоит из затопляемого колокола, который представляет собой концентрические сосуды 1 и 2 (рисунок 7), помещенные один в другой.

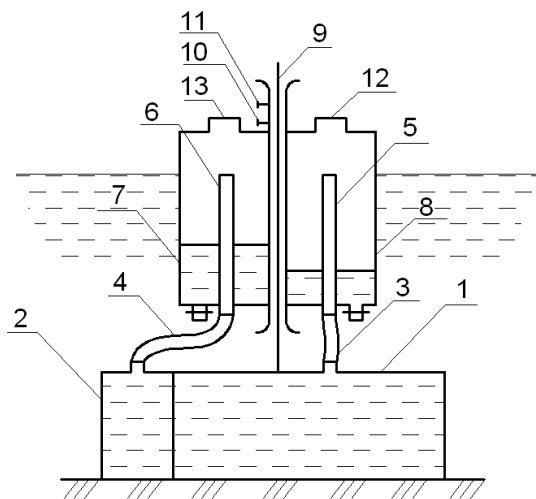


Рисунок 7 – Фильтромер В.А. Попова

Полости сосудов гибкими шлангами 3 и 4, подсоединенными к пьезометрам 5 и 6, сообщены с изолированными одно от другого устройством 7 для поддержания напора и объемным расходомером 8. Пьезометры закреплены так, что их верхние кромки находятся на одном уровне.

Устройство для поддержания напора и объемный расходомер закреплены на штативе 9 посредством элевационного винта 10, обеспечивающего плавное перемещение устройства

для поддержания напора на требуемый уровень. Стопорный винт 11 служит для фиксации устройства в заданном положении. Штатив 9 укреплен на корпусе затопляемого колокола. Камеры устройства для поддержания напора и объемного расходомера разгерметизированы открытыми патрубками 12 и 13.

Для измерения восходящей фильтрации на низких чеках или в дренажно-сбросных каналах фильтромер устанавливают в намеченной точке водоема, плавно вдавливая в грунт затопляемый колокол. С помощью элевационного винта 10 устройство для поддержания напора и объемный расходомер синхронно опускаются вниз до совпадения уровней воды в пьезометрах 5 и 6 с их верхней кромкой, являющейся переливным порогом. Прибор подготовлен к работе.

Восходящий поток из центрального сосуда 1, переливаясь через верхнюю кромку пьезометра 5, будет поступать в расходомер 8, а из внешнего сосуда 2 – в устройство 7 для поддержания напора и далее через сливной краник в атмосферу. Интенсивность восходящей фильтрации определяют обычным методом.

В случае замера восходящей фильтрации при других напорах, отличных от режима водоема в данный момент, регулятор напора 7 поднимается или опускается на заданную величину. В первом случае в пьезометры 5 и 6 до их верхней кромки доливается вода, имитируя тем самым подъем уровня в водоеме, во втором – она сама отливается в расходомер, объем которой перед началом опыта или фиксируется, или сливается через краник наружу.

При имитации снижения уровня воды в водоеме часть ее вследствие образования действующего напора между естественным водоемом (канал, чек и т. п.) и пьезометрами фильтромера будет стремиться в колокол, искажая действительную картину фильтрации при созданном режиме. Для нейтрализации этого явления служит внешний сосуд 2. Под

его влиянием во внутренний сосуд 1 будет поступать не искаженный местным возмущением фильтрационный поток.

Слой воды в чеках колеблется в незначительных пределах – от 2–3 до 20–30 см. По этой причине при имитации снижения уровня подбор диаметра внешнего сосуда и глубины погружения затопляемого колокола не вызывает особых затруднений. При измерении же воды в глубоких водоемах, например, в дренажно-сбросном канале глубиной 2–2,5 м, значительное искусственное понижение уровня воды в нем может при неудачно подобранном диаметре внешнего сосуда привести к фиксации, искаженной местным возмущением величины фильтрации. Как показали расчеты, диаметр внешнего сосуда должен быть не менее 0,2–0,4 м.

Для измерения с помощью описанного прибора величины нисходящей фильтрации после начала опыта необходимо доливать воду в пьезометры 5 и 6, при этом объем доливов в первый из них учитывают.

Важной составной частью изучения мелиоративного состояния почв является определение коэффициентов фильтрации грунтов зоны аэрации. Для рисовых полей эта задача может быть решена таким образом.

В изучаемой точке рисового чека пробуривают на необходимую глубину скважину и оборудуют ее пьезометром. После затопления чека водой и начала установившейся фильтрации в дренажно-сбросные каналы вблизи скважины замеряют с помощью фильтромера скорость фильтрации, а в самой скважине – потерю напора.

Коэффициент фильтрации определяют по известной формуле Дарси. Описанный метод основан на предположении Н.К.Гириного о вертикальности фильтрационных струек в верхнем слабопроницаемом пласте, подстилаемом более проницаемыми грунтами (для рисовых полей это наиболее часто встречаемая ситуация). Для однородных грунтов в

формуле Дарси необходимо внести поправку на искривление струек, которая находится в пределах от 1,02 до 1,08.

4.5 Коэффициент фильтрации

В мелиоративной практике коэффициент фильтрации K_f является главным показателем водно-физических свойств почв при проведении гидрогеологических, водохозяйственных и агротехнологических расчетов (расчеты параметров различного рода дренажа, осушительной сети, поливных и оросительных норм, технологических карт и мн. др.). К настоящему времени разработано и используется много лабораторных и полевых методов для определения величины K_f : метод монолитов, двойных рам, трубок, безнапорного дождевания, скважин с использованием опытных откачек, наливов и нагнетания воды. Наиболее приемлемым для нужд рисовых систем является метод двойных рам с использованием прибора Нестерова (ПВН). Суть метода заключается в следующем.

Опытные работы проводят в паровых полях, когда уровень грунтовых вод находится глубоко (1,5-2,0 м и более) под поверхностью рисового чека. Поскольку K_f пахотного слоя вследствие его разрыхления изменяется во времени, в месте установки прибора его снимают, поверхность расчищают и выравнивают. Конструкция прибора и методика проведения опытных работ подробно описаны в различного рода методических указаниях (*напр. Растворова О.Г. Физика почв (практическое руководство) // Ленинград: Издание Ленинградского университета, 1983, с.90-93*, в связи с чем приводить подробное их описание нет необходимости. Подчеркнем лишь, что опыт необходимо провести на чеке не менее, чем в трехкратной повторности, устанавливая прибор в различных его частях: у оросителя, в центре и у картового дренаж-

но-сбросного канала. В качестве коэффициента фильтрации принимают то значение водопроницаемости, которое при проведении опыта станет постоянным, малоизменяемым. Опыты должны проводиться одновременно во всех трех точках чека, а если это неосуществимо - ежедневно в течение 3 дней.

В случае если величины коэффициента фильтрации, измеренные в 3-х точках, будут существенно отличаться (более чем на 20%), определяют средневзвешенное значение K_{ϕ} по формуле:

$$K_{\phi 0} = K_{\phi 1} \cdot 0,05 + K_{\phi 2} \cdot 0,85 + K_{\phi 3} \cdot 0,10 , \quad (6)$$

где $K_{\phi 1}, K_{\phi 2}$ и $K_{\phi 3}$ - коэффициенты фильтрации у оросителя, в центральной части и у картового дренажно-сбросного канала соответственно.

4.6 Основная гидрофизическая (энергетическая) характеристика почвы (ОГХ)

Почва как любое дисперсное тело обладает поверхностной энергией, благодаря которой влага удерживается в ней. С агрономической точки зрения, водоудерживаемость является важнейшей характеристикой почвы, определяющей энергетическое состояние влаги и доступность ее растениям. В гидрофизике ей дано следующее определение: «количество энергии, затраченной посредством приложенных извне сил на то, чтобы перенести обратимо и изотермически бесконечно малое количество воды из стандартного состояния в жидкую фазу почвы в заданной точке». Чтобы понять физическую сущность этой характеристики почвы, приведем простой пример. Зачерпнем после сброса воды с чека переувлажнен-

ную почву, поместим ее в холщевый мешочек и подвесим. Часть воды самопроизвольно стечет с него - это гравитационная влага, количество которой в глинистых и суглинистых почвах не велико - 4-6% от общего объема. Эта влага - самая доступная растениям: корни риса поглощают ее, не прилагая усилий (сосущей силы корней), в больших количествах, что приводит к получению высоких урожаев.

Если после прекращения стока сжать мешочек ладонями, приложив таким образом усилия, еще какое-то определенное количество воды стечет. Однако наступит момент, когда какие бы усилия не прилагали, вода стекать не будет, хотя влага в ней имеется. Вода в таком энергетическом состоянии доступна далеко не всем растениям и получила название «влажность завядания».

С гидрофизической точки зрения почву можно представлять как огромное множество капиллярных трубок, диаметром от видимых до невидимых простым глазом. Корневые волоски растений своими кончиками присоединяются к этим капиллярам и, используя свою сосущую силу, поглощают влагу, но только из тех капилляров, внутренний диаметр которых оказался толще диаметра сосудов корня. Таким образом, чем выше дисперсность и, как следствие, тоньше капилляры почвы, тем выше ее водоудерживаемость, тем большей сосущей силой должны обладать корни растений для поглощения воды. Рис, корни которого размещены, например, в плотной глинистой почве, может погибнуть от безводья, несмотря на то, что в такой почве при общей порозности 50% содержится значительное количество влаги - $0,3 \text{ м}^3$ в 1 м^3 почвы. Однако эта вода находится в очень тонких капиллярах и потому недоступна.

Водоудерживаемость почвы, которую почвоведы называют «основной гидрофизической характеристикой почвы» (ОГХ), измеряют в единицах работы (Дж/кг) или давления (кПа). Водоудерживаемость зависит от многих факторов (ме-

ханический состав, порозность, глубина залегания, влажность и др.), а в конкретной почве - только от влажности: чем она ниже, тем выше водоудерживаемость, изменяясь от 0 при ПВ до $1 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5$ кПа - в воздушно-сухих образцах.

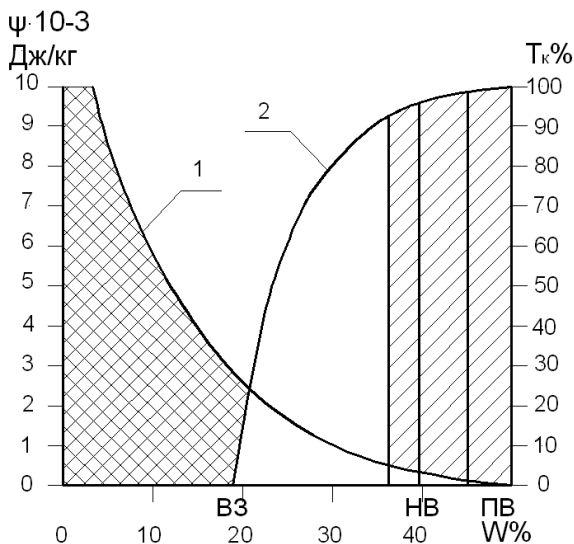
Существует много методов определения величины ОГХ - гигроскопический, психрометрический, криоскопический и др. Наиболее приемлемым для условий рисовых полей, на наш взгляд, является тензометрический. С помощью тензиометров можно определять потенциал влаги от 0, что наблюдается при ПВ, до - 85 кПа, что составляет более 50% всего диапазона активной влаги в суглинистых и глинистых почвах. Тензиометры могут быть использованы как в поле, так и в лабораторных условиях, они просты по конструкции, а принцип их работы напоминает, что очень важно, работу корня.

Конструкция существующих тензиометров и методы работы с ними подробно описаны в работах [6, 13]. По результатам измерения ОГХ при различном содержании воды в почве, то есть при различной влажности, строят кривые зависимости ОГХ от влажности, откладывая по горизонтальной оси влажность (W%), а по вертикальной – значения потенциала или давления влаги (P, кПа) (рисунок 8).

Такие кривые получили название кривых водоудерживаемости почвы. Форма кривых и их положение относительно осей содержат в явном или неявном виде информацию о дисперсности почвы, механическом составе, агрегатном состоянии, плотности, порозности, влажности завядания, наименьшей влагоемкости, диапазоне активной влаги и мн.другое. Для анализа кривых разработаны специальные методики (А.М.Глобус, А.Д.Воронин и др. авторы).

Если поставить опыт по изучению влияния потенциала влаги (ОГХ) на рост, развитие и транспирацию растений риса, можно получить ценную информацию о методах повышения

последней, с которой коррелятивно связана урожайность культуры.



1 – кривая водоудерживаемости тяжелой суглинистой почвы;
2 – кривая транспирации растений риса

Рисунок 8 – Кривые водоудерживаемости и транспирации (по О.В.Растворовой, 1983 г. и В.А.Попову, 2003 г.)

В заключение хотелось бы подчеркнуть - энергетическим исследованиям влаги в почве с помощью различных приборов и методов принадлежит будущее, так как оно связано с переходом с директивного на точное земледелие.

5 МЕТОДИКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Гидромодуль первоначального затопления рисового чека

От величины гидромодуля первоначального затопления чека (q_r) зависит гидрохимическое и фитомелиоративное состояние почвы, обеспечивающее получение дружных густых (250-300 раст./м²) всходов риса, подавление проростков сорной растительности и предупреждение ирригационного засоления почвы. Условие оптимальности гидромодуля формулируется следующим требованием: скорость затопления поверхности чека V_{Π} должна опережать скорость подъема уровня грунтовых вод $V_{УГВ}$:

$$V_{\Pi} > V_{УГВ} \quad (7)$$

V_{Π} измеряют в долях от площади чека, $V_{УГВ}$ - в долях от глубины залегания УГВ перед первоначальным затоплением.

Для установления оптимальной величины гидромодуля первоначального затопления разработана следующая методика.

На поливной карте выбирают два чека, один из которых расположен на правой, другой – на левой стороне картового оросителя (рисунок 9). На них для осуществления *сопряженных* наблюдений за режимами поверхностных и грунтовых вод, их минерализацией и развитием риса устраивают сеть стационарных постов: в направлении от оросителя к дренажно-сбросному каналу (ДСК) (в 10 м от подошвы вала оросителя и дамбы ДСК и по середине чека) устраивают батареи скаважин-пьезометров с глубиной погружения 0,3; 0,6; 0,9 и 1,2 м, рядом с ними *фенологические* площадки 2×2 м.

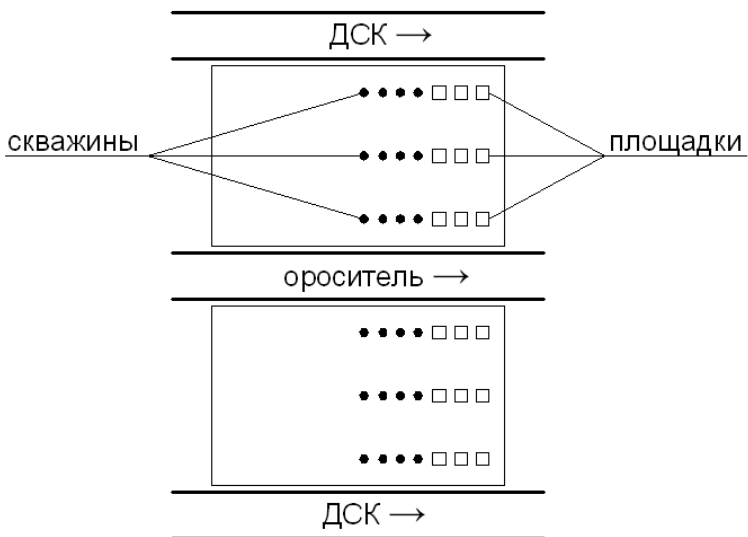


Рисунок 9 – Схема размещения скважин и фенологических площадок на опытных чеках

В оросителе и ДСК устанавливают водомерные рейки, нули которых связывают нивелирным ходом друг с другом, а также с парубками скважин и средними плоскостями чеков.

Чтобы следить за передвижением фронта затопления поверхности чеков, их разбивают на квадраты 50×50 м, центры которых закрепляют вешками 1,5-2,0 м для лучшей их видимости их с валиков или дамб.

Наблюдение за уровнем воды и площадями затопления проводят ежедневно через 3-6 часов до полного затопления чеков, а отбор проб воды – один раз в сутки.

После завершения в одни и те же сроки агротехнических работ и посева риса, начинают первоначальное затопление: на одном чеке гидромодулем обычным, на втором – в 3-5 раз выше, путем установок на нем переносных сифонных водовыпусков. Ведут наблюдение за темпами затопления и

подъема уровня грунтовых вод, заноса данные в таблицу 5.1. Значение рациональной величины гидромодуля затопления назначают таким, при котором соблюдается условие (7).

Таблица 5.1 – Пример таблицы по изучению темпов поверхностного затопления чеков (числитель) и подъема уровня грунтовых вод над ними (знаменатель)

Гидромодуль, л/с га	Время от начала подачи воды, ч						
	3	9	15	21	27	33	48
10	3/2	10/28	18/36	70/68	85/91	90/95	100/100
50	4/0	12/10	20/42	82/85	88/95	100/98	-/100

Физическая гидродинамическая сущность взаимодействия поверхностных и грунтовых вод и их эффективности в период затопления изложена в работах [7,8], здесь же приведем результаты одного эксперимента (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Влияние величины гидромодуля на продолжительность затопления, густоту всходов риса и засоренность посевов (р/с Новопетровский», 1984)

q ₂ , л/с.га	Продолжительность затопления, ч	Густота всходов риса на 1м ²	Засоренность посевов, шт/м	Урожайность риса, т/га	Расход воды на затопление, м ³ /га
10	52,8	121	75	4,3	3269
50	12,0	248	34	5,1	2078

В заключение отметим, что уравнение $Y = f(q)$ получается линейным, что не позволяет установить оптимальное значение $q_{\text{опт}}$. Это объясняется тем, что регулирующая сеть построенных рисовых систем не позволяет довести величину гидромодуля выше 50-60 л/с.га. Однако известно, что в США, воспользовавшись российским опытом, построили системы, в

которых гидромодуль первоначального затопления доведен до 100 л/с га (15 фут /с на 3,6 га). На таких системах стало возможным поливать не только рис, но и любые другие культуры, добиваясь высокого экономического эффекта [9]. В этом случае оптимальную величину определяют на основе экономических расчетов, учитывая, что в этом случае значительно увеличиваются параметры и стоимость регулирующей сети и сооружений.

5.2. Режим почвенно-грунтовых и грунтовых вод

5.2.1 Верховодка

После созревания риса начинают уборку урожая комбайнами. Чем меньший временной разрыв между созреванием и уборкой, тем меньше потери зерна и выше его пищевые и технологические качества. Однако после поверхностного предуборочного осушения под поверхностью чеков сохраняется бугор грунтовых вод (верховодка), который из-за переувлажнения почвы препятствует работе тяжелой уборочной техники. Установлено, что ее высокопроизводительная и высококачественная работа может наблюдаться при условии, когда уровень грунтовых вод (УГВ) понизится до глубины 50-60 см для супесчаных и 60-70 см - суглинистых почв, при этом влажность верхнего (0-20 см) слоя почвы будет ниже 28-30%, при которой после прохода техники не образуется глубокая (> 5 см) колея, а комки грязи не образуются и не падают на скошенные валки риса. В связи с изложенным знание скорости и закономерностей понижения верховодки под плоскостью рисовых чеков имеет огромное значение при разработке оптимальных планов предуборочного осушения и уборки урожая.

На скорость понижения верховодки оказывают влияние два фактора: 1) картовый дренаж; 2) испарение с поверхности понижающихся грунтовых вод. Имитационную и математическую модели процесса сработки бугра грунтовых вод можно в общем виде представить следующим уравнением (8):

$$V_{\text{угв}} = f(D; E), \quad (8)$$

Опыт для изучения скорости сработки верховодки закладывают осенью после созревания риса на выбранном репрезентативном чеке. Условия репрезентативности: отметка плоскости чека должна быть близкой к средней на карте, террасность между смежными чеками не должна превышать 20-30 см, при этом террасность на карте должна быть положительной, что наблюдается, когда отметки чеков последовательно понижаются от участкового распределителя до участкового коллектора.

В центральной части чека пробуривают скважину на глубину ниже УГВ на 0,5 м, при этом общая глубина должна быть не более 2 м. Осенью почвогрунты зоны аэрации уплотнены, в связи с этим обсаживать скважину, как правило, нет необходимости.

В 3-5 м от скважины устанавливают почвенный испаритель ГГИ - 500, заряжаемый монолитом. При отсутствии испарителей можно использовать открытую сверху бочку диаметром 50-100 см и высотой 0,5 м. Испаритель необходим для разделения влияния картового дренажа и испаряемости (рисунки 10).

УГВ измеряют в первые 10 дней ежедневно в одно и то же время с помощью мерной ленты или шнура с хлопущкой на конце. В последующие дни замер уровней воды в скважинах производят 1 раз в 5-7 дней. Данные измерений заносят в таблицу (таблица 5.3).

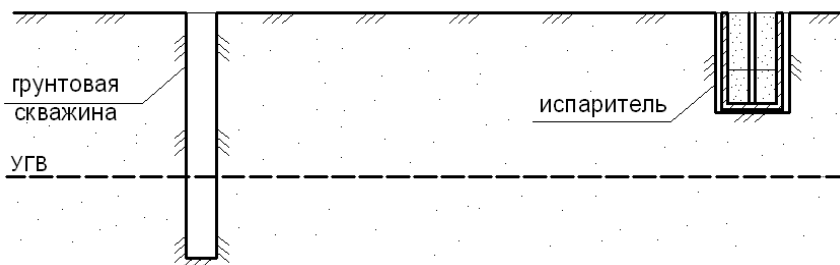


Рисунок 10 – Схема размещения скважины и испарителя на рисовом чеке

Таблица 5.3 – Понижение уровня грунтовых вод (почвогрунты – тяжелые суглинки, общая порозность 50%) (образец)

Дата замера	УГВ от поверхности чека, см	Испаряемость, см	Доля влияния дренажа, %
10 сентября	0	0	-
20 сентября	10	8	20
30 сентября	20	15	25

Для получения приближенных данных по средней скорости сработки бугра грунтовых вод за первые 12-20 суток можно воспользоваться формулой В.А.Попова [8, с.91]:

$$V = \alpha \sqrt{K/E}, \quad (9)$$

где V – средняя скорость сработки бугра грунтовых вод, м/сут;

α – эмпирический показатель, равный 0,72;

K – коэффициент фильтрации, м/сут;

E – междреннее расстояние, м.

5.2.2 Режим грунтовых вод в межполивной период. Методика построения изогалин*

Рисовые оросительные системы РФ построены в дельтах крупных рек южного склона – Дона, Кубани, Терека и Волги. Первые две из них впадают в Азовское море, вторые – в Каспийское. До строительства РОС в дельтах сформировались грунтовые воды, уровень залегания и химизм которых определялся этими водными объектами: в частности, глубина залегания находилась в пределах 1,5-3,5 м от поверхности земли, содержание солей - от пресных до сильноминерализованных (13-15 г/л) в зависимости от удаления участка от моря или лиманов. Влияния моря и лиманов распространяется на 4-6 км в сторону суши.

После строительства и эксплуатации РОС с возделыванием на них культуры затопляемого риса уровень и химический режим грунтовых вод в дельте несколько изменился: уровень стал определяться глубокими коллекторами, в связи с чем грунтовые воды стали залегать под рисовыми чеками на глубине от 1 до 1,5, реже 2 м, минерализация снизилась, однако в период возделывания в рисовом севообороте богарных культур (многолетние травы, пшеница и др.) под ними минерализация усиливается. Иными словами, уровень и химический режим грунтовых вод динамичен и требует проведения постоянных наблюдений, что наглядно подтверждают изогалины на Черноерковской РОС, построенные нами в 1990, 1991 гг. (рисунки 11, 12).

*изогалины – линии на топоплане, соединяющие точки с одинаковой соленостью воды

Для наблюдения за режимом грунтовых вод на участке рисовой системы в клетках дренирования устраивают два створа скважин: один от участкового распределителя до участкового коллектора, второй - вдоль картовой дороги от картового оросителя до картового дренажно-сбросного канала.

Кроме скважин в этих створах устанавливают водомерные рейки для измерения уровней воды в оросительных и водоотводных каналах. Путем нивелировки определяют в Балтийской системе высот отметки устьев скважин и нулей водомерных рек, без которых установление закономерностей режима ГВ не осуществимо.

Глубина скважин от устья до забоя 2,5 м, над поверхностью земли они должны возвышаться на 0,5 м, скважины закрывают колпачками для исключения попадания в них осадков и др. предметов. Перед отбором проб воды на химический анализ из скважины откачивают часть воды (или вычерпывают водоотборным стаканом - батометром). Если анализ воды нельзя провести сразу и пробы предназначены для хранения, в емкости с пробами следует добавить по несколько капель какого-нибудь консервирующего вещества (толуол, формалин и т.п.).

Данные измерений и химических анализов заносят в специальный журнал, по которым строят графики уровня и химического режимов грунтовых вод, а на их основе устанавливают закономерности сезонных и многолетних колебаний, разрабатывают методы прогноза.

5.2.3 Гидрохимический режим почвенно-грунтовых вод в корнеобитаемом слое почвы в период затопления

Гидрохимический режим поровых вод пахотного слоя имеет огромное значение в формировании мелиоративного состояния и эффективного плодородия почвы, гармоничного развития растений и, как следствие, в получении высокого урожая риса. Гидрохимический режим - процесс динамический, он изменяется в течение вегетационного периода, на него оказывает влияние температура воздуха, водный режим, вносимые удобрения, естественные запасы макро- и

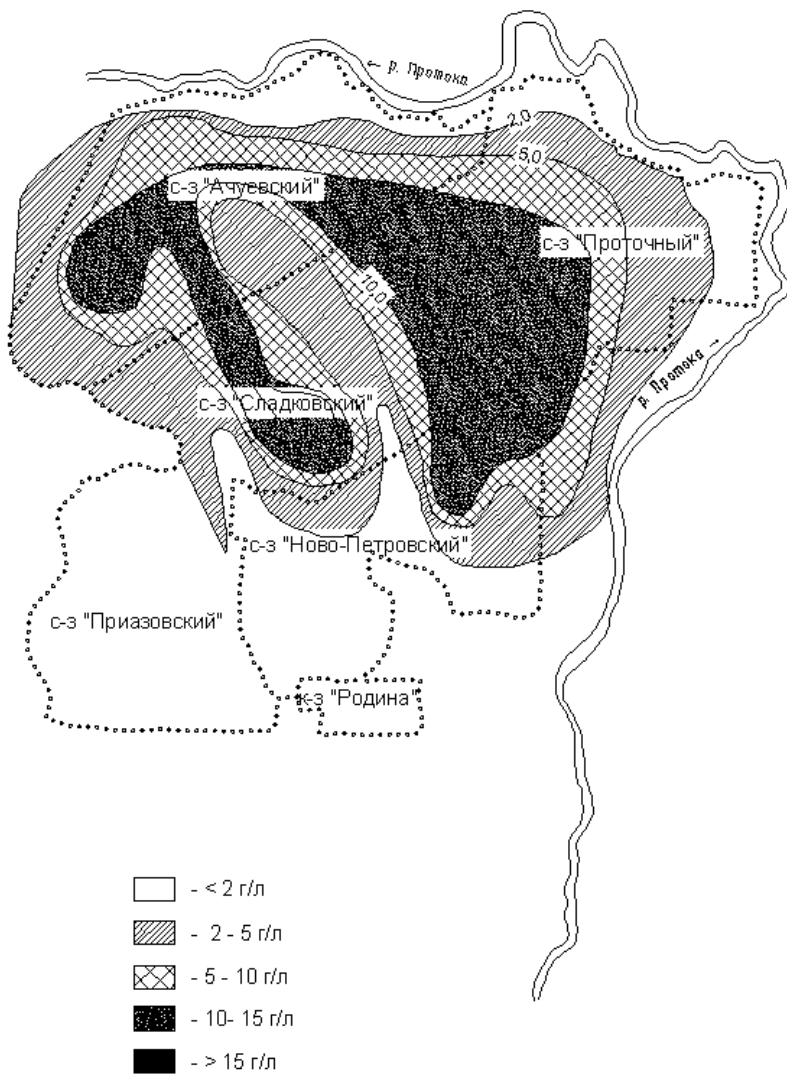


Рисунок 11 – Изогалины ЧОРС 25.09.1990

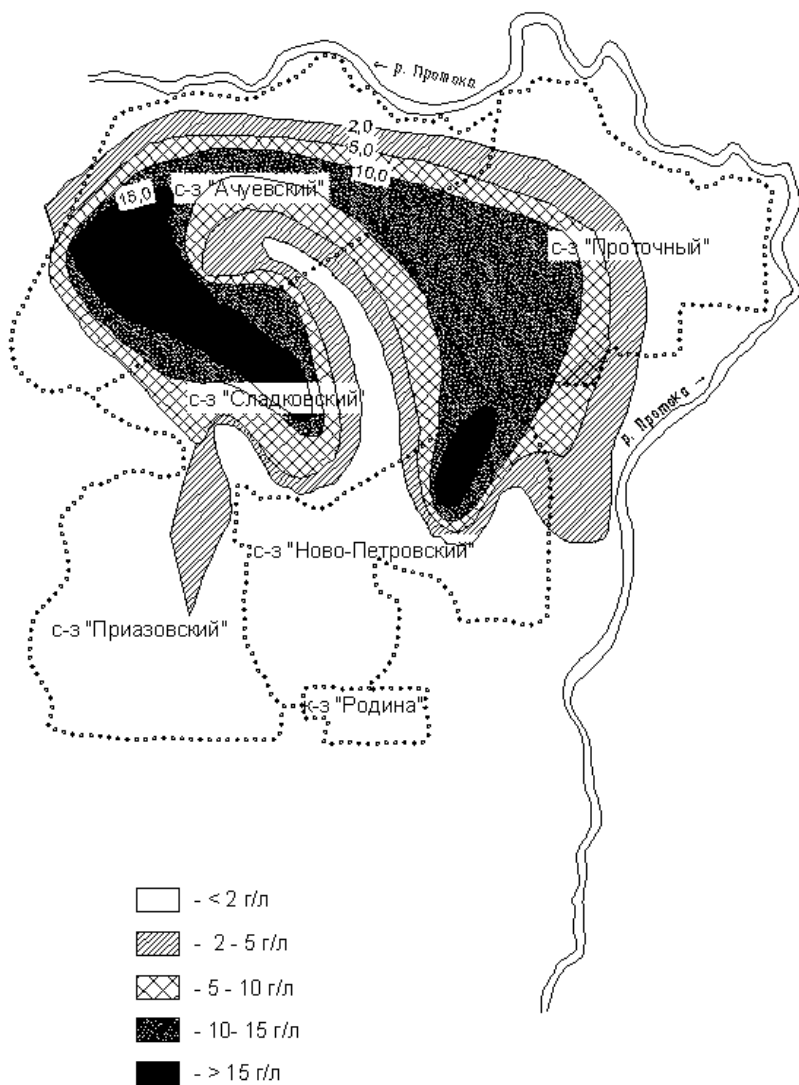
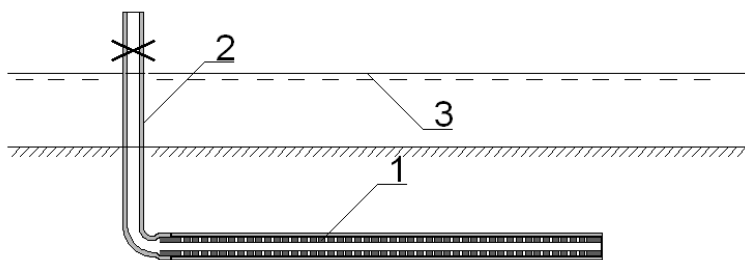


Рисунок 12 – Изоголины ЧОРС 28.09.1991

микроудобрений и их соотношения, а так же фаза развития растений, при этом подчеркнем - в почвенном растворе происходит постоянная смена лимитирующих факторов и, если это не учитывать, то добиться высокого урожая очень трудно.

Для изучения гидрохимического режима почвенно-грунтовых вод и разработки регуляторных механизмов на опытных чеках используют специальное устройство, представляющее собой дренажную трубку длиной 30-50 см, обернутую латунной сеткой с ячейками 0,20-0,25мм, стеклотканью или капроновой тканью. Один конец трубки плотно закрыт пробкой, а на второй надевают резиновый шланг. Весной после посева риса дренажные трубки закапывают в почву на глубину 10 см в трех местах - в 10-15 м от дамбы оросителя, в центральной части чека и в 10-15 м от дамбы картового дренажно-сбросного канала. Резиновый шланг выводят на поверхность чека (рисунок 12), на конце которого монтируют запорный краник, а при его отсутствии - пережимают его тонкой проволокой или шнуром.



1 – цилиндр; 2 – резиновая трубка для отсасывания дренажной воды; 3 – уровень воды в чеке

Рисунок 12 – Конструкция дренажной капсулы и место ее установки

Питательный раствор из дренажных трубок отсасывают с помощью вакуумного насоса, а также резиновой груши. Пробы отбирают один раз в 3-4 дня в одно и то же время, а один раз в 10 дней в 7, 13 и 19 ч, чтобы описать изменение в течение суток.

Анализ проб осуществляют с помощью портативного фотометра СРЕКТР 02. Прибор позволяет определить количество более 20 различных соединений, в том числе кремния, кислорода и рН. К существующим наблюдениям и учетам относятся температура воздуха, воды и почвы, относительная влажность воздуха, слой воды, влажность почвы и фазы развития риса.

5.3 Естественная скорость сработки слоя воды

В течение поливного периода приходится осуществлять поверхностное осушение чеков с обнажением почвы для: получения всходов при укороченном затоплении, обработки посевов гербицидами, предуборочного осушения и др. На практике в подавляющем большинстве случаев такое осушение достигается путем сброса воды с чеков, что крайне нежелательно: увеличиваются непроизводительные расходы воды до 3-х тыс. м³/га и более; вместе со сбрасываемой водой выносятся питательные минеральные элементы азот, фосфор, калий, кальций и др. до 100-120 кг/га; коллекторно-сбросная сеть при залповых сбросах переполняется, приводя к затоплению нижележащих участков и значительному перерасходу электроэнергии для откачки воды насосными станциями. В условиях дефицита водных ресурсов и постоянно растущей стоимости энергии такая технология водо- и энергозатратна и не разумна, если учесть, что для поверхностного осушения чеков достаточно заблаговременно прекратить подачу воды из

оросителей, а оставшийся в чеках слой будет естественным путем сработан до обнажения почвы.

Однако чтобы добиться такого положения, необходимо, прежде всего, знать скорость сработки слоя воды, чтобы к заданному сроку ее на чеке (кроме замкнутых микропонижений) не было. Задача сложная, так как на скорость сработки влияют одновременно три изменяющихся фактора: испарение с зарастающей водной поверхности, транспирация растущими посевами риса и сорной растительности и фильтрация воды с чеков в прилегающие дренажно-сбросные каналы. Решить задачу простыми расчетами с использованием теоретических формул испарения, транспирации и дренажа сложно, так как учесть в динамике все факторы, влияющие на процесс (гидрогеология, термодинамика, фитоценоз) практически невозможно. Приходится определять скорость сработки опытным путем.

Для решения поставленной задачи на однотипном в почвенном и гидрогеологическом отношении участке рисовой системы выбирают репрезентативную поливную карту с 4-6 чеками, на каждом из которых устанавливают под нивелир водомерные рейки, связанные с рейками в каналах и между собой геодезическим ходом. На одном из чеков рядом с водомерной чековой рейкой устанавливают испаритель с растениями риса и дождемер. В периоды сработки слоя ежедневно, в одно и то же время фиксируют отметки уровня воды во всех водных объектах, ведутся наблюдения за температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью ветра. Планируют не менее 5 сработок слоя: в период получения всходов риса, в конце фазы кущения, в фазу выметывания, молочно-восковой и восковой спелости зерна. Наличие испарометра и дождемера позволит разделить суммарную скорость на ее составляющие под влиянием: транспирации растущих посевов, физического испарения, дренажа. На основе корреляционно-регрессионного анализа получим систему пара-

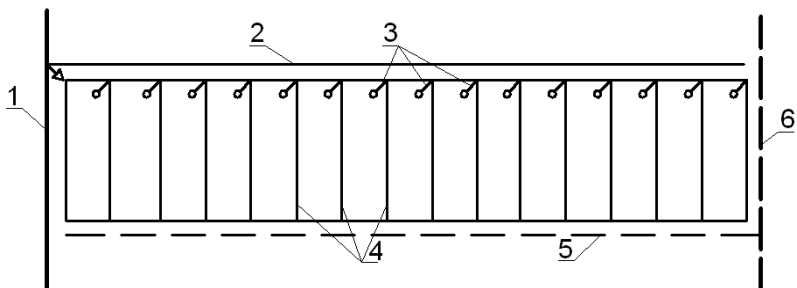
метрических уравнений, которая позволяет вывести общее уравнение для прогноза скорости сработки слоя.

5.4 Водные режимы рисовых чеков

В мировой и отечественной практике известны 7 способов орошения риса: 1) постоянное затопление изменяющимся по фазам слоем воды от посева до восковой (для отдельных сортов полной) спелости зерна; 2) укороченное затопление, при котором всходы риса получают при увлажнительных поливах; 3) постоянное затопление с краткосрочным осушением в середине лета (КРОС); 4) прерывистое затопление по типу треугольных и трапециевидных импульсов в фазу созревания; 5) то же в течение всего периода вегетации; 6) дождевание и 7) капельное орошение. Для условий построенных рисовых систем РФ дождевание и капельное орошение не приемлемы по экономическим соображениям. Остальные 5 будут иметь в Краснодарском крае широкое распространение.

Опыты для выбора экономически и/или экологически выгодного способа орошения и, как следствие, оптимального водного режима, с разработкой глубокой физической теории, закладывают на карте-чеке, которую разбивают на 10-15 микрочеков. В качестве примера создания мелиоративного стационара на рисунке 13 представлен проект реконструкции карты-чека.

Необходимость устройства стационара на карте-чеке обусловлена тем, что в этом случае все микрочеки будут расположены на одной отметке и гидроизолированы, что исключает влияние террасности, которое нейтрализовать иным путем очень сложно.



1 – участковый распределитель; 2 – картовый ороситель; 3 – водовыпуски из оросителя в микрочеки; 4 – чековые валики-перегородки; 5 – картовый сброс; 6 - коллектор

Рисунок 13 – Схема переустройства карты-чека в мелиоративный стационар

Стационар из 15 микрочеков позволит провести изучение эффективности 5-ти режимов орошения в трехкратной повторности для перспективных сортов или 5 сроков посева - 10 и 25 апреля, 5, 15 и 25 мая. При проведении исследований проводится весь комплекс гидрологических, метеорологических, гидрохимических и фитологических наблюдений.

6 МЕТОДИКА ПРИВЕДЕНИЯ ОДНОГОДИЧНОЙ УРОЖАЙНОСТИ К ЕЕ ВИРТУАЛЬНЫМ МНОГОЛЕТНИМ ЗНАЧЕНИЯМ

Как известно, урожайность риса колеблется по годам с амплитудой до 1,2-1,3 т/га. Чтобы избежать грубой ошибки при оценке эффективности агрономического опыта, Б.А.Доспехов [10] рекомендует повторять его не менее трех лет для получения осредненного значения. Назвать такой подход удачным никак нельзя: во-первых, повторять один и тот же опыт еще два года, не получая при этом новой научной информации, с позиций экономики и научно-технического прогресса крайне не рационально, а во-вторых, он не исключает ошибки. Приведем для доказательства пример, воспользовавшись многолетними данными, изложенными в работе [11].

Средняя урожайность трех сортов риса (Краснодарский 424, Кубань 3 и Дубовский 129) за первые три года исследований (1971-73гг.) составляла 7,0, а за последующие (1974-76гг.) - 5,2 т/га. Как видим, разница между средними (1,8 т/га) далеко превышает допустимые погрешности, что может привести к ошибочному мнению. В частности, если агрономический опыт с каким-то новым агроприемом проводился бы в 1971-73 гг., а его широкое внедрение в рисосеющем хозяйстве осуществлено в 1974-76гг., то вывод однозначен: новый агроприем привел к резкому снижению урожайности, что не отвечает истине. А дело заключается в том, что колебания результатов опыта по годам (в теории математической статистики они получили название «временной дрейф отклика») являются не случайными а закономерными, связанными с изменением погодных условий. В наших работах [3] доказано, что урожайность риса по годам и климатическим регионам аппроксимируется уравнением:

$$Y = \alpha(E - E_0), \text{ т/га}, \quad (10)$$

где E – потенциал испаряемости климата, под которой понимается количество воды, которое может испариться с открытой водной поверхности (чек, озеро) за вегетационный период, мм;

E_0 – порог испаряемости, ниже которого рис не формирует хозяйственно- полезного урожая ($E_0 = 100$ мм);

α – показатель биологической эффективности испаряемости, зависящий от уровня агротехники и густоты растений (в среднем в мире и крае $\alpha = 0,01$, в передовых хозяйствах $\alpha = 0,015$, на Госсортоучастках $\alpha = 0,02$ т/га. мм);

Y – урожайность риса в амбарной массе, т/га.

Используя полученную закономерность, нами разработана методика приведения одногодичных данных урожайности к ее виртуальным (возможным) значениям в зависимости от испаряемости различной обеспеченности — 25, 50, 75, 95%. Методика в математическом виде представлена следующим уравнением:

$$Y_x = Y_1 \frac{E_0}{E_x} \quad (11)$$

где Y_x - урожайность заданной (x) обеспеченности, т/га;

Y_1 - урожайность, полученная в год проведения исследований, т/га (в 1971 г равная 8,3 т/га);

E_0 - средняя многолетняя испаряемость за вегетационный период, мм;

E_x - испаряемость заданной обеспеченности, мм .

Используя уравнение (11), нами получены следующие результаты по данным приведенного опыта: средняя за 6 лет расчетная урожайность 5,9 т/га (фактическая 6,1 т/га); средняя за 1971-73гг. - 7,1 т/га (фактическая 7,0 т/га), средняя за 1974-76гг. - 4,9 (фактическая 5,2 т/га). Как видно из приведенных данных ошибка в расчетном определении урожайности не превышает 3%, что находится в пределах ошибки измерения испаряемости. Таким образом, этот метод позволяет избежать трехлетнего повторения опытов и по результатам одного года успешно проводить необходимые расчеты экономической эффективности научных разработок, а также прогнозировать величину урожайности в годы с различной энерго- и теплообеспеченностью. Расчетная испаряемость климата E может быть определена по формуле ГГИ:

$$E = 0,14i(l_0 - l)(1 + 0,72w) \text{ мм}, \quad (12)$$

где i – продолжительность вегетационного периода, дней;

l_0 – упругость насыщенного водяного пара, рассчитанная по температуре воды, мм;

l – упругость водяного пара в воздухе на высоте 2 м над поверхностью воды, мм;

w – средняя скорость ветра на высоте 1 м над поверхностью земли, м/с.

Как видно из уравнения, испаряемость зависит от дефицита влажности воздуха ($l_0 - l$) и скорости ветра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Специфика отрасли предполагает необходимость постоянного проведения большого объема полевых мелиоративных опытов. В представленной работе организация исследований направлена на изучение и формирование водных режимов, обеспечивающих рациональное использование водных ресурсов и достижение стабильного мелиоративного состояния почв рисовых полей с учетом комплексного подхода и рационального природопользования. В результате планирования и выполнения полевых исследований за многие годы сформировались рациональные организационно-методические подходы. Предлагаемые методы исследований разработаны на основе теории и практики в рисосеянии и базируются на глубоком знании физиологии растений риса, практического земледелия и законов экологии. Показанные схемы опытов обеспечивают высокую информативность результатов.

Рекомендованные методики предполагают применение современных технических средств измерений и средств обработки результатов наблюдений. В работе также приведены показательные примеры и результаты производственных экспериментов.

Практическое применение и выполнение рекомендаций обеспечит общий высокий научно-технический уровень производства и позволит осуществить переход к «точному земледелию» («precision farming») в рисоводстве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Земледелие / под ред. С.А.Воробьева. – М.: Агропромиздат, 1991. – 527 с.
2. Попов В.А. Математическое выражение закона лимитирующего фактора и его приложение к решению задач мелиоративного земледелия / В.А. Попов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1997. – № 2. – С. 30-34.
3. Попов В.А. Эколого-биологические аспекты программирования урожаев / В.А. Попов // Вестник РАСХН. – 2003. – № 1. – С. 35-37.
4. Коммонер Б. Замыкающийся круг / Б. Коммонер ; пер. с англ. – Л. : 1974. – 320 с.
5. Реймерс Н.Ф. Природопользование / Н.Ф. Реймерс. – М. : Мысль, 1990. – 648 с.
6. Растворова О.Г. Физика почв (практическое руководство) / О.Г. Растворова. – Л. : Изд. Ленинградского университета, 1983. – 163 с.
7. Попов В.А. Регулирование грунтовых вод на рисовых системах / В.А. Попов. – Краснодар: Кн.изд.,1984. – 196 с.
8. Попов В.А. Методы повышения эффективности рисовых оросительных систем: дисс. на соиск. уч. ст. д-ра. техн. наук / В.А. Попов. – М.: МГМИ, 1987. – 354 с.
9. Литвак Л.С. Полив затоплением чеков обеспечивает экономиию воды и труда / Л.С. Литвак // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 12. – С. 34-37.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
11. Результаты государственного сортоиспытания риса. – М. : Колос, 1977. – 111 с.
12. Попов В.А. Экологический и селекционно-технологический подход к созданию суперурожайного риса / В.А. Попов // Вестник РАСХН. – 2007. – № 3. – С. 35-37.
13. Методическое руководство по изучению водного режима почв и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур // Институт им. Докучаева. – М.: 1986. – 141 с.

Научное издание

Попов Вячеслав Алексеевич
Островский Николай Вячеславович

***МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОПЫТОВ
В РИСОВОДСТВЕ***

Монография

Авторская редакция

Подписано в печать . Формат 60×84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. – 3. Уч. изд. л. – 2,5.

Тираж 250 экз. Заказ № .

Оформление – *Ж.В. Кизюн*

Компьютерная верстка – *А.А. Кирсанов*

Типография Кубанского государственного
аграрного университета
350044, Краснодар, ул. Калинина, 13