МЕТОДЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОСУШИТЕЛЬНЫМ МЕЛИОРАЦИЯМ

ВСЕСОЮЗНАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА

ОТДЕЛЕНИЕ ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ

МЕТОДЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОСУШИТЕЛЬНЫМ МЕЛИОРАЦИЯМ

Под редакцией
доктора технических наук,
профессора Б. С. МАСЛОВА

МОСКВА «КОЛОС» 1983

УДК 631.62 : 633

Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/ Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина — М.: Колос, 1983, 319 с.

В сборнике рассмотрены вопросы совершенствования научно-методической работы по организации полевых научных исследований в области осушительных мелиораций. Описаны особенности применения отдельных методик полевых исследований в специфических природно-климатических условиях отдельных регионов. Дана сопоставительная оценка разных методов изучения отдельных параметров в полевых условиях. Предложены методы оценки типичности опытных участков, выбранных для проведения полевых исследований, и обоснования их размеров в зависимости от решаемых задач. Показаны способы установления степени достоверности определения различных природных характеристик и параметров функционирования осушительной системы.

Таблиц — 70, библиографий — 44 названия.

Одобрено и рекомендовано к печати бюро Отделения гидротехники и мелиорации ВАСХНИЛ.

Редакционная коллегия: доктор технических наук *Б. С. Маслов,* кандидат технических наук *В. Ф. Митин,* кандидат сельскохозяйственных наук *Х. Н. Стариков,* кандидат сельскохозяйственных наук *Г. С. Нестерова.*

М $\frac{3802030200-173}{035(01)-83}$ 44—83

© Издательство «Колос», 1983

УДК 631.43

ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ПОЛЕВЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОСУШЕНИЮ

Б. С. МАСЛОВ, доктор технических наук

Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР

Осушительные мелиорации с каждым годом получают все большее развитие в нашей стране. Они неотъемлемая составная часть программы дальнейшей интенсификации сельскохозяйственного производства. Значительно расширилась география мелиоративных работ: в последние годы осушение широко применяют в Западной Сибири, на Дальнем Востоке, в районах распространения многолетней мерзлоты Магаданской области и Якутской АССР. Одновременно с развитием мелиорации растут уровень использования осушаемых земель, объем работ по их освоению и окультуриванию. С ростом объемов мелиоративных работ резко возрос технический уровень систем, а вместе с ним и стоимость мелиорации каждого гектара. В этих условиях требования к качеству мелиоративных проектов повышенные. Проектирование рациональных осушительных систем и эффективных приемов освоения и агротехники на осушаемых землях возможно лишь на основе научных рекомендаций, полученных в конкретных условиях мелиоративного строительства. Это предъявляет все бóльшие требования к науке. Как отмечал С. Ф. Аверьянов (1), в современных условиях нужно не простое расширение научных работ, а проведение их на качественно более высоком уровне. При этом научные исследования должны значительно опережать производство, с тем чтобы своевременно, к моменту начала проектирования были разработаны четкие рекомендации по всему комплексу проектируемых мелиоративных мероприятий, технологии их осуществления и эксплуатации осушительных и осушительно-увлажнительных систем.

Природно-хозяйственное разнообразие осушаемых земель, изменчивость многих параметров осушаемых почв и пород во времени предопределяют важность и незаменимость полевых экспериментальных исследований. Только на основе натурных исследований с использованием системного анализа можно раскрыть сложные многофакторные закономерности, протекающие на осу-

шаемых землях. Натурные исследования служат основой для использования аналитических решений математических моделей, получивших широкое развитие в последние годы [2]. На важность полевых исследований в мелиоративной науке неоднократно обращал внимание А. Н. Костяков, который писал, что любое аналитическое решение должно быть обязательно сопоставлено с данными полевого опыта. Причем за опытом — решающее слово.

Полевыми исследованиями в осушительных мелиорациях решают задачи дальнейшего совершенствования способов осушения (дренажные трубы, защитно-фильтрующие материалы, процессы заохривания дрен, глубокое рыхление почв и др.) и увлажнения (конструкции увлажнителей, оптимальные расстояния между ними, глубины заложения и др.), режимов осушения (нормы осушения и увлажнения, сроки отвода избыточных вод и пр.), гидрологических расчетов (нормы дренажного стока, расчетные расходы и др.), приемов культуртехники и мелиоративного строительства, прогнозов водного режима почв в процессе эксплуатации гидромелиоративных систем и хозяйственного освоения территорий и многие другие. В конечном счете цель всех исследований — установление закономерностей формирования прежде всего водного и связанных с ним теплового, воздушного и питательного режимов почвы, прогноз изменений природных условий мелиорируемых земель для достижения оптимальных условий среды развития растений. В последние годы коллективы научно-исследовательских организаций и сельскохозяйственных вузов достигли определенных успехов в совершенствовании методов научных исследований водно-физических свойств почв, режима грунтовых вод, теплового баланса и др.

Для оценки водного режима получил распространение водно-балансовый метод, предопределяющий необходимость прямого измерения всех элементов водного баланса в полевых условиях. Входит в практику мелиоративных исследований уравнение баланса элементов питания растений. Опыт исследований показывает на особую целесообразность использования на осушаемых землях лизиметрического метода. Лизиметры позволяют без нарушения естественного сложения почвы изучить вертикальный водообмен почвы с грунтовыми водами (инфильтрация и испарение с поверхности грунтовых

вод), а также локально разность между притоком и оттоком грунтовых вод [3]. Существенное их достоинство — возможность изучить воздействие водного, питательного и других режимов почвы и зоны аэрации в целом на развитие сельскохозяйственных растений и их урожай, а также микробиологический режим почвы.

В последние годы предложены и широко используются различные конструкции лизиметров. Особого внимания заслуживают автоматизированные лизиметры ВСЕГИНГЕО и ВНИИ кормов. Однако единая методика лизиметрических наблюдений в осушительных мелиорациях до сих пор отсутствует. Недостаточно развиты исследования по учету неоднородности и пространственной изменчивости гидрогеологических параметров и водно-физических свойств почв и пород. Слабо используются прогрессивные методы математической обработки результатов исследований, отсутствуют единые формы документации первичных наблюдений и исследований. Не всегда обеспечена необходимая комплексность исследования мелиорируемой территории, еще нередко изучают отдельные частные вопросы в отрыве от их обусловливающих факторов, без постановки глубоких исследований всего комплекса подземные воды — почва — растение — атмосфера.

Анализ научных отчетов, кандидатских диссертаций и ознакомление с полевыми исследованиями в натуре показывают, что не всегда четко сформулирована цель исследований, нередко научное исследование не содержит обоснования рабочей гипотезы, что ведет к организации неполных наблюдений, в других же случаях — к ненужным наблюдениям. Планирование эксперимента со строгим обоснованием типичности выбираемого опытного участка далеко не всегда осуществляется.

При огромном числе объектов мелиорации, их территориальной разобщенности и малых размерах нецелесообразно, да и невозможно организовать наблюдательную сеть на каждом из них. Основное требование при выборе объектов — их репрезентативность (или типичность) для конкретного района развития мелиораций, определяющая актуальность исследований и возможность экстраполяции полученных материалов наблюдений по методу аналогии на другие территории. Объект исследований должен отражать типичное, постоянное и наиболее часто повторяющееся в районе сочетание

природных условий, определяющее режим грунтовых вод, методы и способы осушения земель. Типичность можно установить на основе анализа материалов по климату, геоморфологии, геологическому строению, гидрогеологическим условиям, литологии покровных и подстилающих отложений и почвенным условиям. Организации полевых работ должен предшествовать период сбора и анализа всех имеющихся материалов, итог которого — природно-мелиоративное районирование территории. Для выбора объекта и составления проекта размещения наблюдательной сети необходимо располагать как минимум следующими материалами:

— почвенно-геологической картой с элементами геоморфологии;

— гидрогеологическими разрезами через осушаемую территорию по характерным направлениям;

— геологической картой коренных отложений с изопьезами первого напорного водоносного горизонта;

— картой глубин залегания и гидроизогипс грунтовых вод.

Мельчайшая таксономическая единица, для которой устанавливают, например, региональные закономерности режима грунтовых вод, — мелиоративный район, характеризующийся общностью климатических, геоструктурных, геоморфологических, геолого-литологических, почвенных и гидрогеологических условий. Число выделенных гидрогеолого-мелиоративных районов определяет число объектов для региональной наблюдательной сети. Границами объектов исследований при наличии нескольких районов служат границы следующих по крупности таксономических единиц районирования. Выбор и создание ключевых объектов для стационарных исследований могут быть осуществлены на основе природно-мелиоративного районирования территории с использованием имеющихся материалов наблюдений, а нередко и с постановкой дополнительных исследований.

К сожалению, имеют место случаи, когда при организации режимных наблюдений характеристика объекта не содержит необходимых данных по гидрогеологическим условиям объекта, не оборудована наблюдательная сеть для определения размера подземного притока воды при взаимосвязи почвы с грунтовыми водами. Не всегда обоснованы оптимальные размеры опытного участка, следствие — излишние трудоемкие наблюдения.

Среди специалистов отсутствует единое мнение о размерах опытных вариантов и размещении их относительно дрен. Не всегда оцениваются исходные характеристики почвогрунтов в достаточном объеме, позволяющем установить законы их распределения и достоверность. Так, согласно выполненным исследованиям, на неосушенных низинных болотах коэффициент фильтрации торфа подчиняется логнормальному закону распределения. Для характеристики генетически однородного болота с точностью до 20 % и надежностью 95 % необходимы 60 измерений коэффициента фильтрации торфа [4]. Для одного и того же вида торфа повторность отбора проб на влажность для достижения одинаковой точности зависит от его влажности. Для достижения 10%-ной точности необходима 5-кратная повторность при весовой влажности менее 200 %, 4-кратная — при влажности 200...300 % и 2-кратная — при влажности более 450 %. При изучении водного баланса более высокая точность учета влажности излишня, так как ряд других элементов баланса (влагообмен с грунтовыми водами, испарение и др.) можно определять с меньшей точностью. Для всех горизонтов почвы повторность определения влажности принимают в 2 раза меньшей, чем для корнеобитаемого слоя. Не всегда дают необходимое обоснование часто́ты производства наблюдений за элементами водного режима почвы и другими показателями.

При изменяющихся метеорологических и гидрологических условиях, свойственных зоне размещения осушаемых земель, продолжительность наблюдений должна охватывать годы с разной обеспеченностью теплом и влагой, продолжительность периода наблюдений может составлять 12...15 лет. Частота наблюдений за элементами водного баланса требует необходимой методической проработки до постановки основных исследований. По данным автора, частота наблюдений за уровнями грунтовых вод для достижения средних месячных значений при расчете баланса с допустимой ошибкой 5 % должна быть весной 5...6 раз, летом и осенью достаточно измерять уровни 3...5 раз в месяц; с ошибкой 15 % — соответственно 3...4 и 2...3 раза в месяц [3].

Приведенные примеры свидетельствуют о необходимости планирования полевого эксперимента для дости-

жения поставленной цели, рассматривая опытный стационар как полевую природную модель больших размеров.

Заслуживают внимания вопросы документации данных полевых исследований (использование типовых журналов, форм и бланков с первичной обработкой материалов), метрологического и приборного обеспечения исследований, создания банка первичных данных в научных организациях и информационного обеспечения этими данными исследователей и др. Требуют неотложного решения вопросы создания в разных районах страны стационаров для многолетних наблюдений на современных мелиоративных системах, для организации мониторинга. По мнению автора, назрела необходимость в ближайшие годы составить и издать единое методическое руководство (методические указания) по проведению стационарных исследований, взяв за основу методические разработки ВНИИГиМ, ЛитНИИГиМ, СевНИИГиМ, БелНИИМиВХ и др. Оно позволит получать объективные сопоставимые данные в разных районах страны разными научными коллективами и специалистами, а также перейти постепенно к унификации методик и средств измерения.

Примерная структура указанного методического руководства по организации и проведению стационарных исследований по осушительным мелиорациям следующая.

В главе первой следовало бы осветить общие положения (задачи), направления и виды полевых и лабораторно-полевых стационарных исследований по совершенствованию режимов и способов осушения, конструкций осушительных и осушительно-увлажнительных систем, способов первичного освоения и окультуривания осушаемых земель.

В главе второй должны быть сформулированы основные требования, предъявляемые к опытным участкам. Эти требования определяют репрезентативность участка, целесообразность использования его в качестве стационара и возможность использования полученных на нем материалов на объектах-аналогах. Особое внимание необходимо обратить на оценку геоморфологических, геологических и гидрогеологических условий почв, причин заболачивания и типов водного питания участ-

ка, поскольку они определяют характер осушительной сети и в значительной мере режим осушения.

Глава третья посвящена организации опытных участков. В ней необходимо дать оценку типичности объекта: состав и объем изысканий для опытных участков, обоснование размеров участков и возможных вариантов в зависимости от решаемых задач и способов осушения; принципиальные схемы размещения опытных участков и вариантов осушительной сети.

Необходимо выделить в руководстве специальную (четвертую) главу по оценке гидрогеологических и инженерно-геологических условий и гидрогеологических параметров. Здесь должны быть освещены методы определения мощности водоносных горизонтов, коэффициента фильтрации почв и пород, водоотдачи и недостатка насыщения, уровнепроводности и пьезопроводности водоносных пластов, химизма грунтовых вод.

Самостоятельная (пятая) глава необходима по методике определения физико-химических, механических и агрохимических свойств почв и грунтов, в том числе гранулометрического, механического и агрегатного состава; плотности, плотности твердых частиц и пористости; высоты капиллярного поднятия; влагоемкости; влажности завядания; связи капиллярного потенциала с влажностью почвы; коэффициентов влаго- и теплопроводности, теплоемкости почвы; коэффициента впитывания; геотехнических свойств (модуль сдвига, сжатия, пластичность и пр.), осадки и сработки торфа; ботанического состава, степени разложения и зольности торфа; агрохимических свойств почвы, газового состава, окислительно-восстановительного потенциала и др.

Следующую, шестую главу следует посвятить изучению метеорологических условий на опытном стационаре. В ней приводят материалы по методике наблюдений за температурой, влажностью и давлением воздуха, ветровым режимом, атмосферными осадками, запасом воды в снеге, конденсацией влаги, испаряемостью и испарением, солнечной радиацией, промерзанием и оттаиванием почвы; ее температурой и тепловым балансом; химическим составом атмосферных осадков.

Методику изучения водного режима территории необходимо дать по отдельным водобалансовым ярусам — для поверхности почвы, зоны аэрации и подзем-

ным водам. Этому нужно посвятить три последующие главы (7...9).

Методика изучения режима поверхностных вод включает методы измерения расходов и уровней воды в водотоках и водоемах, поверхностного стока и испарения с водной поверхности, изменения запасов влаги на поверхности почвы (аккумуляция влаги) и изучения ледового режима водотоков и водоемов, химического состава поверхностных вод и водной эрозии. В главе, посвященной изучению водного режима и баланса влаги в почве и зоне аэрации, необходимо дать конструкции лизиметров, состав и методику лизиметрических наблюдений, методы определения инфильтрации воды в почву, испарения, транспирации и конденсации влаги, водообмена почвы с грунтовыми водами, влажности почвы, запасов влаги в зоне аэрации; расчетные методы влаго- и теплопереноса в зоне аэрации; химического состава почвенных вод и др. В главе девятой следует рассматривать вопрос изучения режима и баланса подземных вод. Она включает рекомендации по размещению сети наблюдательных скважин и пьезометров, методы определения притока и оттока грунтовых вод, водообмена грунтовых вод со смежными водоносными горизонтами, дренажного стока, изменения запасов грунтовых вод, изучения химического состава грунтовых и дренажных вод.

В самостоятельные главы следовало бы выделить вопросы методики исследований по окультуриванию почв, почвенно-мелиоративных и фенологических наблюдений (изучение культуртехники, агромелиоративных и агротехнических приемов, баланса органического вещества, агрохимических свойств почвы, баланса питательных веществ и др.), наблюдения за устойчивостью и надежностью осушительных систем (заиление дренажа, деформации каналов и других сооружений и др.), вопросы влияния осушительных систем на водный режим прилегающих земель, флору, фауну и пр. Методическое руководство будет неполным, если в нем отсутствуют рекомендации по обработке результатов полевых исследований. В самостоятельную главу следует выделять вопросы методики определения точности и необходимых повторностей, обоснования продолжительности расчетных периодов и частоты наблюдений, экстраполяции полученных значений по территории,

оценки точности воднобалансовых наблюдений и расчетов, а также математические методы обработки полученных результатов. Заключительные разделы руководства должны содержать материалы по документации опытных данных и каталог основных приборов и оборудования для исследований.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьянов С. Ф., Бердышев В. Д. Основные научные проблемы осушения земель. — Вестник с.-х. науки, 1969, № 1, с. 11...19. 2. Балаев Л. Г., Кочина П. Я., Марков Е. С. и др. Натурные исследования — основа технических решений и прогнозов мелиорации. — Гидротехника и мелиорация, 1978, № 1, с. 2...6. 3. Маслов Б. С. О частоте наблюдений за уровнями грунтовых вод на осушительных системах. — Экспресс-инф. ЦБНТИ, сер. 2, 1972, № 6, с. 7...13. 4. Маслов Б. С., Лысенок А. П. Рекомендации по определению водопроницаемости торфа. — Экспресс-инф. ЦБНТИ Минводхоза СССР, сер. 2, 1973, № 12, с. 11...18.

УДК 631.62.001.1

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ РАБОТА ЛитНИИГиМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПОЛЕВЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

П. Ю. БАЛЗАРЯВИЧЮС, кандидат сельскохозяйственных наук
А. Л. ЛУКЯНАС, кандидат технических наук

Литовский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

В принятом в 1976 г. Центральным Комитетом КПСС и Советом Министров СССР постановлении «О мерах по дальнейшему повышению эффективности сельскохозяйственной науки и укреплению ее связи с производством» наряду с другими задачами отмечена необходимость улучшения научно-методического руководства исследованиями, планирования и координации научно-исследовательских работ. Руководствуясь данным постановлением, ЛитНИИГиМ в целях повышения эффективности научных исследований уделяет этим вопросам особое внимание.

Институт координирует научные исследования по мелиорации и водному хозяйству, проводимые в Литовской ССР. Для этих целей при ЛитНИИГиМ создана

проблемная комиссия по гидротехнике и мелиорации. Она подчинена Республиканскому координационному совету сельскохозяйственных наук. В состав комиссии входят ведущие ученые ЛитНИИГиМ, Литовского научно-исследовательского института земледелия, институтов Академии наук Литовской ССР, Литовского научно-исследовательского геологоразведочного института, некоторых высших учебных заведений республики (Литовская сельскохозяйственная академия, Каунасский политехнический институт, Вильнюсский инженерно-строительный институт), а также ведущие специалисты Минводхоза и Минсельхоза Литовской ССР, Литгипроводхоза, Литовского республиканского управления по гидрометеорологии и контролю природной среды, Комитета по охране природы при Совете Министров Литовской ССР и др. Проблемная комиссия разрабатывает проекты сводных координационных планов научно-исследовательских работ и комплексных программ, контролирует их выполнение научно-исследовательскими, проектными и другими организациями, участвующими в решении проблемы, независимо от их ведомственной подчиненности, занимается вопросами внедрения в производство результатов законченных работ, развития экспериментально-производственных баз, обучения научных кадров и др.

По решению проблемной комиссии создано 5 методических комиссий: по исследованиям культуртехники, закрытого дренажа, польдерных систем, орошения, водных ресурсов. Их задача — детальное рассмотрение методики и программы научно-исследовательских работ, проводимых в научных и учебных заведениях республики, независимо от их ведомственной подчиненности. Методические комиссии состоят из опытных научных работников и производственников, которые периодически проверяют состояние исследований, соответствие намеченных программами и методиками работ действительности, выезжают на опытные участки, опытно-производственные системы, знакомятся с результатами. Программы-методики диссертационных работ детально рассматривают на заседаниях и методическом лектории, в которых участвуют научные сотрудники института, работающие в близком к теме диссертации направлении.

При планировании и координации научных исследований все большее внимание уделяется комплексности работ, избежанию мелкотемья, получению наиболее полных и конкретных результатов работ. Например, по хоздоговору с Республиканским институтом по проектированию водного хозяйства в текущем пятилетии ЛитНИИГим, Литовская сельскохозяйственная академия и Вильнюсский инженерно-строительный институт выполняют научно-исследовательскую работу по теме «Разработать рациональные способы осушения в сложных рельефных и гидрогеологических условиях». Программой работы предусмотрено провести необходимые теоретические и экспериментальные исследования путем математического и физического моделирования, проверить рекомендуемые способы и методы расчета на опытно-производственных системах и представить Литгипроводхозу общий отчет и руководство по определению параметров осушительной сети и технологии ее строительства.

Комплексностью исследований отличаются работы в области польдерных систем и систем машинного осушения. Вопросы осушения затапливаемых и подтапливаемых земель связаны с водными ресурсами и с их загрязнением, с водной и болотной фауной, с развитием рыбоводства, с прибрежными зонами водоприемников, пригодными для отдыха, и др. Институт привлекает к исследованиям специалистов разных отраслей, исследования проводит на одних и тех же объектах и в итоге готовит комплексные рекомендации, например при разработке конструкций осушительно-увлажнительных систем польдерного типа на затапливаемых пойменных землях и систем машинного осушения мелководий водохранилищ и подтопленных земель, а также приозерных земель. В исследованиях участвуют мелиораторы ЛитНИИГиМ, ботаники Института ботаники Академии наук Литовской ССР, зоологи Института зоологии и паразитологии Академии наук Литовской ССР, специалисты по очистке водоемов факультета гидромелиорации Литовской ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственной академии. На проектирование опытно-производственной системы на затопляемых озером Ленас Укмергского района заболоченных землях составлено задание. Заданием, кроме осушительно-увлажнительных мероприятий, предусмотрено восстанов-

ление уровня воды в озере посредством гидросооружения для создания подпора (шлюза), осаждение взвешенных наносов в специально оборудованных прудах и выпуск осветленной воды в озеро, аэрация воды при откачке. Предусмотрены также очистка заиленной части озера земснарядами и выявление пригодности озерного ила для удобрения сельскохозяйственных полей.

В конце девятой пятилетки ЛитНИИГиМ перешел к созданию модельных опытно-производственных систем, охватывающих бассейны небольших рек или озер. Опытно-производственные системы, кроме осушительных и оросительных мероприятий, должны комплексно решать оптимальные вопросы всего народного хозяйства, например сельского и рыбного хозяйств, а также энергетики и охраны природы. Непременным условием этих систем должно быть автоматическое управление водным режимом, интенсивное использование мелиорируемых земель на базе передовой агротехники. Такие системы построены или строят в Литовской ССР на польдерах Миния и Ругуляй Шилутского района, в бассейне озера Ленас Укмергского района и в бассейне р. Обялис Кедайнского района. На системах научные институты предусматривают провести и проводят целый комплекс исследований по определению параметров и конструкций осушительной сети и гидросооружений с учетом разных природно-хозяйственных условий, мелиоративной и экономической эффективности мероприятий, разрабатывают мероприятия, снижающие загрязнение водоприемников сбрасываемыми водами. В задачу исследований также входит определение влияния сбрасываемых вод на жизнедеятельность водной фауны водоприемников и на их зарастание, водного баланса всего бассейна и рационального использования внутренних водных ресурсов, рациональных форм эксплуатации мелиоративной системы и др.

Головной институт составляет и согласовывает со всеми исполнителями сводную программу и методику проведения научных исследований. Для обобщения опытных данных в разных республиках и регионах нашей страны и получения определенных выводов измерения следует проводить одинаковыми методами. Именно для таких целей и необходимы согласованные методики исследований.

Ввиду того что до настоящего времени единого общесоюзного издания по методике проведения полевых исследований в области осушительных мелиораций не было, ЛитНИИГиМ занят решением этого вопроса. Для проведения научно-исследовательских работ в 1976... 1980 гг. по польдерным системам в институте подготовлены «Основные положения методики полевых исследований и оформления опытного материала по системам польдерного осушения». Они были рассмотрены и одобрены ведущими учеными ВНИИГиМ, ГрузНИИГиМ, БелНИИМиВХ. Положение состоит из двух разделов: обследование польдерных систем (определение технико-экономических и эксплуатационных показателей) и организация исследований на польдерных системах (исследование насосных станций, стока на польдерах, осушительно-увлажнительных систем, суммарного водопотребления, вопросов охраны водных ресурсов). Кроме того, определены формы представления опытных материалов в отчетах, что облегчает работу головного института по составлению сводных отчетов и позволяет выявить существующие закономерности между мелиоративными, почвенными, рельефными и другими показателями конкретного объекта.

Подготовленные ЛитНИИГиМ «Основные положения методики полевых исследований и оформления опытного материала по системам польдерного осушения» могут быть подсобным материалом при разработке Методического руководства по организации и проведению полевых исследований по осушительным мелиорациям.

Много внимания в институте уделяют укреплению и развитию экспериментальной базы. В целях более оперативного строительства опытно-производственных мелиоративных систем, более широкой производственной проверки научных рекомендаций, ускорения внедрения научных разработок в мелиоративную практику в Литовской ССР созданы три опытно-показательных мелиоративных строительно-монтажных управления: Паневежское — по методам проведения культуртехнических работ на осушаемых землях, Расейнское — по технологии и организации строительства горизонтального дренажа на осушаемых землях, Шилутское — по эксплуатации осушительных систем. На данные организации, кроме основной производственной деятельности, возло-

жены и дополнительные функции: строительство в кратчайшие сроки и с высоким качеством опытных объектов, которые будут служить экспериментальной базой для научных исследований; создание необходимых условий (своевременно обеспечить техникой, материалами, рабочей силой и др.) для испытания экспериментальных технологических процессов, новых форм организации производства работ, новых методов управления строительством осушительных систем; проведение широкой производственной проверки рекомендованных учеными новых конструктивных решений осушительных систем, новых технологий.

Для регистрации метеорологических элементов (осадки, температура воздуха и почвы, снеговой покров и др.), основных элементов водного баланса (дренажный и поверхностный сток, суммарное испарение, влагозапасы почвы), динамики уровней почвенно-грунтовых вод и др. в институте применяют единые полевые журналы.

УДК 631.626.2.001.4

К ВОПРОСУ МЕТОДИКИ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА

А. И. БАЛЬЧЮНАС, кандидат сельскохозяйственных наук

Литовский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

Работы СССР и зарубежных стран в области полевых исследований дренажа значительно расширились в последние годы. Однако до сих пор в этой области нет строгой общепринятой методики.

По сравнению с земледельческими опытами полевые исследования дренажа сложны для решения разнообразных вопросов. Методика полевых исследований, существующая в настоящее время в области земледелия (в опытах удобрения, селекции и др.), хорошо отработана и не вызывает сомнений. Площадь опытных делянок небольшая, что позволяет на небольшом опытном участке разместить определенное число вариантов, соблюдая необходимое число повторностей. На таких опытных участках удобно проводить исследования и соблюдать требования, чтобы почвенные и прочие условия

для отдельных вариантов опыта были наиболее близкими. Опытные делянки в поле во избежание систематических ошибок размещают в установленном порядке. Число повторностей обычно составляет четыре (не менее трех), при этом можно применить математические методы обработки данных исследований и убедиться в их достоверности.

Рекомендовано и в полевых исследованиях дренажа руководствоваться принципами, принятыми при проведении полевых опытов в земледелии. Но специфика полевых опытов дренажа не позволяет применять их полностью. Полевые опыты дренажа требуют значительно большей площади, чем земледельческие. Возникает ряд вопросов: какую схему принять для мелиоративных опытов, как избежать влияния варьирования физических и химических свойств, гидрологических и других условий почвы, каким должен быть размер площади элементарной опытной системы, сколько необходимо повторностей и т. д. Иначе говоря, как получить достоверные данные мелиоративного полевого опыта и что принять за главные критерии для оценки опытных вариантов. В области осушительных мелиораций можно выделить три принципиально отличающиеся схемы полевых опытов.

Первая схема. Члены опыта расположены в несколько рядов по принципу земледельческих опытов. Они могут быть оформлены как обособленные элементарные дренажные системы с измерением дренажного стока или без него, в зависимости от поставленного вопроса, или просто как делянки опыта с различными параметрами дренажа или другими мелиоративными мероприятиями. Число повторностей обычно 3...4. Отдельные члены опыта находятся в сотнях метров друг от друга, и полученные на них данные ввиду возможного различия почвенных, гидрологических и прочих местных условий могут быть несопоставимы, так как различие факторов на результаты исследований может повлиять больше, чем исследуемые мероприятия. Поэтому исследователи часто уменьшают площадь опытного участка, сокращая до минимума (до одного междудренья) размеры каждого члена опыта. Нередко (например, при исследовании характеристик дренажного стока) возникает дилемма, какие размеры опытных участков лучше: уменьшенные — резко повышают влияние мест-

ных и случайных факторов, а большие — могут вызвать несопоставимость полученных данных.

Вторая схема. Чтобы уменьшить площадь, занимаемую опытным участком, и тем самым уменьшить различие почвенных, гидрогеологических и других условий, часто применяют упрощенную схему мелиоративных опытов. Опытные системы (члены опыта) строят без повторностей, размещая на каждой по нескольку точек исследования для определения необходимых факторов и по нескольку делянок для определения урожайности, которые считают повторностями. Дренажный сток, если его измеряют, в таких случаях повторностей не имеет. Его данные, особенно при кратковременных исследованиях, обычно нельзя использовать в качестве объективного количественного показателя для оценки исследуемых мероприятий. Объективность всех данных исследования в этом случае полностью зависит от идентичности и объективности оценки условий на всех членах опыта. Но абсолютно идентичных условий в природе не существует, поэтому отсутствие повторностей опыта может привести к ошибочным выводам.

Третья схема. Когда главным или единственным критерием для оценки опытных вариантов служит дренажный сток, применяют единичные дрены, расположенные в одну полосу с 4...6 повторностями. Такая схема удобна тем, что на сравнительно небольшой площади можно расположить большее число вариантов и повторностей. Иногда применяют группы единичных дрен, расположенные в одну или две полосы. В таких случаях можно исследовать не только дренажный сток, но и другие факторы, что приближает расположение исследуемых вариантов (при нескольких полосах) к первой схеме.

В успехе полевых опытов решающую роль играет правильный выбор опытного участка и принципиальной схемы опыта. Этот вопрос труден и сложен. Очень часто идентичный по внешним признакам участок после более тщательного изучения оказывается неоднородным по некоторым показателям, но еще хуже, когда это обнаружено только после заложения опытов и проведения исследований.

В полевых мелиоративных опытах необходимо соблюдать идентичность почвенных, гидрогеологических, метеорологических условий, агрофона, рельефа, распо-

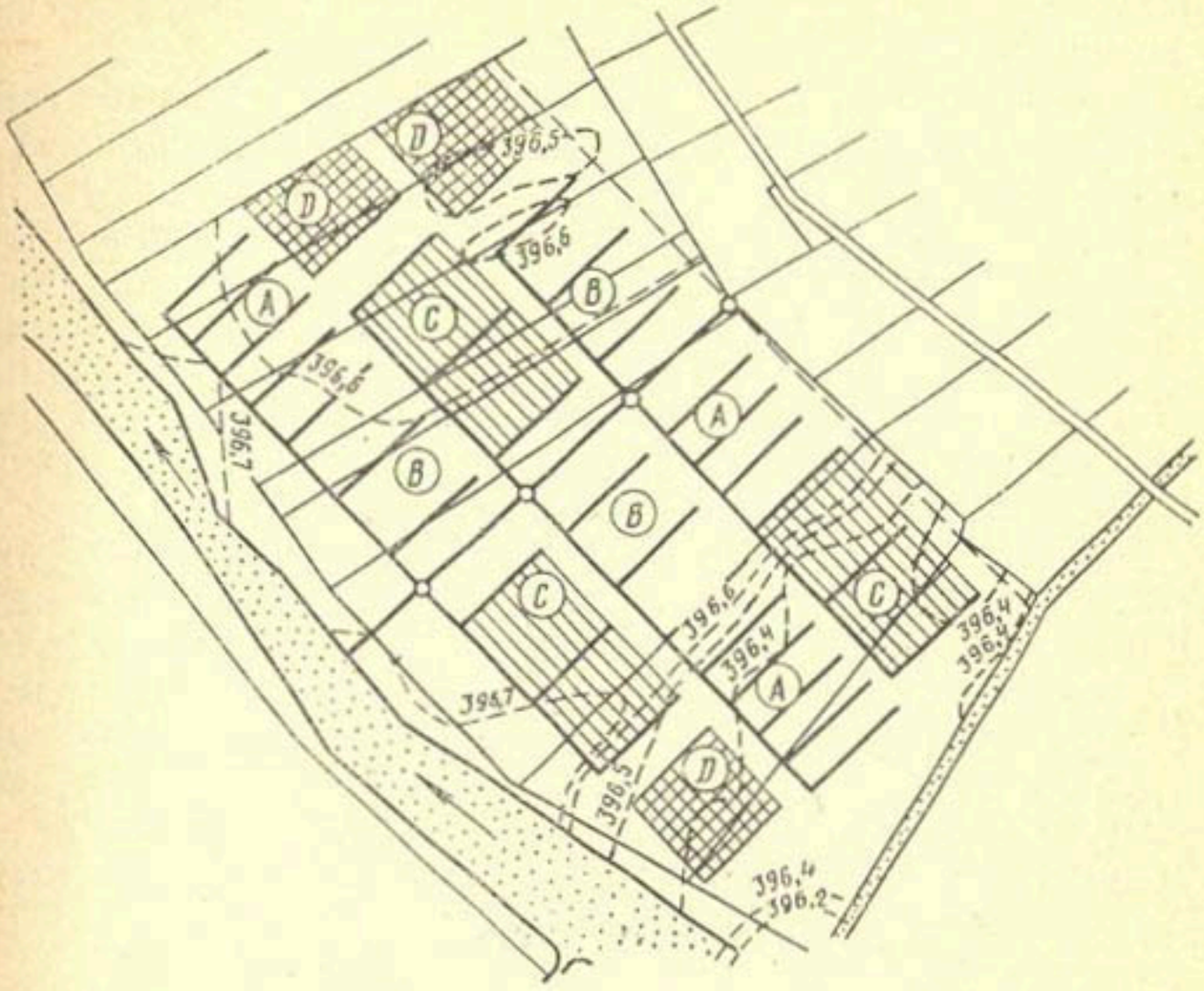


Рис. 1. Схема опытного участка Хехст в Австрии:
А — расстояния между дренами 16 м; *В* — расстояния между дренами 30 м; *С* — расстояния между дренами 40 м+рыхление; *Д* — рыхление без дренажа.

ложения сравниваемых вариантов по отношению к отметкам поверхности земли и др.

Примером расположения опыта по описанной первой схеме служит опытный участок Хёхст в Австрии, где исследовали четыре варианта мелиоративных мероприятий с тремя повторностями (рис. 1). Урожайность сельскохозяйственных культур — один из главных критериев определения эффективности дренажа с различными параметрами и рыхления. По этой схеме опытов урожайность трав, особенно в севообороте «Луга 2», не отражает объективно влияние расстояний между дренами, так как полосы севооборота расположены вдоль коллекторов (рис. 2).

Примером расположения опытов дренажа по второй схеме служит опытный участок Пургшталль в Австрии, где исследовали три варианта дренажа с различными расстояниями между дренами (рис. 3). К недостаткам схемы этого участка следует отнести расположение

опытных систем на различных отметках поверхности земли.

На опытном участке Вёрден в ФРГ исследовали три варианта междренных расстояний. Группы единичных дрен, расположенные в одну полосу (третья схема), показаны на рисунке 4. Повторность групп (членов опыта) — четыре. Дренажный сток в каждой группе поступает из двух дрен. Таким образом, дренажный сток для каждого варианта растояния измеряют из восьми дрен, то есть с восьмикратной повторностью. Но на рисунке не показаны горизонтали, поэтому об идентичности рельефа судить невозможно.

«Шведская» схема — оригинальная схема полевых опытов для определения расстояний между дренами. Варианты опыта располагают согласно с третьей или первой схемой. Обычно исследуют два варианта расстояний: базовое и двукратно увеличенное. Главный критерий оценки — урожай, как конечная цель мелиорации. Урожайность определяют на различных расстояниях от дрен. Для этого полосу базового расстоя-

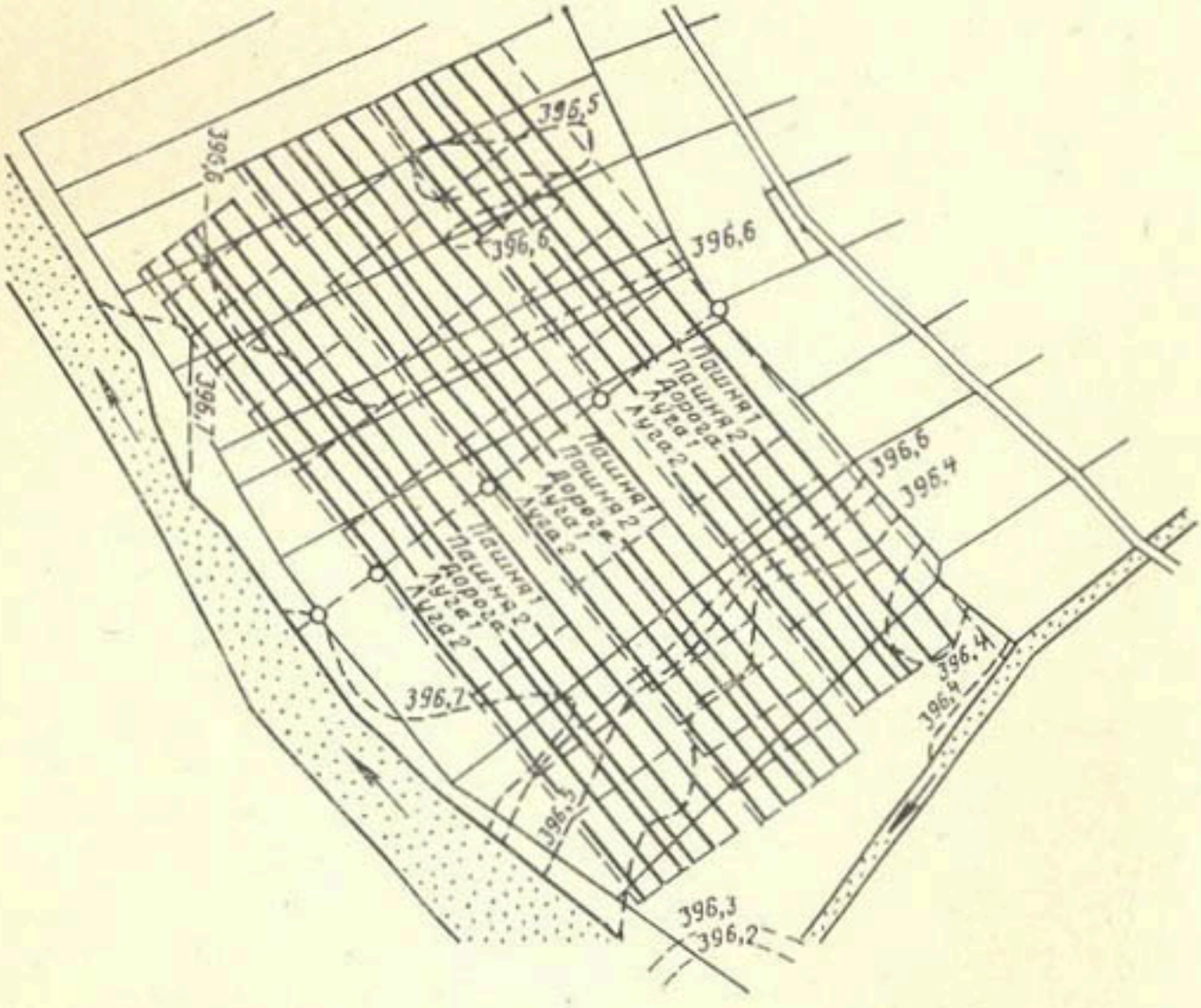


Рис. 2. Схема сельскохозяйственного использования опытного участка Хехст.

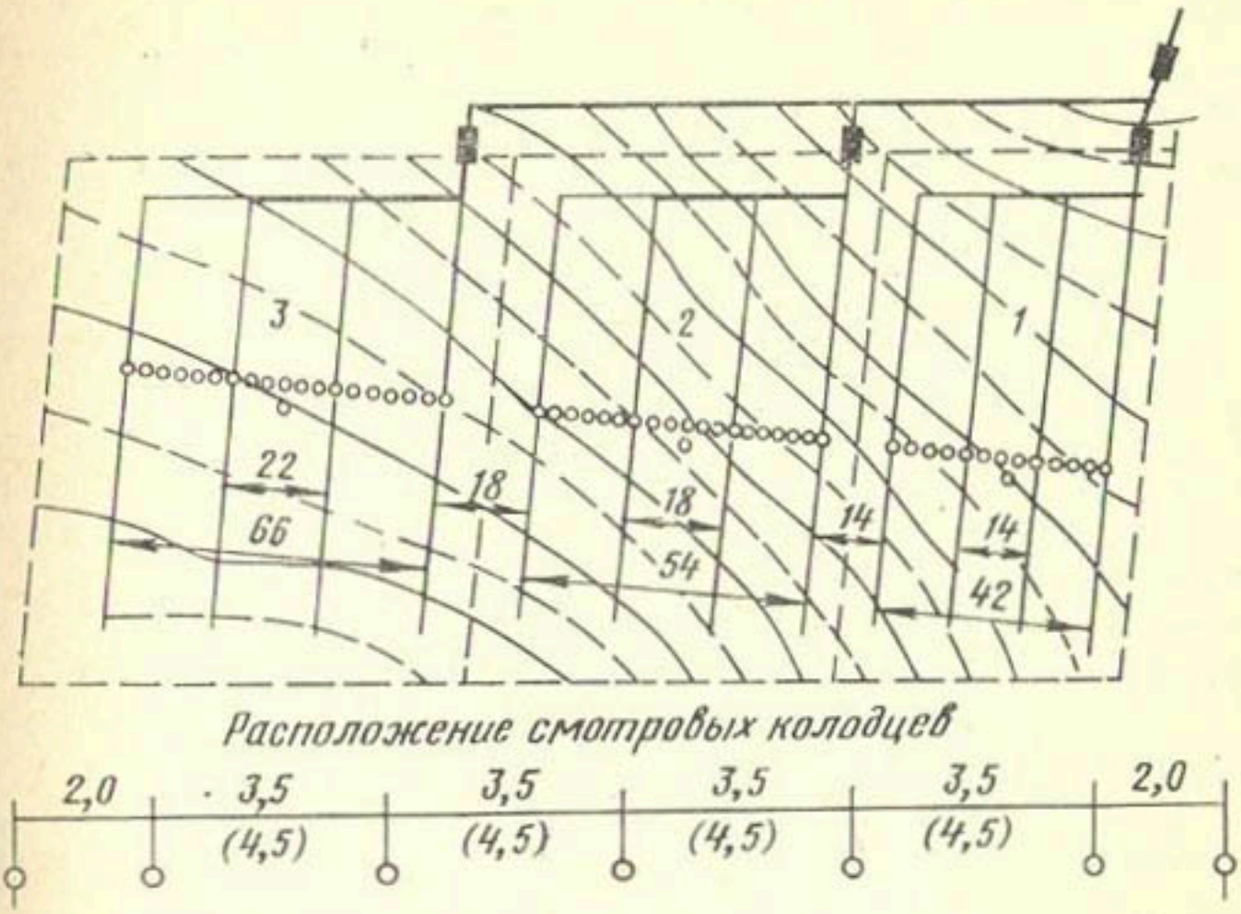


Рис. 3. Схема опытного участка Пургшталль в Австрии.

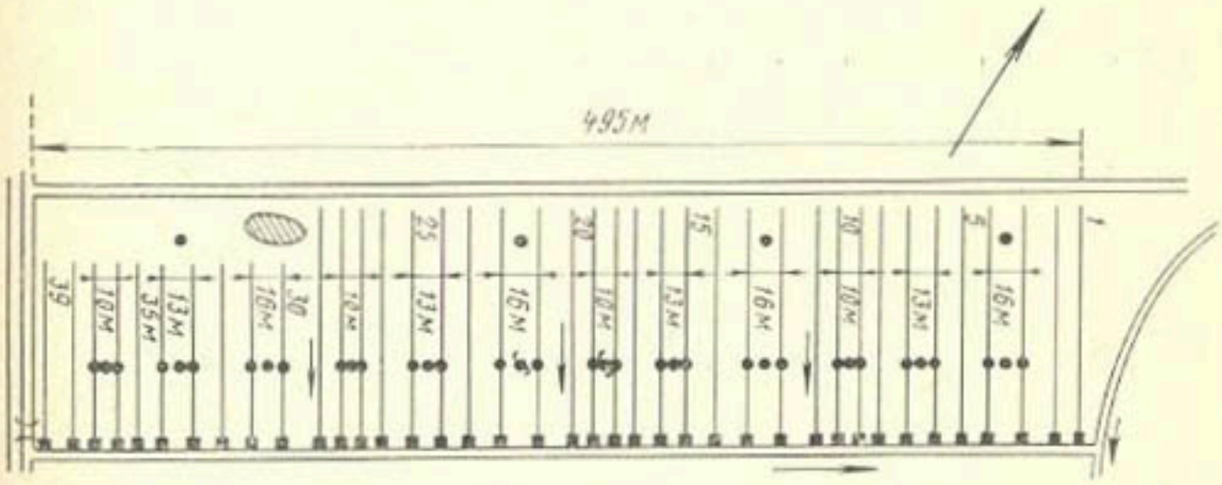


Рис. 4. Схема опытного участка Верден в ФРГ.

ния между дренами разбивают на 10 делянок. В каждом междудренье получают по две делянки на пяти различных расстояниях от дрен. При расстоянии, увеличенном вдвое, соответственно получают 20 делянок на 10 различных расстояниях от дрен, при этом первые пять пар делянок находятся на тех же самых расстояниях, что и в базовом варианте (рис. 5). Число повторностей междудрений обычно три, но бывает и другое, а число делянок на одинаковом расстоянии от дрен в каждом варианте в два раза больше. Таким образом получают большое число повторностей, что способствует получению достоверных данных. По этой единой схеме в десяти физико-географических районах и на нескольких разновидностях переувлажненных почв в Швеции заложено около 100 опытов. Это позволяет получить сопоставимые данные в государственном масштабе, что является положительной чертой опытов.

В нашей стране, где полевые исследования дренажа и его сочетаний с другими мероприятиями проводятся в широком масштабе, полностью или частично находят применение все вышеуказанные схемы.

Площадь опытной системы и схему опыта необходимо подобрать в зависимости от постановки вопроса и существующих возможностей. Если одним из главных показателей служит режим дренажного стока, то лучше, когда элементарные системы (члены опыта) бóльших размеров, при соблюдении 3...4-кратной по-

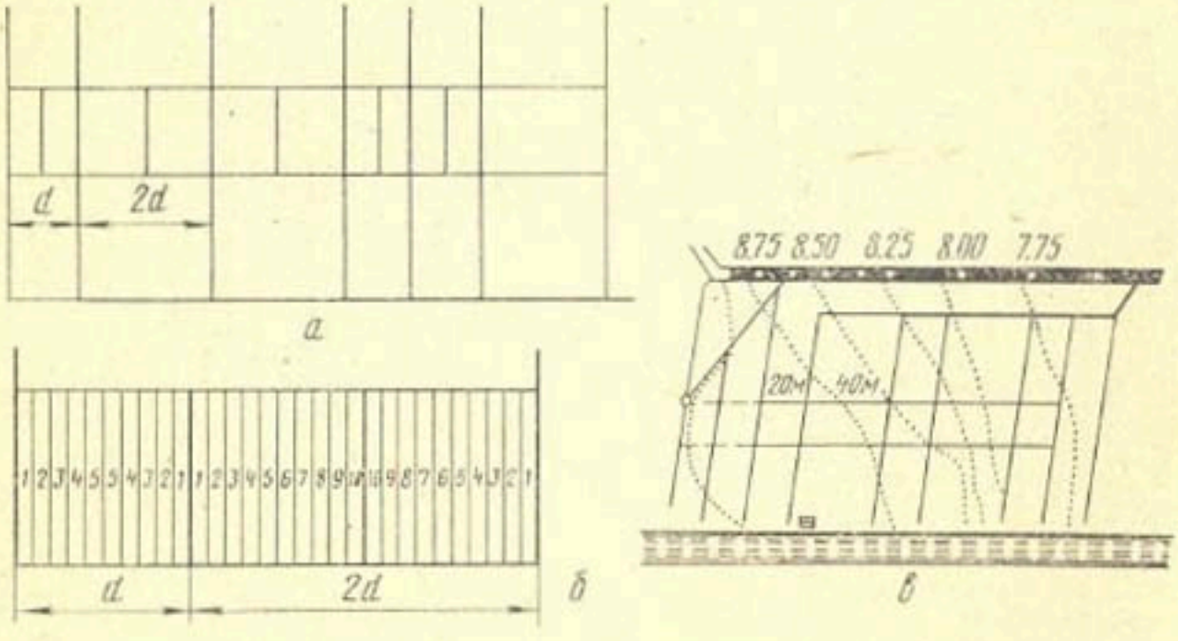


Рис. 5. Принципиальная схема опытов и опытный участок Унбыи в Швеции:

а — опытная полоса; *б* — детальный план; *в*—опытный участок «Унбыи».

вторности. Когда пределы участка ограничены и невозможно разместить желаемое число опытных вариантов и их повторностей, предпочтение нужно отдать числу повторностей, то есть уменьшить число вариантов. Недопустимо большое число вариантов размещать без повторностей (по второй схеме) на площади, занимающей несколько десятков гектаров. Данные, полученные в таких случаях на вариантах, отдаленных друг от друга на несколько сотен метров, обычно несопоставимы и могут привести к неправильным выводам. Поэтому упрощенная схема опытов допустима только для небольшого числа вариантов, расположенных в непосредственной близости друг от друга. При исследовании большого числа вариантов, которые невозможно из-за необходимого числа повторностей разместить на одном опытном участке, следует расчленить опыты по отдельным вопросам на несколько опытов и заложить их на отдельных участках, соблюдая достаточное число повторностей.

Третью схему опытов — единичные дрены следовало бы применять в основном для определения преимуществ различных конструкций дрен по дренажному стоку. Единичные дрены при исследовании небольшого числа вариантов позволяют провести опыт с большим числом (четыре и более) повторностей и получить достоверный ответ при минимальных затратах на исследование. Группы единичных дрен, как указывалось, можно использовать как элементарные системы для различных исследований.

Хорошие результаты полевых опытов получают при соблюдении всех правил проведения опыта, когда его проведением заняты специальные бригады, располагающие всеми необходимыми средствами.

Конечно, проблем значительно больше и на все возникающие вопросы не может быть одного ответа. К решению разных проблем нужно подходить творчески, соблюдать правила, обеспечивающие достоверность получаемых результатов.

УДК 631.626.2

ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСУШИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ДРЕНАЖА

Ц. Н. ШКИНКИС, доктор технических наук, профессор

Всесоюзный научно-исследовательский институт по применению полимерных материалов в мелиорации и водном хозяйстве

Интенсификация сельскохозяйственного производства предъявляет повышенные требования к дренированию переувлажненных почв.

Исследования осушительного действия дренажа в лабораторных условиях или при помощи математических моделей с учетом всех действующих в природе факторов связаны с рядом трудностей. Значительно лучших результатов достигают исследованиями на дренажных системах, построенных в натуре. При достаточном числе вариантов дренажа, заложенного в различных почвах, можно получить основные показатели интенсивности его действия, необходимые для определения расчетной густоты дренажной сети, глубины закладки дрен, расчетного дренажного стока и других параметров. Полевыми исследованиями различных видов и конструкций дренажа можно также проверить теоретические предпосылки и результаты, полученные в лабораторных условиях. Поэтому полевые исследования, позволяющие наиболее полно оценить интенсивность и эффективность осушительного действия, получают все большее распространение. Однако полученные разными авторами результаты часто несопоставимы, так как различна методика проведения исследований. Чтобы устранить это, на основе более двадцатилетнего опыта ВНИИ по применению полимерных материалов в мелиорации и водном хозяйстве разработал основные положения методики полевых исследований действия дренажа, согласно которым в Латвии заложено несколько сотен опытных дренажных систем. На системах ведут круглогодовые наблюдения за дренажным стоком, режимом уровней грунтовых вод, влажностью почвы и др. Данная методика согласована также со специалистами ГДР и США. В настоящее время по ней в рамках научно-технического сотрудничества институт ВНИИ-

водполимер и немецкие, а также американские специалисты совместно исследуют осушительное действие различных видов и конструкций пластмассового и гончарного дренажа, заложенного на территории Латвии.

Успешное проведение полевых исследований определяется в основном правильным выбором опытного объекта. Необходим ровный рельеф с уклоном поверхности земли $i \leqslant 1$ % без заметного микрорельефа, глубина бессточных микропонижений не более 0,2 м, одинаковая экспозиция (если специально не изучают влияние ее на интенсивность действия дренажа). Сравниваемые опытные варианты располагают на одном элементе рельефа. Геологическое строение и тип почвы, а также гидрологические условия в пределах объекта должны быть идентичные, почвы однородные на глубину не менее 2 м и примерно одинаковые водно-физические свойства. Не допускается различие коэффициента фильтрации более чем в 7 раз для слабопроницаемых почв ($k < 0{,}1$ м/сут), в 5 раз для почв средней водопроницаемости ($k = 0{,}1 \ldots 1$ м/сут) и в 2 раза для хорошо проницаемых ($k > 1$ м/сут). Рекомендуемый тип водного питания — атмосферный. Необходимо по возможности минимальное расстояние от опытного объекта до ближайшей метеостанции или метеопоста. В пределах объекта должны быть одинаковые вид использования земель и агротехнические условия (почвообработка, удобрения и их количество и др.). Бесподпорный отвод воды из дрен и измерение дренажного стока в любой период года возложены на проводящую и ограждающую сеть, а защита опытных систем от притока поверхностных вод со стороны — на ограждающую (контурную).

На объекте опытного дренажа необходимо определять следующие показатели водно-физических свойств минеральных почв: плотность, порозность, коэффициент фильтрации (в полевых условиях методом восстановления уровня воды в скважине), коэффициент водоотдачи, полную и наименьшую влагоемкость, влажность устойчивого завядания, механический и агрегатный состав. Для торфяных почв определяют все, за исключением последнего, перечисленные выше показатели и дополнительно — ботанический состав, степень разложения и зольность торфа. Учитывая осад-

ку и уплотнение торфяной залежи при осушении, значение коэффициента фильтрации желательно знать до строительства дренажа, через 3 мес после его завершения и далее — один раз в год. Для всех видов почв нужно знать основные агротехнические свойства: содержание подвижных форм фосфора и калия, гумуса, двух- и трехвалентного железа в почве и грунтовой воде (в ожелезненных почвах), а также значение pH.

Основные принципы устройства опытных дренажных систем (вариантов) для изучения интенсивности осушительного действия дренажа следующие.

Дренажные системы — небольшие, водосборная площадь 0,8...1,5 га. Форма систем-вариантов — близкая к квадрату или прямоугольнику (соотношение сторон 3:2). В одной системе необходимы 4...9 осушительных дрен (в зависимости от расстояния между ними) длиной 100...150 м. Сравниваемые варианты на опытном поле размещают по возможности ближе друг к другу. Число опытных вариантов зависит от задач исследований. Оно может быть уменьшено из-за размеров опытного поля или отсутствия на достаточно большой площади одинаковых природных условий. Повторность каждого варианта дренажа — по возможности 2...4-кратная. Опытные системы (варианты) необходимо со всех сторон изолировать от притока воды с соседнего варианта или внешнего водосбора контурными дренами, которые размещают от крайней дрены опытной системы на расстоянии, равном расстоянию между дренами в ней. Для устройства контурных дрен вокруг всех опытных дренажных систем нужно использовать одинаковые эталонные дренажные трубы (полимерные или гончарные такого же диаметра и водоприемной поверхности). Глубина укладки контурных дрен должна соответствовать глубине закладки опытного дренажа. Пример размещения систем-вариантов дренажа, заложенных на тяжелых почвах Латвии, приведен на рисунке 1.

Опыты с применением одиночных дрен допускаются лишь для изучения конструктивных и эксплуатационных особенностей (интенсивности заиления, физико-механических характеристик дренажных труб и др.) или при недостаточном числе исследуемых труб. Повторность каждого варианта — не менее четырех.

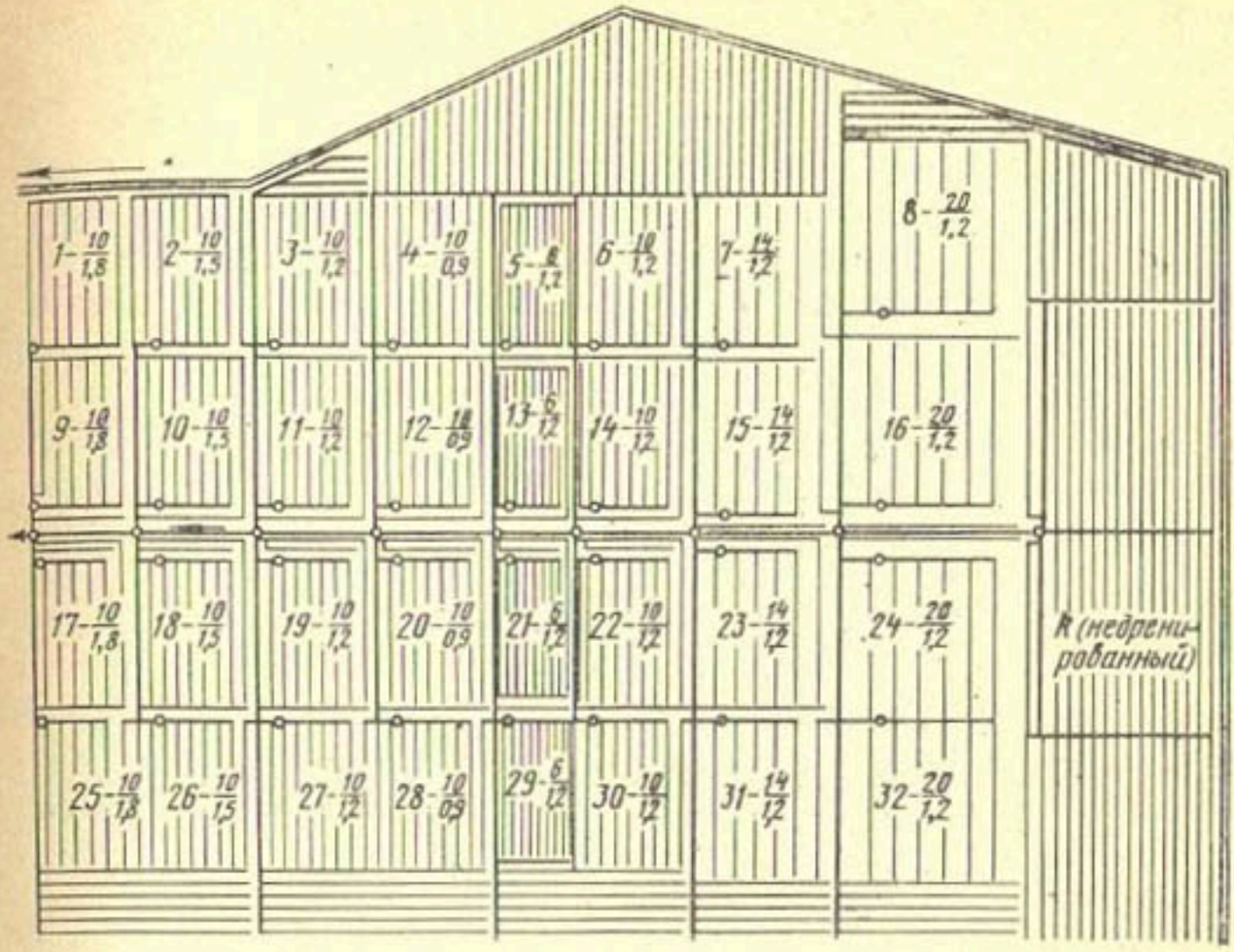


Рис. 1. Системы (варианты) опытного дренажа, заложенные на глинистых почвах на объекте «Силлауки» колхоза «Драудзиба Талсинского района Латвийской ССР:

в числителе — расстояние между дренами, м; в знаменателе — глубина закладки дрен, м.

Строят опытные системы (варианты) в сухое время года, без наличия воды в дренажной траншее.

Для определения интенсивности и эффективности осушительного действия различных вариантов дренажа необходимо учитывать следующие основные показатели: дренажный сток, глубину залегания уровня грунтовых вод, влажность почвы, урожай возделываемых сельскохозяйственных культур, эксплуатационное состояние (виды повреждений, заиление и др.).

Дренажный сток измеряют водосливом, оборудованным лимнеграфом, опрокидным измерителем с механическим отсчетом, водным счетчиком или объемным способом (с помощью мерного сосуда и секундомера). Измерения должны быть систематическими, круглогодовыми. Для установления измерительного оборудования или проведения измерений необходимо строительство специальных колодцев (железобетонных диаметром 1 м и более). При объемном способе разница вы-

сотных отметок между входящей в колодец и отводящей коллекторными трубами — не менее 0,5 м. При автоматическом измерении эта разница несколько больше (в зависимости от конструкции измерительной аппаратуры). На водосливах перекидными измерительными и водными счетчиками сток необходимо измерять непрерывно. Объемным способом измерение необходимо проводить ежедневно 1...2 раза в сутки, а во время пика дренажного паводкового стока — 3 раза и более в сутки в зависимости от интенсивности действия дренажа, при низком меженном стоке [модуль меньше 0,05 л/(с·га)] — через 1...2 дня. Каждое измерение повторяют дважды. Не допускается различие отсчетов времени более ±0,3 с. При меженном стоке, когда время заполнения наименьшего мерного сосуда превышает 2 мин, разрешено измерение без повторностей. Если время заполнения мерного сосуда меньше 20 с, следует применять сосуд большего объема. Один раз за сутки желательно измерить температуру дренажных вод.

По опыту ВНИИводполимер, более точные данные по дренажному стоку во время паводков получены при помощи водослива и самописца уровня (рис. 2), однако при меженном стоке лучших результатов достигают при использовании объемного способа. Дренажный сток вычисляют и обобщают по следующим показателям: модулям, объему (слой) по месяцам и годам, коэффициенту, календарным графикам и кривым обеспеченности модулей.

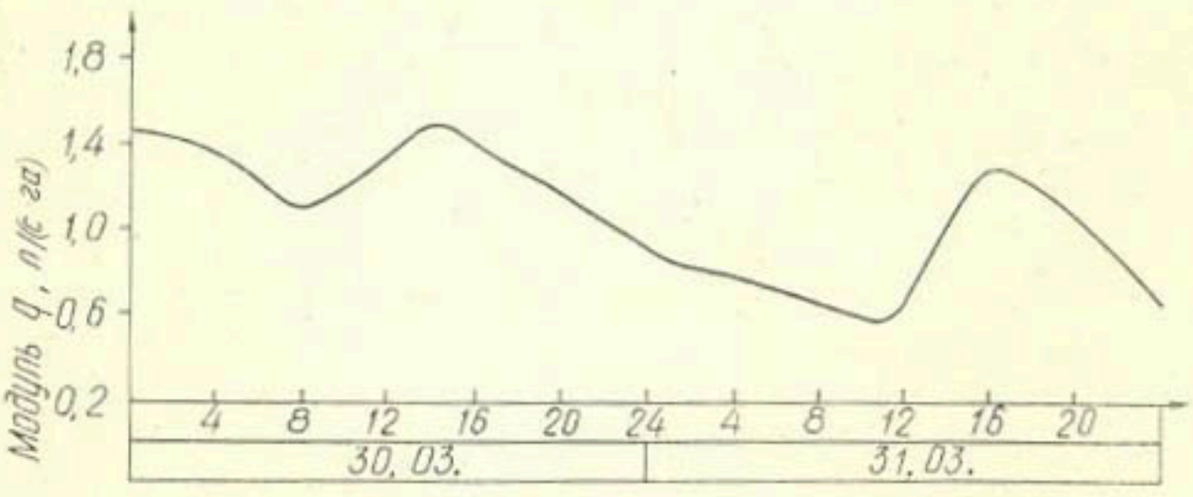


Рис. 2. Календарный график дренажного стока, зарегистрированный самописцем уровня «Валдай» в системе опытного пластмассового дренажа, заложенного на объекте «Бауска» Бауского района.

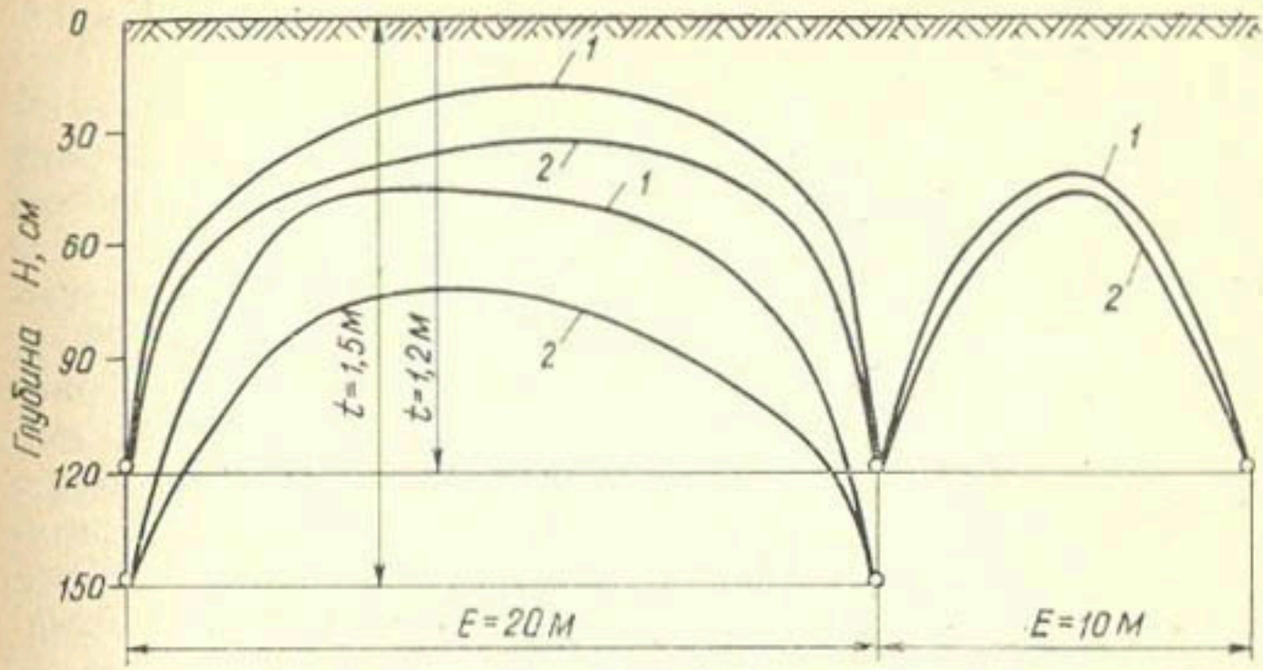


Рис. 3. Характерные кривые депрессии уровней грунтовых вод на тяжелых слабопроницаемых почвах ($k=2\ldots16$ см/сут) в системах глубокого (1,5 м) и среднеглубокого (1,2 м) дренажа при междренном расстоянии 20 и 10 м на опытном объекте «Дегумниеки» совхоза «Айвиекстe» Мадонского района.

Уровень грунтовых вод измеряют в наблюдательных (смотровых) скважинах или почвенных пьезометрах. Скважины размещают (в зависимости от задачи исследований) на середине участка или в створах (по 5...9) между дренами (симметрично относительно дрен, но на разных расстояниях друг от друга). Первую скважину располагают непосредственно у дрены, вторую — на расстоянии 1 м (независимо от расстояний между дренами и числа скважин в створе), третью, четвертую и пятую — примерно на расстояниях $^1/_8\ldots{}^1/_7\ E$, $^1/_4\ E$ и $^1/_2\ E$ соответственно (при наличии десяти скважин в створе) или $^1/_4\ E$ и $^1/_2\ E$ (при наличии семи скважин в створе), где E — расстояние между дренами. Такое размещение позволяет более точно определить режим уровней грунтовых вод в междренной полосе и форму кривой депрессии уровней (рис. 3). Створы должны быть расположены на расстоянии примерно $^2/_3\ l$ от перфорированного коллектора опытной системы или $^1/_2\ l$ от неперфорированного (l — длина дрены). Допускается устройство створов на расстоянии $^1/_2\ l$ от перфорированного коллектора, когда значение $l>150$ м.

При выборе места для размещения отдельных скважин или створов особое внимание надо обращать на

микрорельеф: они должны быть расположены в зоне, где нет накопления поверхностных вод во время снеготаяния или дождей. В скважинах устанавливают асбестоцементные, пластмассовые или металлические трубы внутренним диаметром 5...10 см. Нижнюю часть трубы перфорируют, верхняя не имеет перфорации на расстоянии не менее 50 см от поверхности земли. Высота надземной части скважины обычно 40... 60 см, в зависимости от ожидаемой толщины снегового покрова. Сверху ее необходимо закрывать крышкой. На глубине 40 см от поверхности земли вокруг трубы делают экран из утрамбованной глины для предотвращения проникновения поверхностных и из пахотного слоя вод. Смотровые скважины заглубляют как минимум на 0,5 м ниже дрен.

Почвенные пьезометры размещают у самой дренажной трубы или над ней по длине осушительной дрены или коллектора, а также в створах между дренами на различной глубине (в зависимости от целей исследований). Нижние водоприемные концы почвенных пьезометров должны быть размещены на всех генетических горизонтах почвенного профиля, а также на уровне дрены и на 0,5 м глубже.

Глубину уровней грунтовых вод измеряют непрерывно (самописцами, при помощи водомерной рейки, поплавка или других приборов, обеспечивающих точность измерения $\pm 0{,}5$ см) и одновременно с измерением дренажного стока, а при максимальных расходах — 2 раза в сутки. Измеряют уровни в пьезометрах для составления гидродинамических сеток в характерные периоды года, то есть во время весенних паводков, в период осенних затяжных дождей, а также затяжных оттепелей зимой. Обобщают результаты наблюдений по следующим показателям: глубине залегания от поверхности земли и над дреной, календарным графикам, кривым продолжительности (обеспеченности) залегания высоких уровней стояния грунтовых вод (рис. 4).

Влажность почвы определяют гамма-влагомерами или весовым способом, то есть путем отбора образцов с последующей сушкой при температуре 105 °С. Образцы отбирают между дренами (посредине) по генетическим горизонтам верхнего метрового слоя почвы с 4-кратной повторностью не менее чем в четырех мес-

тах по вертикали. Влажности почвы определяют круглый год один раз в декаду, за исключением зимнего периода, зимой — 2 раза в месяц. Для более полного анализа миграции влаги целесообразно проводить тензометрические измерения потенциала почвенной влаги.

Урожай сельскохозяйственных культур учитывают валовым способом или по делянкам площадью 100 м^2 в 4-кратной повторности.

Эксплуатационное состояние (сохранность труб, интенсивность механического, химического и биологического заиления, состояние защитного фильтрующего материала) опытного гончарного и пластмассового дренажа определяют не реже одного раза в год. Чтобы узнать состояние дренажа на опытных полях, ежегодно осуществляют раскопки дрен. Оценка сохранности труб (пластмассовых) включает определение деформации поперечного сечения и состояния водоприемных отверстий (размер, наличие железистых и других отложений). Состояние защитно-фильтрующего материала характеризуют степень заиления и глубина проникновения частиц грунта, повреждение волокон, изменение коэффициента фильтрации (исследуют в лабораторных и полевых условиях).

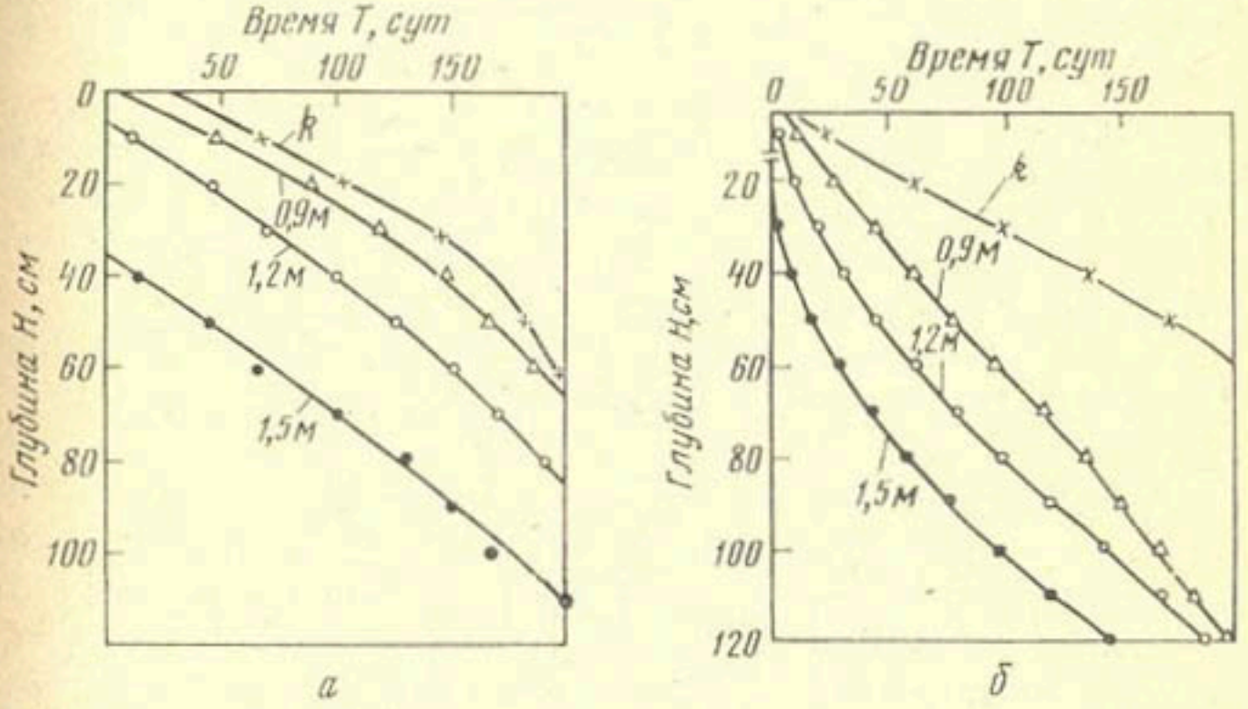


Рис. 4. Кривые продолжительности (обеспеченности) стояния уровней грунтовых вод на суглинистых почвах в системах глубокого (1,5 м), среднеглубокого (1,2 м), мелкого (0,9 м) дренажа и на контрольном (недренированном) участке (опытный объект «Римейкас» в совхозе «Ауструмн» Валмиерского района):

а — для многоводного 1977/78 гидрологического года; *б* — средние за 1958... 1978 гг.

На торфяных почвах рекомендовано измерять осадку поверхности почвы и дренажных трубопроводов, а также изменение значения коэффициента фильтрации залежи, вызванное осушением. Осадку поверхности дрен и коэффициент фильтрации почв определяют нивелированием поверхности до укладки, через 1... 3 мес после и далее — один раз в год.

Интенсивность и эффективность осушительного действия дренажа невозможно оценить без анализа метеорологических условий. Для этого необходимо знать следующие показатели:

атмосферные осадки — среднемноголетние, годовые по месяцам, по декадам число дней с осадками, максимальное количество за сутки в году за период наблюдений 1, 2, 5 и 10 % обеспеченности, интенсивность за 1... 10 сут;

температуру воздуха — среднегодовую, по месяцам и декадам, максимальную и минимальную за месяц, сумму активных температур;

продолжительность солнечного сияния — среднегодовую и среднемесячную за вегетационный период;

относительную влажность воздуха — среднегодовую и среднемесячную;

число морозных дней со среднесуточной температурой воздуха ниже 0 °С;

глубину промерзания почвы — многолетнюю среднюю и максимальную; по годам, месяцам и декадам холодного периода; сроки начала промерзания и оттаивания почвы; температуру по слоям (через 20 см) до глубины закладки дрен (факультативно);

снеговой покров — высоту, плотность, запасы воды на начало весеннего снеготаяния, дату начала снеготаяния;

суммарное испарение (факультативно).

Для определения метеорологических условий рекомендуют использовать данные ближайшей метеостанции или метеопоста. Непосредственно на объекте опытного дренажа, расположенного близко к метеостанциям или постам (<20 км), измеряют осадки, глубину промерзания почвы и ее температуру. Осадки измеряют осадкомером или плювиографом 1...2 раза в сутки в одно и то же время (если один раз, то в первой половине дня). Если опытный участок расположен далее 20 км от метеостанции или поста и сильно различаются

почвенные условия, то непосредственно на нем определяют все метеорологические факторы. Наблюдения за ними и обработку данных ведут согласно методикам, применяемым на метеостанциях.

Исследования, проведенные в Латвии по данной методике, позволили коренным образом изменить существующие взгляды и концепции по осушению тяжелых слабопроницаемых почв, определить оптимальную интенсивность осушения переувлажненных почв для условий интенсивного сельскохозяйственного производства, пути совершенствования конструкций пластмассовых и гончарных дрен, выяснить необходимость увеличения глубины закладки дрен и густоты дренажной сети для глинистых и суглинистых почв, а также глубоких и мелких болот со слабопроницаемым основанием, эффективность некоторых агромелиоративных мероприятий в сочетании с дренажем, решить другие узловые вопросы в области осушительной мелиорации. На основании этих исследований существенно изменены республиканские нормативы проектирования дренажных систем; разработан ряд рекомендаций, которые используют при проектировании этих систем в Нечерноземной зоне страны и других регионах; разработаны также указания по применению дренажа из полимерных материалов для всей гумидной зоны страны.

УДК 626.86 : 872 : 631.43

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ОСУШЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ ПОЧВОГРУНТОВ ЗАКРЫТЫМ ДРЕНАЖЕМ

А. И. КЛИМКО, кандидат технических наук
А. М. СМИРНОВ, кандидат технических наук

Северный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

Увеличение объемов мелиоративного строительства, интенсификация сельскохозяйственного производства предопределили поиск путей совершенствования существующих и создания новых способов осушения переувлажненных земель.

В Нечерноземной зоне РСФСР сельскохозяйственные земли с суглинистыми и глинистыми почвами занимают в среднем около 40 % используемых площадей. Эти земли, как правило, имеют неблагоприятный водный режим для развития культур и выполнения всех видов полевых работ. Повышение продуктивности сельскохозяйственного производства возможно лишь на основе широкого применения технически совершенных осушительных систем на базе закрытого дренажа, использования новых материалов, прогрессивной технологии и высокопроизводительной техники для производства мелиоративно-строительных работ.

Полевые исследования в области осушения тяжелых почв закрытым дренажем включают разработку новых и усовершенствование существующих способов осушения, создание технологичных, надежных в работе конструкций фильтрующих элементов для поглотительных колонок на дренах и колодцев-поглотителей, поиск материалов, пригодных для их изготовления, дешевых и недефицитных (например, торф, песчано-гравийная смесь), проверку работоспособности и долговечности этих материалов. Кроме того, в задачи исследований входят изучение эффективности применения глубокого рыхления, кротования и оценка влияния этих мероприятий на работу дренажа, на урожайность сельскохозяйственных культур.

Эффективность применяемых и разрабатываемых способов осушения тяжелых почв, работоспособность и надежность действия осушительных систем (как в целом, так и отдельных элементов), целесообразность мероприятий по усилению притока воды к дренам — глубокого рыхления и кротования — с наибольшей степенью достоверности можно изучить в полевых условиях на опытно-производственных объектах.

Основные экспериментальные исследования для определения оптимальных параметров дренажа проводят в опытных хозяйствах научно-исследовательских институтов, а опытно-производственную проверку технических решений, рекомендуемых к внедрению, — в производственных условиях на объектах осушения экспериментальных систем, предусматриваемых при составлении проектно-сметной документации.

Выбор опытно-производственных объектов, а также

их проектирование осуществляют совместно с проектной организацией.

Месторасположение экспериментальных систем выбирают в соответствии со следующими требованиями: постоянными уклонами в продольном и поперечном направлениях; однотипным почвенным покровом; атмосферным типом водного питания и расположением в наиболее удобном для организации наблюдений месте.

В зависимости от природных условий на объекте-представителе может быть создано несколько опытных участков, но, как правило, не более трех.

При составлении схем опытных участков число экспериментальных систем назначают в соответствии с числом вариантов испытываемых конструкций дренажа, типом фильтрующих элементов и материалов, а также изучаемыми агромелиоративными приемами, усиливающими осушающее действие дренажа: глубокое рыхление, кротование и др.

На участке траншейным способом закладывают контрольные системы (ширина траншеи 50 см без фильтрующих элементов). Для основного варианта опыта экспериментальные системы закладывают в 3-кратной повторности при расстояниях между дренами 0,75... 1,5 B и глубине заложения дрен h. Расстояние между дренами B принимают в пределах 10...15 м, глубину заложения дрен h — в пределах 0,8...1,2 м, уклон дрен — в соответствии с действующими нормативами. Большие значения B принимают для участков с хорошо окультуренными почвами и выраженными уклонами. Для остальных и контрольных вариантов экспериментальные системы закладывают при расстоянии между дренами, равном B, также в 3-кратной повторности. Длину отдельных дрен назначают в пределах от 100 до 200...250 м. Число дрен в каждой экспериментальной системе должно быть не менее шести. Площадь экспериментальной системы — 0,8...1,5 га. Дрены впадают в закрытый коллектор, который выводится в смотровой колодец или открытый канал. В открытый колодец можно выводить два, а в некоторых случаях и три закрытых коллектора. Чтобы обеспечить замеры дренажного стока, перепад между дном закрытого коллектора и выводной трубой из смотрового колодца (или уровнем воды в открытом канале) делают не менее 20 см.

Если экспериментальная система расположена у открытого канала, дрены целесообразно выводить непосредственно в канал, тогда устье каждой дрены оборудуют оголовком с перепадом не менее 20 см. В границах опытного участка устраивают постоянные сооружения для отвода поверхностной воды: колодцы-поглотители, водосбросные сооружения на откосах каналов. Чтобы обеспечить замеры стока, для каждого колодца-поглотителя предусматривают отдельный выход в смотровой колодец или открытый канал с перепадом не менее 20 см, а водосбросные сооружения оборудуют мерными водосливами. Оросительная сеть моделирует атмосферные осадки различной интенсивности. Опытные системы оснащают оборудованием для проведения необходимых измерений. Контроль за уровнем грунтовых вод и верховодкой осуществляют с помощью постоянных створов наблюдательных колодцев или скважин. Для измерения уровней и расходов воды в каналах и водотоках установлены водомерные посты. Ведут также наблюдения за динамикой промерзания и оттаивания почвогрунтов, определяют их водно-физические и фильтрационные свойства. Для измерения поверхностного и дренажного стока наблюдательные колодцы оснащают водомерными устройствами с самописцами уровня типа «Валдай». Для наблюдения за метеорологическими элементами на опытном участке предусматривают устройство одной метеоплощадки, для оценки гидрологического режима осушаемых почвогрунтов — стоковых водно-балансовых площадок.

Примером может служить проект опытного участка «Новоселье» в опытно-производственном хозяйстве СевНИИГиМ (табл. 1).

Наблюдения начинают одновременно с началом строительства опытных систем, чтобы обеспечить качество выполняемых работ. В процессе строительства контролируют соблюдение проектного уклона дрен и коллекторов, глубины закладки дрен, перепадов, расстояний между дренами, а также правильность устройства фильтрующих элементов. Выборочно проверяют правильность защиты дренажа от заиления, соответствие применяемых материалов действующим стандартам и ГОСТ. Кроме того, определяют водно-физические и фильтрационные свойства почв, дренажных засыпок и фильтрующих элементов по каждому варианту. Полу-

Варианты опытных систем на участке «Новоселье» опытно-производственного хозяйства СевНИИГиМ

Вариант	Расстояние между дренами, м	Глубина заложения дрен, м	Ширина траншеи, м	Дополнительные мероприятия
Гончарный дренаж, укладываемый траншейным дреноукладчиком ЭТЦ-202А	5	1,0	0,5	Поглотительные колонки из торфяной крошки через 15 м
	10	1,0	0,5	
	15	1,0	0,5	
	10	0,7	0,5	
	10	1,4	0,5	
	10	1,0	0,5	
	10	1,0	0,5	Глубокое рыхление
	20	1,0	0,5	Кротование
	20	1,0	0,5	Кротование, присыпка торфяной крошки слоем 30 см.
	30	1,0	0,5	Присыпка песчано-гравийной смесью (ПГС) слоем 30 см
Узкотраншейный дренаж	10	1,0	0,25...0,3	Присыпка ПГС слоем
	30	1,0	0,25...0,3	30 см, кротование
	10	1,0	0,25...0,3	Установка фильтрующих элементов из торфяных блоков через 5 м
	10	1,0	0,25...0,3	Сплошная присыпка гумусом
	10	1,0	—	Установка фильтрующих элементов из торфяных плит через 4...5 м
	10	1,0	—	
Бестраншейный дренаж, укладываемый дреноукладчиком МД-4	10	1,0	—	Глубокое рыхление
	10	1,0	—	Присыпка гумусом
	10	1,0	—	Кротование

Примечание. На участке запроектирован оросительный трубопровод для подключения дождевальных машин «Фрегат». Площадь опытного участка 100 га.

ченные материалы оформляют в виде приложения к исполнительной документации и вместе с проектом сохраняют в архиве научно-исследовательской организации.

В процессе эксплуатации опытного участка проводят наблюдения за следующими показателями:

осадками, температурой воздуха и почвы — ежедневно;

промерзанием и оттаиванием почвогрунтов по каждому варианту в междренье и в дренажной засыпке — один раз в 10 дней (мерзлотомером Данилина);

динамикой снегового покрова, в течение зимнего периода — один раз в 20 дней, в период снеготаяния — ежедневно;

дренажным и поверхностным стоком в периоды его прохождения, при наличии самописцев контрольные замеры осуществляют один раз в неделю, при их отсутствии — 2...3 раза в сутки объемным способом;

динамикой накопления и оттока поверхностной воды в замкнутых понижениях;

уровнями грунтовых вод — ежедневно;

влажностью почвогрунтов на глубину до 1 м, в зимний период — один раз в 20 дней, в летний период — один раз в 10 дней (определение производят термостатно-весовым способом, образцы отбирают через 20 см по глубине);

водно-физическими свойствами почвогрунтов, пористостью, плотностью, водоотдачей, механическим и агрегатным составом, капиллярной и молекулярной влагоемкостью, водопрочностью структуры путем отбора образцов из шурфов, устраиваемых по два на каждом варианте (в междренье и на дренажной засыпке), через 20 см на глубину закладки дрен (при глубоком рыхлении для определения плотности используют цилиндры диаметром не менее 10 см, определяют один раз в год);

коэффициентами фильтрации почвогрунтов в междренье (в пахотном и подпахотном слоях) и дренажной засыпке до уровня дрены по высоте — через 40 см, фильтрующих элементов, засыпки колодцев-поглотителей 2 раза в год — перед началом полевых работ и после уборки урожая (определяют методом налива или методом восстановления уровня воды в скважине);

агрохимическими свойствами почв, а также содержанием гумуса в дренажной засыпке (послойно через 30...40 см до уровня дрены) — один раз в год;

твердостью почвы на вариантах с глубоким рыхлением и кротованием — один раз в год (с помощью плотномера Ревякина);

урожаем сельскохозяйственных культур по каждому варианту, перед проведением уборочных работ (метод учетных площадок);

биологической активностью почвы (путем наблюде-

ния за скоростью разложения льняной ткани) — один раз в год;

химическим составом дренажного и поверхностного стока — выборочно по отдельным системам и в замыкающем створе проводящей сети опытного участка.

Для ведения всего комплекса работ по эксплуатации опытных систем и сбора информации создается специальная служба, которая включает ремонтных рабочих и наблюдателей и будет снабжена необходимой ремонтно-строительной техникой.

Перечисленные наблюдения, обработку и анализ опытных данных проводят согласно Методическим указаниям по постановке и проведению опытно-мелиоративных исследований в зоне работ СевНИИГиМ, разработанным специалистами института.

Полный комплекс наблюдений в указанном выше объеме организуют в опытных хозяйствах научно-исследовательских институтов. На опытно-производственных объектах наблюдения проводят по сокращенной программе, включающей измерение дренажного и поверхностного стока, контроль за уровнями грунтовых вод, определение водно-физических и фильтрационных свойств почвогрунтов и урожайности сельскохозяйственных культур.

Материалы наблюдений используют при разработке методик определения оптимальных параметров осушительных систем, новых конструкций дренажа, отдельных его узлов, фильтрующих элементов, а также при совершенствовании существующих. Результаты полевых исследований служат основой для составления нормативных документов, используемых при проектировании и строительстве дренажа на тяжелых почвогрунтах.

УДК 626.86 : :872 : 631.43.001.8

ОСОБЕННОСТИ ПОЛЕВЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОСУШИТЕЛЬНЫМ МЕЛИОРАЦИЯМ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

И. М. НЕСТЕРЕНКО, кандидат технических наук

Институт биологии Карельского филиала АН СССР

Значительная часть сельскохозяйственных угодий в Карельской АССР расположена на озерно-ледниковых равнинах. Площадь осушенных земель на них превыша-

ет 25 тыс. га, что составляет около 40 % общей площади мелиорированных земель в республике. Озерно-ледниковые равнины приурочены к озерам, образование их связано с абразионной (размыв морены) и аккумулятивной деятельностью ледниковых и озерно-ледниковых вод. Равнинные участки служат естественными бассейнами для стока и аккумуляции поверхностных и грунтовых вод. Постоянный водоносный горизонт в подстилающей озерно-ледниковые отложения песчаной морене способствует грунтово-напорному водному питанию с вышерасположенных болот и озер. На окраинах крупных равнин (Олонецкая, Ладвинская, Шуйско-Сямозерская) в условиях обильного атмосферного, намывного, грунтового и грунтово-напорного водного питания формируются значительные болотные массивы. Торфа чаще подстилаются песками, ближе к центру — ленточными суглинками и глинами. В центральной части равнин отмечена наибольшая мощность ленточных отложений — 5...10 м, иногда перекрытых заболоченными торфами малой мощности. На залесенных, закустаренных участках слой моховой, лесной подстилки обычно не превышает 10...20 см.

Озерно-ледниковые равнины различны по площади: Олонецкая занимает 18 тыс. га, а вместе с прилегающими крупными болотными массивами — более 40 тыс. га, в Приладожье площадь участков с озерно-ледниковыми отложениями — не более 200...300 га.

На моренных волнистых равнинах участки сельскохозяйственных угодий небольшие (100...300 га), сложной конфигурации, при которой длина нагорных и проводящих каналов часто превышает протяженность открытой регулирующей сети.

В пределах каждого мелиоративного объекта можно встретить участки с различными почвами: торфяными (в понижениях рельефа), минеральными, различного механического состава. Часто в границах одного объекта различны геоморфологические и гидрогеологические условия. Вытянутость территории Карелии с севера на юг определяет и различие климатических условий, с учетом которых выделено пять мелиоративных зон. Поэтому при выборе объектов исследований необходима строгая, детальная оценка всех условий. При размещении опытной мелиоративной сети, выборе площади участков, с учетом охвата основных типичных почвенных

Протяженность осушительной сети по мелиоративным зонам Карельской АССР (01.01.80)

Мелиоративная зона	Осушено, тыс. га		Протяженность сети на 1 га, м			
			открытой		закрытой	
	всего	в том числе закрытым дренажем	всего	в том числе осушителей	всего	в том числе дрен
Северная	1,3	0,1	463	368	305	270
Средняя	1,5	0,2	465	351	427	362
Юго-восточная	5,7	0,9	323	220	348	296
Южная	29,0	8,6	404	322	513	454
Юго-западная	22,6	7,7	304	119	466	400

разностей, следует учитывать влияние мелиораций на окружающую среду, природные ландшафты.

На современном этапе разработка научных основ осушения и освоения земель возможна лишь при проведении широких комплексных (метеорологические, гидрогеологические, гидрологические, агрофизические, агрохимические и др.) наблюдений и исследований. Исходя из этого площадь опытных станций, стационаров в условиях Карелии должна составлять не менее 1 000 га. В настоящее время в южной мелиоративной зоне проводят исследования на Карельской опытно-мелиоративной станции СевНИИГиМ (Олонецкая озерно-ледниковая равнина; тяжелые минеральные почвы — ленточные суглинки и глины; опытная мелиоративная сеть заложена на площади 1400 га), на Корзинском научном агромелиоративном стационаре Института биологии Карельского филиала АН СССР (совхоз «Эссойльский» Пряжинского района, Корзинская низина; осушенные и неосушенные торфяные почвы мощностью 0,5...3,5 м, подстилаемые мореной, песками и ленточными глинами; минеральные песчаные, суглинистые и глинистые почвы; площадь, охваченная опытными схемами, — 1500 га), на Киндасовском лесомелиоративном стационаре (гидрологические наблюдения на водосборах с торфяными и минеральными почвами, площадь 83 км^2). Для оценки гидрогеологических условий, водного питания мелиоративных объектов и изменения режима подземных вод на осушаемых площадях, прилегающих водосборах совместно с Карельской комплексной геологоразведочной экспедицией заложена режимная сеть гидрогеологических скважин, охватывающая

основную часть Олонецкой равнины, Корзинской низины, заболоченной равнины в районе деревни Киндасово с прилегающими водосборами. В Северной Карелии организованы наблюдения на участке Хупон-суо (опорный пункт Карельского филиала АН СССР в совхозе «Ухтинский» Калевальского района) с осушенными и неосушенными торфяными различной мощности, песчаными и суглинистыми почвами (около 1 000 га с прилегающим водосбором).

В первые 2...3 года после осушения болот существенно изменяются почвенный профиль, водно-физические свойства и режимы торфяных почв (осадка, плотность, влагоемкость, коэффициенты фильтрации, водотдача), преобразуется верхний пахотный слой минеральных почв. После осушения закрытым дренажем повышена инфильтрация через рыхлую засыпку над дренами. Изменения в меньшей степени наблюдают и в последующем в зависимости от типа почвы, климатических и агротехнических условий. Поэтому наблюдения и исследования, проводимые в первые годы после осушения, характеризуют лишь переходный период и не могут служить основанием для получения расчетных характеристик на весь эксплуатационный период работы осушительной системы и тем более оценки влияния мелиораций на окружающую среду. Примером тому может служить изменение воднобалансового коэффициента стока (рис. 1), рассчитанного по формуле:

$$\beta = \sum_{1}^{n} Q / \sum_{1}^{n} (P - E),$$

где $\sum_{1}^{n} Q$ — сумма годового стока, мм; P — осадки за n лет, мм; E — испарение за n лет, мм.

При осреднении данных до 5 лет еще заметно влияние повышенного стока в первые годы после осушения и климатических условий. Выравнивание воднобалансового коэффициента стока происходит при осреднении данных по 8 лет и более.

Учитывая вышеуказанное, а также изменчивость климатических условий (5-, 6-, 11-летние циклы по осадкам, солнечной радиации), считают, что минимальный срок наблюдений на опытных мелиоративных системах для получения достоверных данных — 8 лет и более длительный (для получения расчетных гидрологических характеристик рекомендуют минимум 15 лет). Как на

небольших опытных участках, на которых в короткие сроки можно решать частные вопросы, так и на опытных станциях и стационарах необходимы опытные системы с круглогодичными длительными комплексными наблюдениями и в первую очередь — воднобалансовыми.

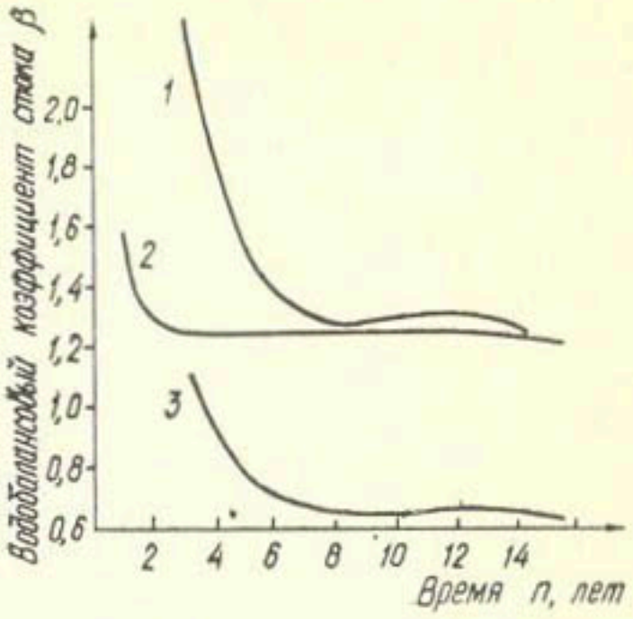


Рис. 1. Изменение воднобалансового коэффициента стока по скользящим *n*-летиям:

1 — суммарный сток из метрового слоя осушенного болота; *2* — сток по реке Шуе; *3* — дренажный сток из метрового слоя торфяной залежи.

Для осушаемых почв Севера характерны длительное сезонное промерзание почвогрунтов, возможность перехода сезонной мерзлоты в многолетнюю при осушении болот, что существенно влияет на эффективность работы осушительной сети. В зоне промерзания наблюдают значительное перераспределение запасов влаги, накопление до 150 мм сверх наименьшей влагоемкости в тяжелых глинистых почвах и до 100 мм — в осушенных торфяных. Такое накопление соизмеримо с запасами воды в снеге на период снеготаяния, поэтому необходим учет запасов влаги при изучении режима влажности почв, дренажного стока, водного баланса. Расширение воды при замерзании ведет к пучению почвогрунтов, изменению их водно-физических свойств, нарушению устойчивости при оттаивании. Разрушаются закрытые оросительные трубопроводы, смотровые колодцы и другие сооружения на осушительной сети, оплывают откосы проводящих каналов, невозможно применение глубокого рыхления тяжелых почв из-за перехода глины в текучее состояние при оттаивании и быстрого заплывания трещин. Все это наносит значительный материальный ущерб, ухудшает работу осушительной сети, ведет к усилению водной эрозии, загрязнению водоприемников взвешенными и растворенными веществами.

В период снеготаяния наблюдают значительный поверхностный сток на осушенных торфяных почвах, который также необходимо учитывать как при расчетах

осушительной сети, так и при планировании комплекса агромелиоративных мероприятий, сроков внесения удобрений для более рационального использования и уменьшения загрязнения водоприемников.

В лаборатории мелиорации Института биологии Карельского филиала АН СССР разработали и успешно используют специальное оборудование и приборы для зимних наблюдений: бур-кольцо для мерзлых почвогрунтов, пучинограф, мерзлотограф. Бур-кольцом отбирают образцы ненарушенного мерзлого грунта для оценки льдистости, влажности, водоотдачи, плотности; пучинограф позволяет следить за динамикой процесса влагопереноса, по высоте пучения рассчитывать водоотдачу промерзшего слоя; мерзлотограф обеспечивает непрерывную запись глубины промерзания. При летних наблюдениях за дренажным стоком, уровнями грунтовых вод, испарением используют простые конструкции уровнемеров, изготавливаемых на базе списанных термографов, гидрографов, барографов. Для наблюдений за испарением с почвы при близких к поверхности уровнях грунтовых вод изготовлен комплект испарителей, в которых поддерживается естественный режим УГВ. Лабораторией получены два авторских свидетельства: на устройство для исследования свойств почвогрунтов (№ 395776) и на датчик для исследования горизонтально-изотопных сред (№ 489055), позволяющие контролировать в лабораторных и полевых условиях режим влажности.

Практически каждая научно-исследовательская организация имеет свои разработки приборов. Поэтому назрела необходимость оценки всех имеющихся стандартных и нестандартных приборов. Для унификации и более широкой автоматизации наблюдений и исследований в области осушительных мелиораций целесообразно создание при СевНИИГиМ или другом институте специального конструкторского бюро, экспериментальных мастерских или завода по гидромелиоративным приборам.

УДК 631.626.5

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСУШЕНИЯ БОЛОТ

У. Х. ТОМБЕРГ, кандидат технических наук

Эстонский научно-исследовательский институт земледелия и мелиорации

Полевые исследования по разным вопросам осушения болот требуют характеристики объекта исследования и измерения глубин уровней грунтовых вод, дренажного стока, влажности почвы, испарения, урожаев сельскохозяйственных культур. Достоверные средние значения получают при измерениях в 3...4-кратной повторности, что приводит к необходимости строительства для каждого изучаемого варианта отдельной дренажной системы из 4...5 дрен. При расстояниях между дренами от 15...20 м до 40...60 м и длине их 100...200 м каждый вариант занимает площадь в 1...2 га, а опытный участок — 3...4 га и более. Поэтому полевые исследования по осушению болот обычно осуществляют в производственных условиях.

Осушительное действие дренажа определяется в основном гидрогеологическими условиями, то есть для опытов подходят участки с более или менее одинаковой мощностью пласта, где торф, залежь и водное питание однотипны. Полевые исследования по определению физических свойств торфа можно упростить, принимая плотность твердых частиц нормальнозольного (зольность меньше 20 %) низинного торфа равной 1 500 кг/м³ и вычисляя порозность ($p_в$ %) и плотность твердых частиц ($d_в$ кг/м³) высокозольного (зольность больше 20 %) по плотности (D кг/м³):

$$p_в = 90 - 0{,}03D,$$
$$d_в = 10D/(1 + 0{,}003D).$$

Водопроницаемость (для общей характеристики участка до строительства опытных систем) желательно определить по Г. Д. Эркину в точках, размещенных равномерно по площади. В каждой точке производят три отдельных измерения в скважинах, расположенных треугольно на расстоянии около 10 м одна от другой. При этом ошибка среднего будет в пределах 15...25 %.

Если коэффициенты вариации средних значений не превышают для низинных болот 0,40...0,45, для верховых 0,5...0,6 и для переходных 0,70, то по водопроницаемости участок считают типичным. В глубине залежи болот водопроницаемость обычно уменьшается по зависимости:

$$K_\tau = K_{\tau_0} \cdot 10^{\alpha(\tau_0 - \tau)},$$

где K_τ — коэффициент фильтрации на искомой глубине τ (м) от поверхности болота, м/с; K_{τ_0} — коэффициент фильтрации, определенный в натуре на глубине τ_0 (м), м/с; α — коэффициент, характеризующий уменьшение водопроницаемости по глубине и свойству торфа, его определяют по формуле $\alpha = 0{,}205/10^{0{,}15\tau_0} K_{\tau_0}^{0{,}15}$, 1/м.

Если значения K выражены не в м/с, а в м/сут, то в формуле, по которой определяют коэффициент α, числитель равен 1,12. Для получения сравнимых данных при определении и опубликовании значений коэффициентов фильтрации необходимо указать и глубину определения, а определенные на разной глубине данные перевести по зависимости изменения на единую глубину. За условную единую глубину желательно принять 1 м или глубину дрен. Водопроницаемость в связи с осушением болота, особенно вновь, уменьшается из-за уплотнения (осадки) торфа и в зависимости от интенсивности осушения. Поэтому ее целесообразно определять в начале и конце опыта, а при длительных опытах — периодически каждые 2...3 года у наблюдательных скважин для измерения уровней грунтовых вод между дренами.

Важнейший параметр функционирования осушительной системы в болотах безнапорного питания — кривая связи одновременных модулей дренажного стока и уровней грунтовых вод в середине между дренами или над дреной, так как в подзоне дерново-подзолистых почв гистерезис этой зависимости выявляется слабо. Коэффициенты корреляции таких зависимостей обычно превышают 0,70. Для обеспечения измерения стока отдельные системы-варианты должны иметь самостоятельные устья.

Колодцы для измерения глубин грунтовых вод устанавливают не только в середине между дренами, но и непосредственно над дренами из-за опасности кольматации защитных фильтрующих материалов и закупорки водоприемных отверстий или стыков труб, чтобы уста-

новить там нависание поверхности грунтовой воды. Дренажный сток и уровень грунтовых вод измеряют через каждые 3...4 сут одновременно в опытах, связанных с воднобалансовыми расчетами, а в остальных случаях — через 5...7 сут. Зачастую низинные болота, особенно их мощные и краевые полосы, питают напорные воды. Поэтому опытные участки целесообразно снабжать пьезометрическими наблюдательными колодцами, углубленными в подстилающий торф минеральный грунт.

Испарение зависит не только от объема стока, но и от интенсивности осушения. Поэтому в воднобалансовых опытах испарение определяют по каждому варианту интенсивности через каждые 10...15 сут, а влажность почвы — послойно до уровня грунтовых вод или в верхнем метровом слое.

Урожайность культур определяют на делянках площадью не менее 10 м² в 4-кратной повторности.

УДК 631.62

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ С УЧЕТОМ ПЛАНОВОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ

А. И. МУРАШКО, академик ВАСХНИЛ

А. А. НОВИКОВ

Белорусский научно-исследовательский институт мелиорации и водного хозяйства

Г. А. ЩЕРБАКОВ, кандидат технических наук

Белорусский политехнический институт

Конечные результаты прогнозных фильтрационных расчетов часто обесцениваются низкой точностью и надежностью исходных коэффициентов, входящих в уравнения фильтрации. Используемые методы получения информации о составе и состоянии дренируемых грунтов базируются, как правило, на обобщении результатов ограниченного числа опробований, характеризующих исследуемое пространство в «физической точке», то есть в достаточно малом объеме по сравнению с размерами областей, для которых выполняют прогнозные расчеты. В то же время используемые для прогнозных расчетов

детерминированные математические модели основаны на фильтрационных схемах, описывающих, как правило, только однородные грунты. За расчетные значения водно-физических свойств грунтов по существующим нормативам следует принимать средние показатели, поэтому необходима статистическая обработка выборочных данных.

В распределении водопроницаемости грунтов обычно наблюдают значительную положительную асимметрию [1, 2]. В большинстве случаев нормально распределены значения логарифмов коэффициентов фильтрации, причем гипотеза о принадлежности выборки логнормальному закону не отвергается при весьма высоких уровнях значимости. Подтверждением служат результаты специальных опытов, выполненных на одном из объектов Витебской области, на котором осоково-тростниковый торф глубиной 2,5...3 м подстилают сапропелевые отложения мощностью до 3 м, развитые на моренном суглинке. Степень разложения торфа — 35...45 %, зольность — 5...10,9 %. Водопроницаемость торфа на площади 40 га определили по методу восстановления уровня в 91 скважине диаметром 15 см и глубиной 2...2,5 м. Для оценки режима изменчивости (тренда) водопроницаемости торфа в плане использовали ранговый критерий Спирмена (оценка коэффициента корреляции между наблюдаемой последовательностью значений и возрастающим рядом чисел, являющихся номерами членов исследуемой последовательности). Коэффициент ранговой корреляции вычислили по формуле (табл. 1):

$$r_S = 1 - \frac{6}{n^3 - n} \sum_{i=1}^{n} d_i^2, \qquad (1)$$

где n — число значений в наблюдаемой последовательности; d_i — разность рангов.

1. Значения выборочного коэффициента ранговой корреляции для рассматриваемых створов скважин

Число скважин в створе	Номер створа								
	1	2	3	4	5	8	12	14	1
8	—	—	—	—	—	—	—	—	0,03
10	—	—	—	—	—	—	—	0,23	—
11	0,28	—	—	−0,06	—	—	—	—	—
12	—	−0,12	0,32	—	0,10	0,12	0,08	—	—

Вычисленные значения r_S во всех случаях меньше критических при уровне значимости $\alpha=0{,}05$. Это свидетельствует об отсутствии взаимосвязи выборочных значений коэффициента фильтрации с пространственными координатами в пределах опытного участка.

Критические значения коэффициента ранговой корреляции в зависимости от объема выборки при $\alpha=0{,}05$ следующие:

n ...	6	7	8	9	10	12	14	16	18
r_S ...	0,89	0,75	0,71	0,67	0,63,	0,58	0,50	0,47	0,44

При определении коэффициента фильтрации торфа возможны грубые ошибки. Поэтому выборочные данные были проверены, за исключением частных значений k_i, для которых выполнялось условие:

$$|\overline{\ln k_i}-\ln k_i^{\min}|\leqslant \nu\sigma^{\text{см}}_{\overline{\ln k_i}}, \qquad (2)$$

$$\sigma^{\text{см}}_{\overline{\ln k_i}}=\sqrt{(n-1)/n}\,\sigma_{\overline{\ln k_i}}, \qquad (3)$$

где $\ln k_i^{\min}$ — экстремальные значения логарифма коэффициента фильтрации; $\overline{\ln k_i}$ — среднее арифметическое их значение; ν — статистический критерий, зависящий от объема выборки; $\sigma^{\text{см}}_{\ln k_i}$ — смещенная оценка среднего квадратического отклонения логарифмов водопроницаемости.

Значения статического критерия в зависимости от объема выборки следующие:

n ...	6	9	12	16	25	36	49
ν ...	2,07	2,35	2,52	2,67	2,88	3,03	3,15

Соответствие опытного распределения теоретической зависимости проверяли графоаналитическим методом. Для построения эмпирической кривой распределения выборочные данные расположили в порядке возрастания значений k_i. Далее определили вероятность каждого ранжированного значения. Вычислив экспериментальную функцию распределения, построили графики на координатных сетках нормального, экспоненциального, логнормального, гамма-распределения и распределения Вейбулла. Наибольшее приближение к прямой имел график, построенный в координатных сетках логнормального распределения (рис. 1).

Для проверки согласия опытного и теоретического распределения использовали критерий Колмогорова.

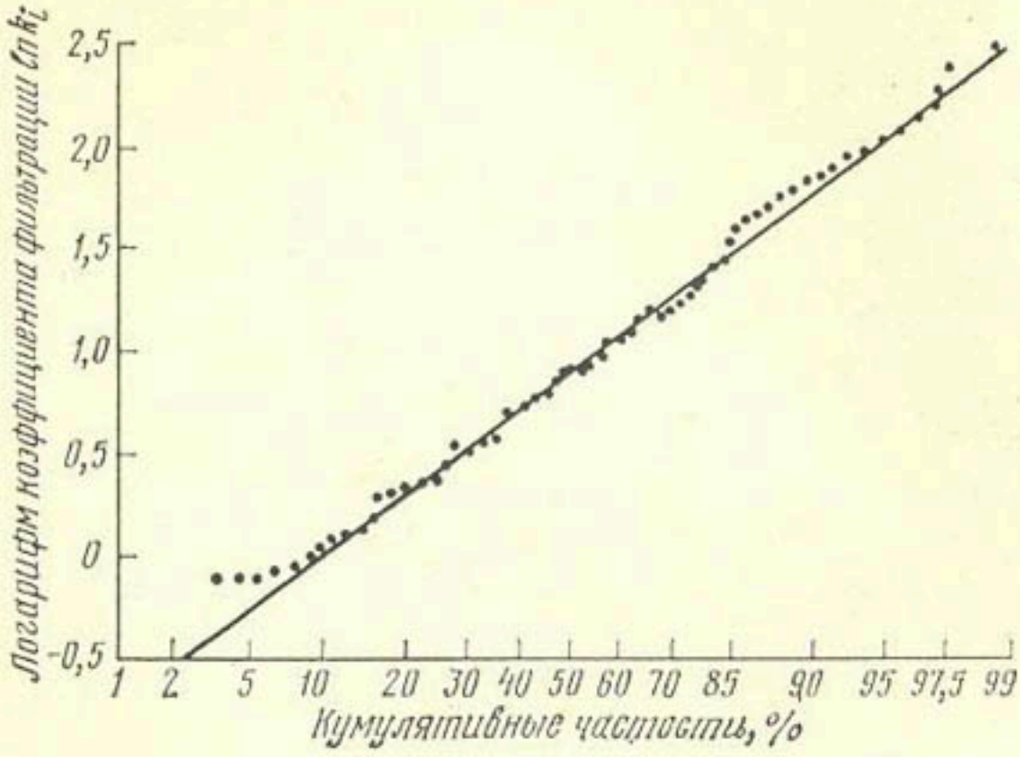


Рис. 1. График накопленных частостей логарифмов значений водопроницаемости.

Гипотеза о принадлежности выборки логнормальному распределению не отвергается при уровне значимости $\alpha=0{,}05$.

Расчеты по методу моментов и максимального правдоподобия дают весьма близкие результаты (табл. 2).

2. Оценка параметров выборочного распределения значений водопроницаемости (при $\alpha=0{,}05$)

Метод расчета	Математическое ожидание $\overline{K_c}$, м/сут	Коэффициент вариации $Cv_{\overline{K_c}}$	Оценка точности ε, %
Максимального правдоподобия	3,278	0,808	0,140
Моментов	3,284	0,824	0,143

Минимальное число определений водопроницаемости грунтов иногда устанавливают по результатам анализа модели нормального распределения. Но оценка дисперсии в этом случае не будет эффективной, хотя среднее арифметическое в условиях согласованности логнормальной модели с выборочными данными действительно является асимптотически эффективной оценкой. По данным таблицы случайных чисел, распределенных по нор-

мальному закону с известными параметрами, сформировали выборки разного объема. Потенцирование натуральных логарифмов позволило получить набор чисел, распределенных логнормально с известными исходными параметрами распределения. Данная выборка послужила основой для определения эффективности различных оценок (табл. 3), из которой следует, что среднее арифметическое из выборочных данных действительно незначительно отличается от точного значения $X_т = 1{,}649$. Оценка дисперсии $S^2(x)$ при использовании нормальной модели во всех случаях меньше вычисленной по методу моментов для логнормальной. Поэтому ее, казалось бы, и следовало использовать для оценки точности среднего значения. Однако указанная оценка во всех случаях существенно отличается от точного значения $\sigma^2(x) = 4{,}672$. Для логнормального распределения различия значительно меньше.

Для определения расчетных значений водопроницаемости грунтов использовать только статистический анализ выборочных данных недостаточно, так как применяемые гидродинамические методы воздействия на неоднородные фильтрационные поля предполагают получение осредненных в пространстве фильтрационных параметров. Причем закономерности осреднения определяют многими факторами: объемом и характером неоднородностей, масштабными эффектами, граничными условиями потоков и др. Поэтому важно исследовать возможности приведения неоднородных (гетерогенных) грунтов к эквивалентным однородным (гомогенным) с

3. Сравнительная оценка эффективности параметров логнормального распределения

Объем выборки	$\ln x$	$S\ln x$	X_{ME}	Математическое ожидание $\overline{X}$		Оценка дисперсии $S^2(x)$	
				нормальное распределение	логнормальное распределение	нормальное распределение	логнормальное распределение
35	—0,044	0,990	0,957	1,477	1,634	1,991	4,448
45	0,002	0,961	1,002	1,519	1,590	1,816	3,835
60	—0,042	0,959	0,959	1,555	1,650	2,877	5,345

Примечание. $\overline{X}_т = 1{,}649$, $\sigma^2(x) = 4{,}672$, $\ln x = 0$; $\sigma_{\ln x} = 1{,}0$.

параметрами, точность и надежность определения которых можно проконтролировать расчетами.

Для обоснования расчетных (эффективных) значений водопроницаемости проанализировали математическую модель двумерного неоднородного в плане напорного фильтрационного потока

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[T(x,y)\frac{\partial h}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[T(x,y)\frac{\partial h}{\partial y}\right]=0, \qquad (4)$$

где $T(x,y)=1\cdot k(x,y)$ — проводимость фильтрационного потока, м²/сут.

Водоносный горизонт рассматривали в форме квадрата с кусочно-постоянной проводимостью $T(x,y)$. Границы областей с постоянной проводимостью располагали параллельно координатным осям. Задачу решили при следующих граничных условиях:

$$h|_{y=0}=h,\quad h|_{y=1}=h_2, \qquad (5)$$
$$\frac{\partial h}{\partial x}\Big|_{x=0}=\frac{\partial h}{\partial x}\Big|_{x=L}=0.$$

На границах раздела участков с разной проводимостью выполнялось условие:

$$T(x,y)\frac{\partial h}{\partial x}\Big|_{-}=T(x,y)\frac{\partial h}{\partial x}\Big|_{+};$$
$$T(x,y)\frac{\partial h}{\partial y}\Big|_{-}=T(x,y)\frac{\partial h}{\partial y}\Big|_{+}. \qquad (6)$$

Численное решение задачи (4...6), осуществляемое на основе конечно-разностных схем, сводится в конечном счете к системе линейных алгебраических уравнений с ленточной матрицей. Чтобы решать эти уравнения методом диагональных прогонок, а также накапливать и статистически обрабатывать результаты, была разработана программа YNTФФФ на языке FORTRAN — 4. Реализация программы на ЭВМ ЕС — 1020 с ОЗУ 256К позволяет эффективно просчитать варианты задачи (4...6) с числом блоков до 1 200. Блокам модели случайным образом присваивали значения проводимостей, распределенных по логнормальному закону с известными параметрами. Для обеспечения репрезентативности данных расчетные значения проводимостей устанавливали на основе статистического анализа не менее 50 фильтрационных полей. Для оценки влияния масштаба пространственной неоднородности водоносного пласта

параметрами, точность и надежность определения которых можно проконтролировать расчетами.

Для обоснования расчетных (эффективных) значений водопроницаемости проанализировали математическую модель двумерного неоднородного в плане напорного фильтрационного потока

$$\frac{\partial}{\partial x}[T(x,y)\frac{\partial h}{\partial x}]+\frac{\partial}{\partial y}[T(x,y)\frac{\partial h}{\partial y}]=0, \qquad (4)$$

где $T(x,y)=1\cdot k(x,y)$ — проводимость фильтрационного потока, м²/сут.

Водоносный горизонт рассматривали в форме квадрата с кусочно-постоянной проводимостью $T(x,y)$. Границы областей с постоянной проводимостью располагали параллельно координатным осям. Задачу решили при следующих граничных условиях:

$$h|_{y=0}=h,\ h|_{y=1}=h_2, \qquad (5)$$
$$\frac{\partial h}{\partial x}|_{x=0}=\frac{\partial h}{\partial x}|_{x=L}=0.$$

На границах раздела участков с разной проводимостью выполнялось условие:

$$T(x,y)\frac{\partial h}{\partial x}|_{-}=T(x,y)\frac{\partial h}{\partial x}|_{+};$$
$$T(x,y)\frac{\partial h}{\partial y}|_{-}=T(x,y)\frac{\partial h}{\partial y}|_{+}. \qquad (6)$$

Численное решение задачи (4...6), осуществляемое на основе конечно-разностных схем, сводится в конечном счете к системе линейных алгебраических уравнений с ленточной матрицей. Чтобы решать эти уравнения методом диагональных прогонок, а также накапливать и статистически обрабатывать результаты, была разработана программа YNTФФФ на языке FORTRAN — 4. Реализация программы на ЭВМ ЕС — 1020 с ОЗУ 256К позволяет эффективно просчитать варианты задачи (4...6) с числом блоков до 1 200. Блокам модели случайным образом присваивали значения проводимостей, распределенных по логнормальному закону с известными параметрами. Для обеспечения репрезентативности данных расчетные значения проводимостей устанавливали на основе статистического анализа не менее 50 фильтрационных полей. Для оценки влияния масштаба пространственной неоднородности водоносного пласта

рическое) значение водопроводимости выборочных данных, м/сут; $\overline{\ln k_i}$ — среднее арифметическое логарифмов водопроводимостей; $\sigma_{\ln k_i}$ — среднее квадратическое отклонение логарифмов исходных значений водопроводимостей; $\zeta = f(m_н)$ — коэффициент, учитывающий масштаб неоднородностей (при определении коэффициента фильтрации торфа экспресс-методами $\zeta = 1$); $m_н = B/2\Delta m$ — масштаб неоднородности; Δm — характерный размер зоны однородности (при определении коэффициента фильтрации торфа методом откачки или налива в шурфы $\Delta m = 0{,}7 \ldots 1{,}5$ м), м; B — расстояние между осушителями, м; n — объем выборки.

Для оценки показателя точности выборочных и расчетных значений водопроницаемостей применяют формулу:

$$\varepsilon = t_{a,n}\, Cv/\sqrt{n-2}\ , \qquad (13)$$

где $t_{a,n}$ — коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности и объема выборки.

Значения коэффициента $t_{a,n}$ при уровне значимости $\alpha = 0{,}05$ следующие:

n	...	9	16	25	36	49	64
$t_{a,n}$	...	1,86	1,75	1,71	1,69	1,68	1,67

Расчетные значения коэффициента фильтрации $\overline{K}_р$ в широком диапазоне изменения параметра $\sigma_{\overline{\ln k_i}}$ значительно отличаются от медианного значения $K_{МЕ}$ для исходной выборки. Для торфа значение $\sigma_{\ln k_i}$ изменяется в пределах 0,3 ... 0,9. Из уравнения (8) можно получить:

$$\overline{K}_р = (0{,}89 - 0{,}93)\, K_{МЕ} \approx 0{,}9 K_{МЕ}\ . \qquad (14)$$

Установлено также, что коэффициент вариации для расчетного значения водопроницаемости торфа $Cv_{\overline{K}_р}$ связан с коэффициентом вариации для выборочных данных $Cv_{\overline{K}_с}$ соотношением:

$$Cv_{\overline{K}_р} = 0{,}012\, Cv_{\overline{K}_с} \exp(11{,}2/\sqrt{n}), \qquad (15)$$

$$Cv_{\overline{K}} = \sqrt{\exp \sigma^2_{\overline{\ln k_i}} - 1}\ . \qquad (16)$$

Среднее из максимальных отклонений расчетных уровней грунтовых вод от фактических вследствие плановой изменчивости коэффициентов фильтрации торфя-

ной залежи при значениях $\sigma_{\overline{\ln k_i}} \leqslant 1{,}5$ и $m_н \geqslant 3$ определяют по уравнению:

$$\Delta h_{max} = h_0 [0{,}08 (1{,}26 + \sigma_{\overline{\ln h_i}}) \exp (3{,}07/m_н) - 1], \quad (17)$$

где h_0 — превышение УГВ в междренье над уровнем воды в дрене, м.

По результатам расчетов [формулы (7) ... (16)] для получения расчетного значения коэффициента фильтрации торфа в генетически однородных залежах с точностью до 10 % объем выборки при значении $\sigma_{\overline{\ln k_i}} \leqslant 0{,}8$ не должен превышать 16 (табл. 4).

4. Оценка показателя точности выборочных и расчетных значений водопроницаемости торфа в зависимости от объема выборки

n	$Cv_{\overline{K}_c}$	$\varepsilon_{\overline{K}_c}$	$Cv_{\overline{K}_p}$	$\varepsilon_{\overline{K}_p}$
9	0,95	0,67	0,48	0,34
16	0,95	0,44	0,19	0,09
25	0,95	0,34	0,11	0,04
36	0,95	0,28	0,07	0,02
49	0,95	0,23	0,06	0,01

Примечание. $\sigma_{\overline{\ln \kappa_i}}$, $p = 0{,}95$.

В процессе осушения болот водопроницаемость торфа ниже бытовых УГВ изменяется во времени. По данным натурных наблюдений эти изменения учитывают следующей эмпирической формулой:

$$K_p^э = \frac{\overline{K}_p + \overline{K}_n \cdot t/t_0}{1 - t/t_0}, \quad (18)$$

где $K_p^э$ — расчетное значение коэффициента фильтрации k торфа к периоду осушения длительностью t, м/сут; $\overline{K}_p$ — то же, в начале осушения; $\overline{K}_n$ — предельное значение коэффициента фильтрации торфа ниже бытовых УГВ (табл. 5), м/сут; $t = 0{,}09$ — эмпирический коэффициент, т.

Предельное значение процентного содержания твердого вещества торфа в единице объема можно вычислить по формуле:

$$m_1 = m_0 + \beta S_0, \quad (19)$$

где m_0 — процентное содержание твердого вещества единицы объема до осушения, $m_0 = 5 \ldots 8$ %; S_0 — расчетная глубина стояния УГВ в междренье, м; $\beta = 4 \ldots 6$ — эмпирический коэффициент, 1/м.

5. Значения $\overline{K_n}$ (м/сут) в зависимости от процентного содержания твердого вещества в единице объема торфа m_1 и его степени разложения R

m_1, %	R, %					
	25	30	35	40	45	50
10	0,57	0,52	0,47	0,43	0,38	0,33
11	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,26
12	0,33	0,31	0,28	0,26	0,24	0,21
13	0,26	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17

Значения выборочных определений коэффициентов фильтрации торфа не должны зависеть от пространственных координат местности. Поэтому статистическому анализу выборки должен предшествовать анализ пространственной изменчивости значений k.

Для количественной оценки пространственной изменчивости выборочных данных целесообразно использовать систематическую сеть опробований по нескольким створам, расположенным в направлении наиболее вероятного (по данным рекогносцировочных исследований) закономерного изменения значений k (по нормали к горизонталям поверхности залежи и минерального дна).

Для выявления режима изменчивости значений k в плане применяют критерий Спирмена с использованием формулы (1) и данных таблицы 6. Если вычисленные по формуле (1) значения коэффициента ранговой корреляции близки к нулю или меньше критических значений r_S, то выборочные значения коэффициента фильтрации можно рассматривать как случайные и для расчетов применять формулы (7) ... (18). В противном случае на исследуемом участке торфяной залежи следует более дробно выделить генетически однородные элементы в соответствии с ГОСТ 20522—75. Новую сеть опробований на повторно выделенных элементах размещают аналогично вышеизложенному с максимальным использованием результатов первичных исследований. Для исключения возможных грубых ошибок необходимо проверить выборочные данные, используя формулу (2) и значения ν.

Пример 1. В результате фильтрационного опробования торфяной залежи методом восстановления уровней воды в скважине по-

лучено 16 значений коэффициента фильтрации торфа. Все скважины располагали на равном расстоянии друг от друга и в одном створе, перпендикулярном по отношению к водоприемнику. Необходимо оценивать статистическую устойчивость выборочных данных и, если исследуемый участок в фильтрационном отношении однороден, установить расчетное значение коэффициента фильтрации торфа $\overline{K_p}$ на момент изысканий, а также оценить его точность.

Исходные данные и результаты предварительной обработки выборки приведены в таблице 6.

По формуле (1) коэффициент

$$r_S = 1 - 6 \cdot 644/(16^3 - 16) = 0{,}05.$$

При $n = 16$ по критическим значениям ранговой корреляции $r_S = 0{,}47$. Поскольку выполняется условие $r_S < \overline{r_S}$, выборочные значения коэффициента фильтрации можно рассматривать как случайные величины.

6. Исходные данные и результаты предварительной обработки выборки

k_i, м/сут	$\ln k_i$	Оценка рангов		$d_i = n_i - n_j$	d_i^2	$\ln^2 \overline{\kappa}_i$
		n_i	n_j			
0,695	—0,364	1	7	—6	36	0,132
0,267	—1,318	2	2	0	0	1,737
2,449	0,896	3	14	—11	121	0,803
0,925	—0,078	4	9	—5	25	0,00
0,441	—0,818	5	5	0	0	0,669
1,564	0,447	6	13	—7	49	0,200
,553	0,440	7	12	—5	25	0,194
0,361	—1,019	8	4	4	16	1,038
3,065	1,120	9	16	—7	49	1,254
0,199	—1,600	10	1	9	81	2,592
2,472	0,905	11	15	4	16	0,819
0,316	—1,153	12	3	9	81	1,329
0,551	—0,596	13	6	7	49	0,355
1,004	0,004	14	10	4	16	0
1,313	0,272	15	11	4	16	0,074
0,818	—0,201	16	8	8	64	0,040

$\sum_{i=1}^{n} = 17{,}933$ $\sum_{i=1}^{n} = -3{,}073$ $\sum_{i=1}^{n} = 644$ $\sum_{i=1}^{n} = 11{,}242$

По формуле (11) получаем значение:

$$\overline{\ln k_i} = -3{,}073/16 = -0{,}192.$$

По формуле (12) значение:

$$\sigma_{\ln k_i} = \sqrt{\frac{1}{16-1}\left[11{,}242 - \frac{1}{16}(-3{,}073)^2\right]} = 0{,}843.$$

Далее проверяем выборку на предмет исключения грубых ошибок в определении коэффициентов фильтрации.

По формуле (3) вычисляем значение:

$$\sigma^{\text{см}}_{\ln k_i} = \sqrt{(16-1)/16} \cdot 0{,}843 = 0{,}816.$$

Далее проверяем выполнение условия (2). По таблице 6 $\ln^{\max} k_i = +1{,}12$, $\ln^{\min} k_i = -1{,}60$. При $n=16$ $\nu=2{,}67$. Тогда при $\ln^{\min} k_i$ имеем $1{,}792 < 0{,}816 \cdot 2{,}67$, $1{,}792 < 2{,}179$; при $\ln^{\max} k_i$ — $1{,}312 < 2{,}179$. Условия выполняются; следовательно, грубые метрологические ошибки в выборке отсутствуют. Максимальное и минимальное значения коэффициента фильтрации не следует исключать при дальнейшем анализе.

Тогда по формулам (7), (8) и (9) коэффициенты

$$K_{\text{МЕ}} = \exp(-0{,}192) = 0{,}825 \text{ м/сут},$$

$$\overline{K}_{\text{с}} = \exp(-0{,}192 + 0{,}5 \cdot 0{,}845^2) = 1{,}77 \text{ м/сут},$$

$$\overline{K}_{\text{р}} = 1{,}177(1 - 0{,}43 \cdot 0{,}843) = 0{,}750 \text{ м/сут}.$$

По формуле (14) коэффициент

$$\overline{K}_{\text{р}} = 0{,}9 \cdot 0{,}825 = 0{,}742 \text{ м/сут}.$$

Таким образом, расчетное значение коэффициента фильтрации торфа $\overline{K}_{\text{р}}$ на 46 % ниже значения математического ожидания для выборочных данных $\overline{K}_{\text{с}}$.

Коэффициент вариации исходной выборки определяем по формуле (16):

$$Cv_{\overline{K}_{\text{с}}} = (\exp 0{,}843^2 - 1)^{0{,}5} = 1{,}018.$$

Коэффициент вариации расчетного значения находим по формуле (15):

$$Cv_{\overline{K}_{\text{р}}} = 0{,}012 \cdot 1{,}018 \exp(+11{,}2/\sqrt{16}) = 0{,}201.$$

Показатель точности расчетного значения коэффициента фильтрации для выборки объемом $n=16$ определяем по формуле (13):

$$\varepsilon_{\overline{K}_{\text{р}}} = 1{,}76 \cdot 0{,}201/\sqrt{16-2} = 0{,}095.$$

Пример 2. Необходимо установить расчетное значение коэффициента фильтрации торфа спустя 1, 2, 5 и 25 лет после осушения залежи, если значения $\overline{K}_{\text{р}} = 4{,}2$ м/сут, $m_0 = 7$ %, $R = 35$ %, $S_0 = 0{,}8$ м.

По формуле (19) при значениях $m_0 = 7$ % и $\beta = 5$ определяем значения:

$$m_1 = 7 + 50{,}8 = 11\%.$$

По таблице 5 при значениях $m_1 = 11$ % и $R = 35$ % находим коэффициент $\overline{K}_{\text{п}} = 0{,}36$ м/сут.

Далее по формуле (18) при длительности осушения один год коэффициент

$$\overline{K}^{э}_{р} = \frac{4{,}2+0{,}36\cdot 1/0{,}09}{1+1/0{,}09} = 0{,}68 \text{ м/сут},$$

для 2, 5 и 25 лет соответственно коэффициент $\overline{K}^{э}_{р}=0{,}60$; 0,44 и 0,37 м/сут.

Пример 3. Необходимо оценить погрешность в определении УГВ вследствие плановой неоднородности торфяной залежи при следующих значениях параметров: $B=48$ м; $\Delta m=1{,}2$ м; $\sigma_{\overline{\ln k_i}}=0{,}8$; $h_0=0{,}5$ м.

Вычисляем значение $m_н = B/2\Delta m = 48/2\cdot 1{,}2 = 20$ м².

По формуле (17) при значении $h_0=0{,}5$ м получаем значение:

$$\Delta h_{max} = 0{,}5[0{,}08(1{,}26+0{,}8)\exp(3{,}07/20) - 0{,}1] = 0{,}046 \text{ м}.$$

Таким образом, фактические значения напоров в междренье вследствие изменчивости водопроницаемости торфа в плане могут отличаться от расчетных на 9,2 %.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин Н. И. и др. Оценка точности определения водопроницаемости горных пород. — М.: Наука, 1971. — 150 с. 2. Зеленин И. В. Оценка параметров фильтрации водоносных пластов с применением методов математической статистики. — Кишинев: Штиинца, 1976. — 224 с.

УДК 627.824.012.4.023 : 532.546

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ И РАЗМЕРОВ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ДВИЖЕНИЯ

Н. И. ДРУЖИНИН, член-корреспондент ВАСХНИЛ

Всесоюзный сельскохозяйственный институт заочного образования

Для фильтрационных и гидрогеологических расчетов необходимо знать водопроницаемость грунтов, характеризуемую коэффициентом фильтрации k. Значения k наиболее точно определяют полевыми методами (опытные откачки и нагнетания), позволяющими получать значение водопроницаемости горных пород в природных условиях без нарушения структуры и плотности сложения, или лабораторными методами, по сетке движения и специальным графикам, построенным методом ЭГДА (математическое моделирование). Менее точно значения k определяют методами физического моделирования (на приборах типа Дарси или в грунтовых лотках), по образцам грунтов нарушенной структуры. Результаты

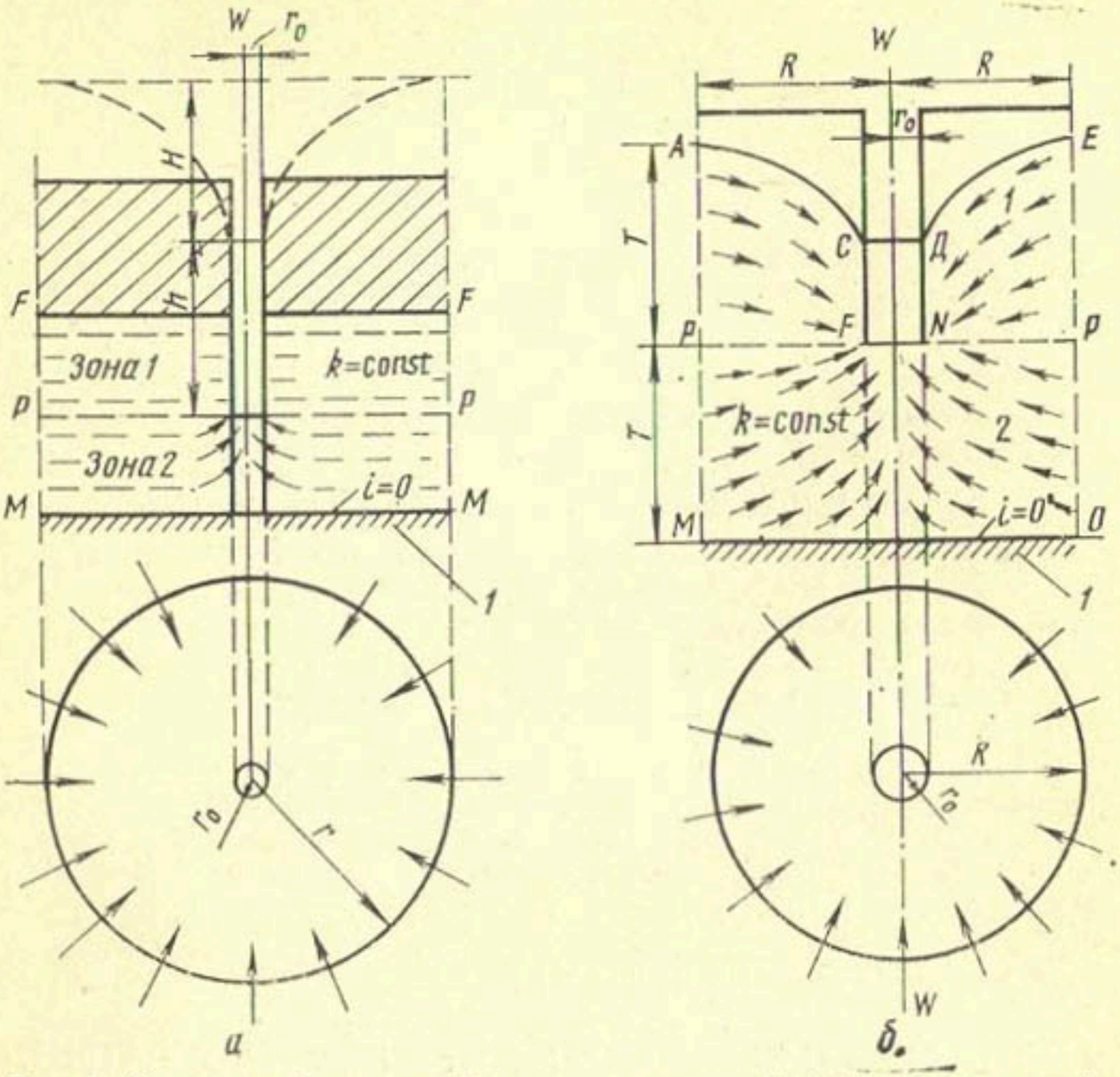


Рис. 1. Схема разбивки на фрагменты напорной (*а*) и безнапорной (*б*) области фильтрации.

таких исследований характеризуют водопроницаемость грунтов в малом объеме (вблизи места взятия образца). Если полевые или лабораторные методы трудны, то для ориентировочных расчетов значения k получают по приближенным формулам на основе данных механического анализа и пористости грунта.

1. При определении дебита несовершенной скважины применяют метод откачек. Разобьем поток на параллельно присоединенные фрагменты и разделим (рис. 1) условной водопроницаемой бесконечно тонкой горизонтальной плоскостью $P-P$, проведенной через дно скважины-колодца, на две зоны так, чтобы первая зона питала скважину-колодец через его боковые стенки, а вторая — через дно. Введение плоскости несколько уменьшит приток воды $Q_б$ через боковые стенки

скважины и частично увеличит через дно колодца. Суммарный же приток воды Q в скважину будет меньшего значения. Ошибка при расчете тем больше, чем меньше радиус скважины. Это подтверждает предельный (теоретический) случай (рис. 2), при котором радиус скважины $r_0=0$ и $Q_д=0$; следовательно, ниже плоскости $P-P$ будет расположена застойная зона. Но в действительности эта зона питает (хотя и незначительно) скважину через боковые стенки, так как грунтовой поток в действительной фильтрационной схеме ограничен снизу линиями тока $MM'O$ и $MM''O$. Таким образом, для предельного случая разбивка на фрагменты дает явное уменьшение расхода, а следовательно, и уменьшение коэффициента фильтрации k в рассматриваемой области по сравнению с действительным его значением $k_д$.

2. Определяем значение k. Суммарный приток воды в скважину

$$Q=Q_б+Q_д \cdot \qquad (1)$$

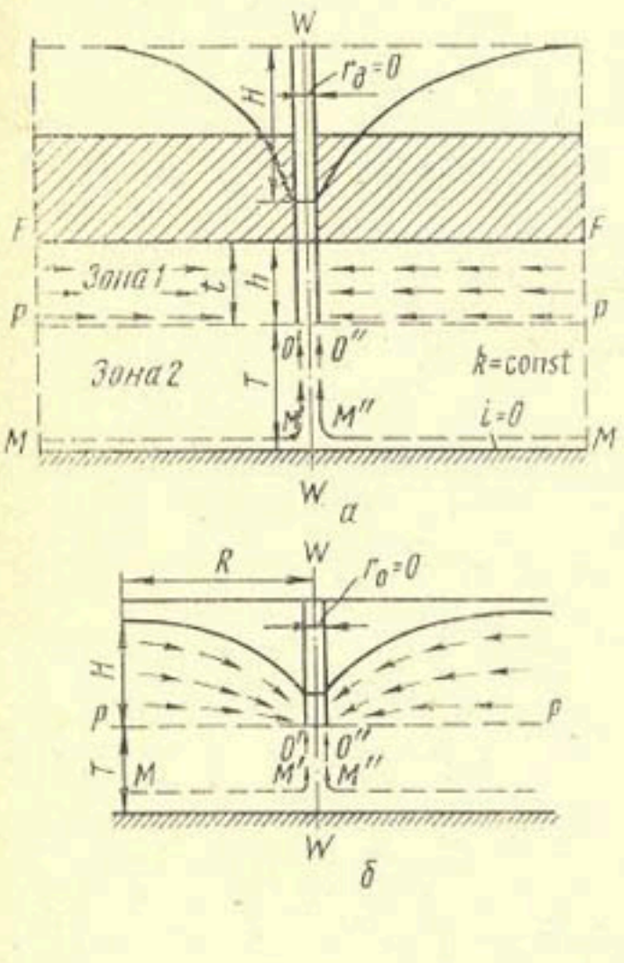


Рис. 2. Области фильтрации при радиусе $r_0=0$ напорного (*а*) и безнапорного (*б*) потоков:

1 — кривая напоров; *2* — водонепроницаемый слой.

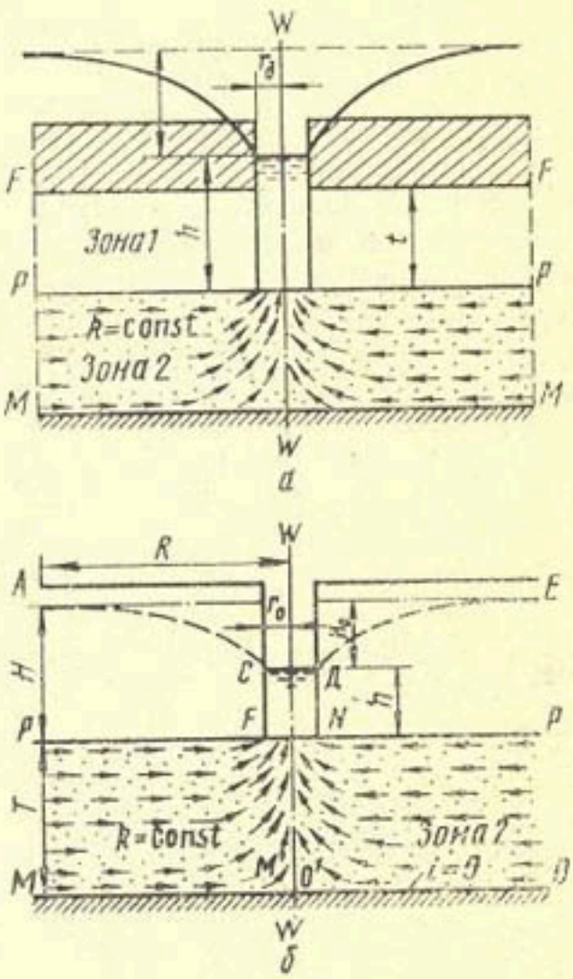


Рис. 3. Зоны фильтрации, питающие дно колодца:

а — напорного потока; *б* — безнапорного потока.

Для случая совершенного безнапорного колодца (зона 1) по формуле Дюпюи

$$Q_б = 1{,}36k(T_1 - h^2)/\lg(R/r_0), \qquad (2)$$

а для случая совершенного напорного колодца (зона 1)

$$Q_б = 2{,}73\,ktH/\lg(R/r_0). \qquad (3)$$

Значения $Q_д$ в обоих случаях (рис. 3) определяют по одной из следующих формул, полученных автором при исследовании второй зоны фильтрации на электрической модели:

а) при известном радиусе скважины r_0 (или при отсутствии водоупора)

$$Q_д = \rho kHr_0/R_c r_м \simeq q_1 kHr_0; \qquad (4)$$

б) при известной конечной глубине T водопроницаемого слоя

$$Q_д = \rho kHT/R_c\, T_м = q_2 kHT; \qquad (5)$$

в) при известном радиусе влияния R скважины

$$Q_д = \rho kHR/R_c\, R_м = q_3 kHR, \qquad (6)$$

где R_c — полное электрическое сопротивление модели второй зоны области фильтрации, Ом; ρ — удельное электрическое сопротивление электропроводного материала модели, Ом·см; $r_м$, $T_м$, $R_м$ — размеры на модели соответственно радиуса скважины, глубины электропроводного материала области фильтрации и радиуса влияния скважины, см; H, k — соответственно напор (м) и коэффициент фильтрации, (м/сут); q_1, q_2, q_3 — коэффициенты формы модели, численно равные приведенному или единичному расходу $Q_д$, см³/с.

При $k=1$, $H=1$, $r_0=1$

$$q_1 = \rho/R_c\, r_м = Q_д; \qquad (7)$$

при $k=1$, $H=1$, $T=1$

$$q_2 = \rho/R_c T_м = q_1 r_м/T_м = q_1 r_0/T; \qquad (8)$$

при $k=1$, $H=1$, $R=1$

$$q_3 = \rho/R_c R_м = q_1 r_м/R_м = q_1 r_0/R, \qquad (9)$$

или

$$q_3 = \rho/R_c R_м = q_2 T_м/R_м = q_2 T/R, \qquad (10)$$

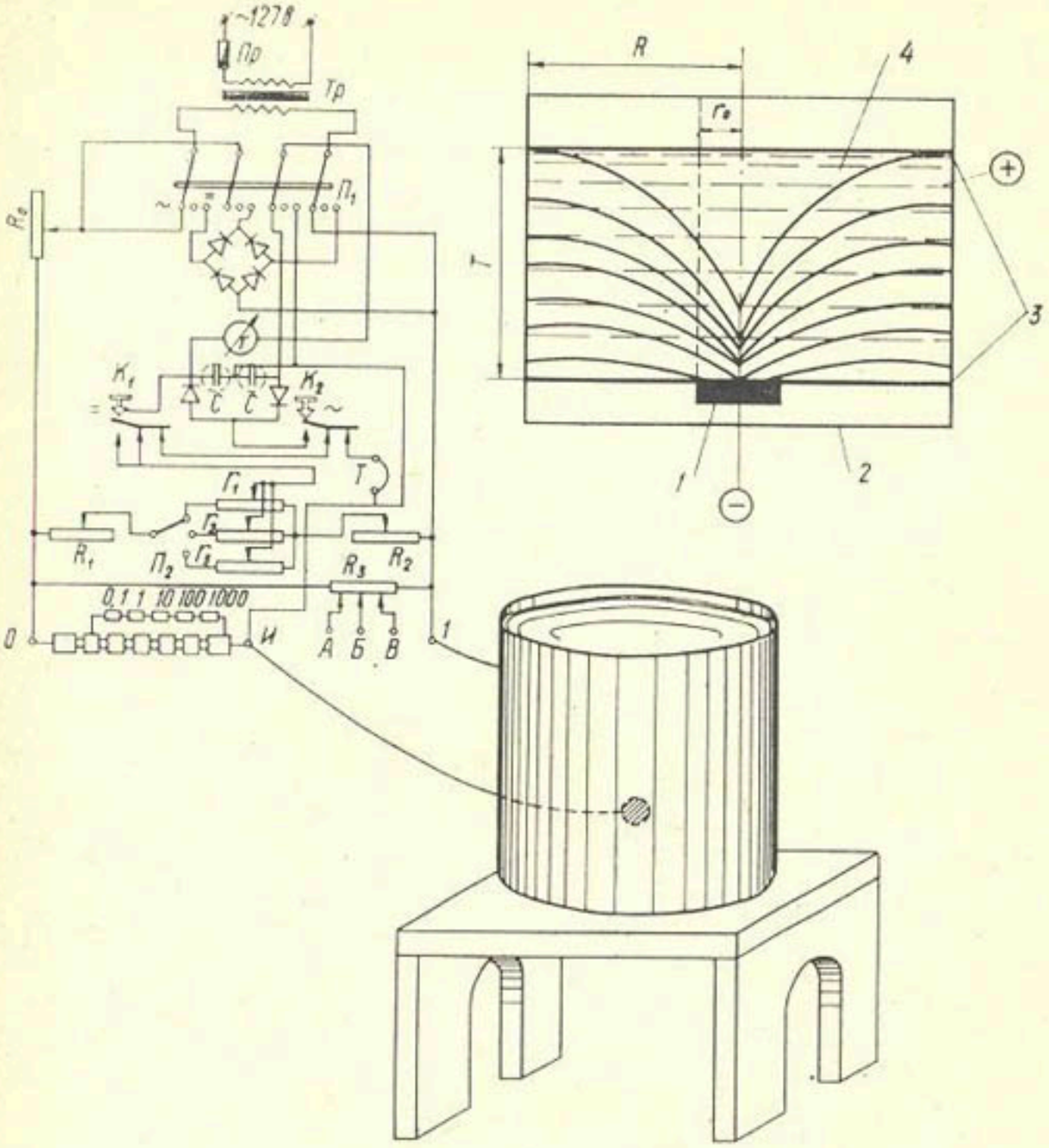


Рис. 4. Схема (*а*) и вертикальное сечение модели (*б*) опыта по определению расхода q_1 методом ЭГДА:

1 — ртуть; *2* — дерево; *3* — латунь; *4* — жидкость.

Таким образом, используя формулы (1), (3), (4) ... (6), получим коэффициент k по откачке расхода Q из напорного несовершенного колодца в виде

$$k=\frac{Q\lg(R/r_0)}{H[2{,}73t+q_1r_0\lg(R/r_0)]}=\frac{Q\lg(R/r_0)}{H[2{,}73t+q_2T\lg(R/r_0)]}=$$

$$=\frac{Q\lg(R/r_0)}{H[2{,}73t+q_3R\lg(R/r_0)]}. \qquad (11)$$

Точно так же, используя формулы (1), (2), (4)... (6), получим коэффициент k по откачке расхода Q из безнапорного несовершенного колодца в виде

$$k = \frac{Q \lg(R/r_0)}{1{,}36(T_1^2 - h^2) + q_1 H r_0 \lg(R/r_0)} = \frac{Q \lg(R/r_0)}{1{,}36(T_1^2 - h^2) + q_2 H T \lg(R/r_0)} = \frac{Q \lg(R/r_0)}{1{,}36(T_1^2 - h^2) + q_3 H R \lg(R/r_0)} . \quad (12)$$

Следовательно, если известны значения Q, H, T, T_1, h, R, r_0 и приведенный расход q_r (например, одно из значений q_1, q_2 или q_3), то определить коэффициент k нетрудно. Для нахождения q_r автором выполнены опыты на модели ЭГДА в условиях пространственной задачи при однородном грунте. Рассмотрено 15 серий фильтрационного напорного потока, поступающего в скважину через дно колодца, в зависимости от T/r_0. Каждая серия состояла из 17 схем (опытов) в зависимости от R/r_0 (рис. 4). В результате получены значения q_1 (табл. 1) в виде

$$q_1 = f(R/r_0, T/r_0). \quad (13)$$

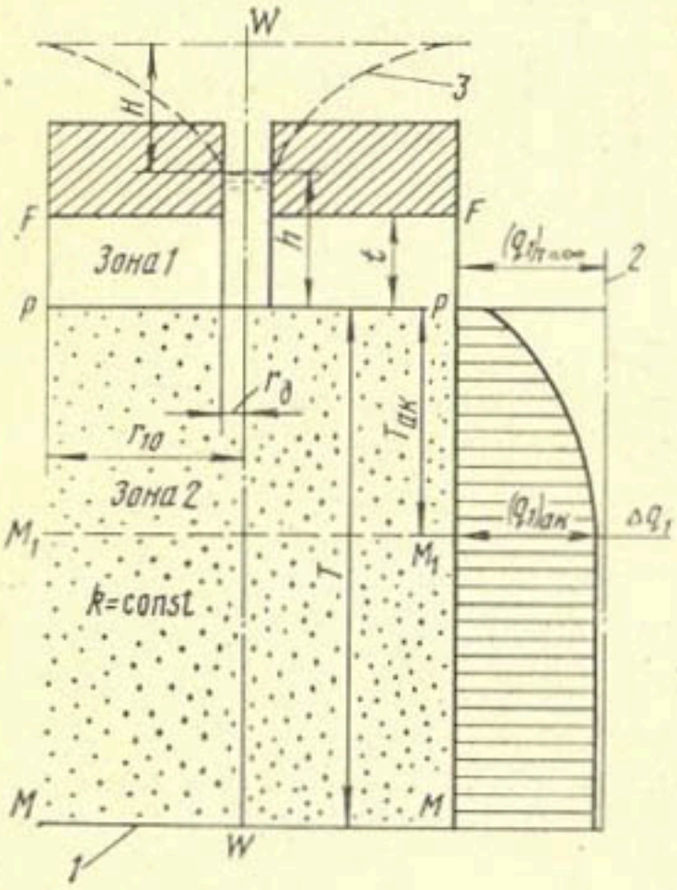


Рис. 5. Зона 2 напорного грунтового потока:

1 — водопроницаемый слой; *2* — асимптота; *3* — кривая напоров.

При $r_0 = \text{const}$ и $R = \text{const}$ q_1 возрастает с увеличением T, причем особенно высокую интенсивность прироста наблюдают при изменении T в пределах 0... 2 r_0; при $r_0 = \text{const}$ и $T = \text{const}$ q_1 уменьшается с возрастанием R, причем резко уменьшается, когда R изменяется в пределах r_0... 5 r_0.

Данные таблицы можно пересчитать по формулам (8) и (9) на значения q_2 и q_3.

Рассмотрим активную зону $T_{ак}$, $R_{ак}$, $r_{0\,ак}$

1. Определение коэффициента формы модели q_1

R/r_0 \ T/r_0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	15,0	25,0	100,0	500,0
1,5	3,28	4,50	5,20	5,45	5,64	5,70	5,92	6,05	6,14	6,22	6,32	6,59	6,85	7,45	8,33
2,0	2,40	3,23	4,43	4,85	4,97	5,10	5,32	5,45	5,60	5,70	5,81	6,23	6,69	7,08	7,65
2,5	2,15	2,76	3,90	4,40	4,82	4,71	5,08	5,23	5,44	5,50	5,63	6,09	6,57	6,87	7,53
3,0	1,90	2,54	3,31	4,02	4,68	4,55	4,85	5,03	5,28	5,30	5,45	5,95	6,47	6,77	7,42
4,0	1,53	2,34	2,85	3,35	3,85	4,10	4,50	4,65	4,80	4,95	5,10	5,70	6,27	6,53	7,20
5,0	1,27	2,19	2,68	3,03	3,38	3,73	4,06	4,39	4,45	4,60	4,75	5,40	6,07	6,35	7,00
6,0	1,20	2,01	2,57	2,87	3,12	3,37	3,63	3,88	4,12	4,28	4,45	5,20	5,83	6,14	6,78
7,0	1,14	1,85	2,50	2,78	2,94	3,14	3,38	3,61	3,85	4,05	4,20	4,80	5,65	5,85	6,57
8,0	1,10	1,73	2,41	2,73	2,88	3,02	3,18	3,36	3,58	3,78	3,96	4,50	5,33	5,60	6,35
9,0	1,08	1,60	2,33	2,69	2,84	2,96	3,12	3,28	3,42	3,56	3,75	4,34	5,10	5,35	6,15
10,0	1,06	1,52	2,25	2,64	2,80	2,92	3,10	3,25	3,40	3,55	3,61	4,19	4,91	5,10	5,87
15,0	0,98	1,37	2,05	2,52	2,72	2,82	2,92	3,01	3,10	3,18	3,25	3,65	3,90	4,01	4,65
20,0	0,93	1,27	1,94	2,42	2,67	2,77	2,85	2,95	3,04	3,12	3,20	3,54	3,71	3,80	4,08
25,0	0,89	1,24	1,86	2,37	2,60	2,74	2,84	2,91	3,00	3,08	3,16	3,48	3,62	3,74	4,00
100,0	0,86	1,22	1,80	2,25	2,42	2,66	2,69	2,79	2,85	2,92	2,93	3,20	3,36	3,48	3,66
250,0	0,83	1,21	1,79	2,22	2,38	2,52	2,63	2,73	2,79	2,84	2,88	3,02	3,29	3,39	3,54
500,0	0,80	1,20	1,78	2,20	2,35	2,50	2,59	2,68	2,75	2,80	2,85	3,07	3,24	3,35	3,50

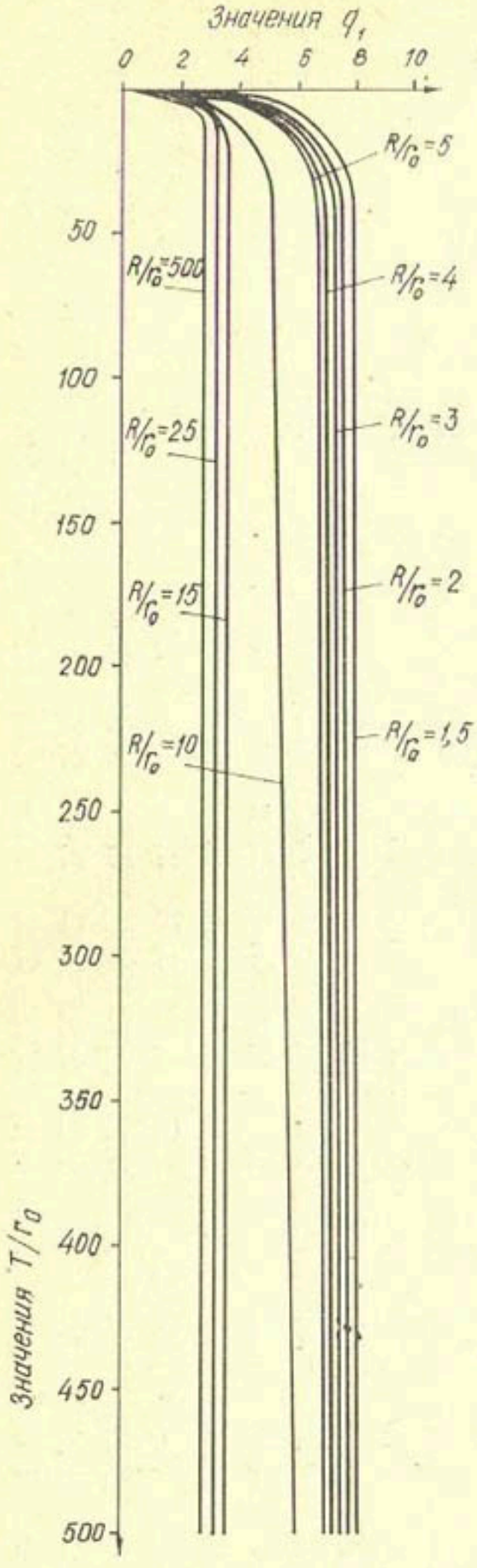


Рис. 6. График изменения приведенного расхода $q_1=f(R/r_0,\ T/r_0)$.

напорного потока. Зона 2 ограничена водонепроницаемыми плоскостями $P-P$ и $M-M$ (рис. 5). Рассмотрим неполный приток $Q_д$, а лишь его приведенную часть, то есть q_1. Пусть при $r_0=\text{const}$, $R=\text{const}$ и $H=\text{const}$ значение T постепенно возрастает от нуля до бесконечности за счет воображаемого опускания поверхности $M-M$. При этом q_1 будет также увеличиваться, стремясь к некоторому предельному значению, равному $(q_1)_{T=\infty}$. Таким образом, при постоянных прочих условиях q_1 — функция глубины водопроницаемого слоя и изображается некоторой кривой $q_1=f(T)$. По результатам анализа кривой некоторому значению $T=T_{ак}$ соответствует значение $(q_1)_{ак}$, а при $T=\infty$ имеем $(q_1)_{T=\infty}$. Если равенство

$$(q_1)_{T=\infty}-(q_1)_{ак}=\Delta q_1 \qquad (14)$$

даст столь малое значение, что им можно практически пренебречь [по сравнению с $(q_1)_{ак}$], то плоскость $M-M$, отстоящую от плоскости $P-P$ на значение T, можно принимать за нижнюю границу активной зоны. Следовательно, если действительное значение T будет равно или больше $T_{ак}$, то в расчетах можно принимать $T=T_{расч}=T_{ак}$.

В действительных условиях значение q_1 изменяется также и с изменением радиуса влияния колодца. Для обобщения результатов исследований изменение q_1 дано в зависимости от отношений T/r_0 и R/r_0 (рис. 6). Изменение значения q_1, соответствующего отношению $T/r_0=500$ и принятого за 100 %, показано в таблице 2. Вводя в расчет, например, $T/r_0=100$ вместо $T/r_0=500$, получают преуменьшенный расход по сравнению с приведенным q_1, соответствующим $T/r_0=500$ при $R/r_0=500$, на 4,2 %, а при $R/r_0=2$ — на 7,5 %.

2. Изменение значения q_1 в зависимости от T/r_0 и R/r_0 по сравнению с q_1, соответствующим $T/r_0=500$

T/r_0	q_1, см³/с	$100q_1/(q_1)_{T/r_0=500}$, %	Уменьшение q_1 (%) по сравнению с q_1, соответствующим $T/r_0=500$, см³/с
		$R/r_0=500$	
500	3,50	100	0,0
100	3,35	95,8	4,2
25	3,24	92,6	7,4
10	2,85	81,5	18,5
5	2,50	71,5	28,5
0	0	0	100,0
		$R/r_0=2$	
500	7,65	100	0,0
100	7,08	92,5	7,5
25	6,64	87,5	12,5
10	5,81	76,0	24 0
5	4,90	64,0	36,0
0	0	0	100,0

Условно принимаем за отношения $(T/r_0)_{ак}$ такое значение T/r_0, при котором приведенный расход $(q_1)_{(T/r_0)_{ак}}$ составляет 99 % приведенного расхода $(q_1)_{T/r_0=500}$, то есть дальнейшее увеличение значений T/r_0 сверх значений $(T/r_0)_{ак}$ дает прирост приведенного расхода меньший или равный 0,01 $(q_1)_{T/r_0=500}$. При этом $(T/r_0)_{ак}=f(R/r_0)$ легко определить по графику (рис. 7).

Для определения $R_{ак}$ допускаем, что при $r_0=\text{const}$, $T=\text{const}$, $H=\text{const}$ радиус влияния или предел действия радиуса R колодца постепенно изменяется в пределах $R=r_0 \ldots R=\infty$ (рис. 8). Изменение значений q_1 при

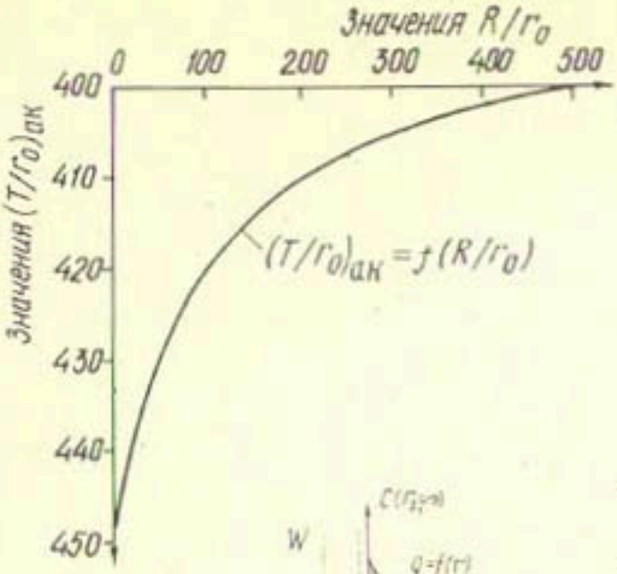


Рис. 7. График $(T/r_0)_{ак} = f(R/r_0)$.

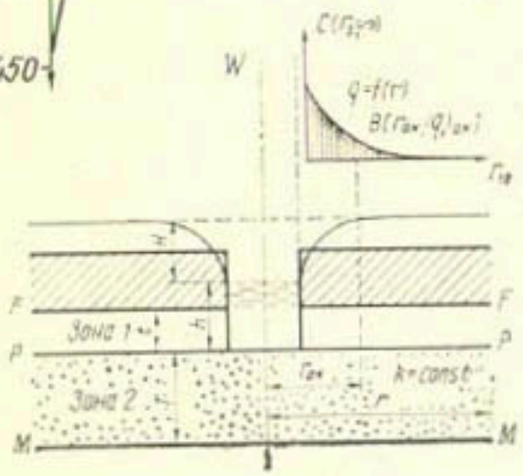


Рис. 8. Схема к определению значения $(r_0)_{ак}$.

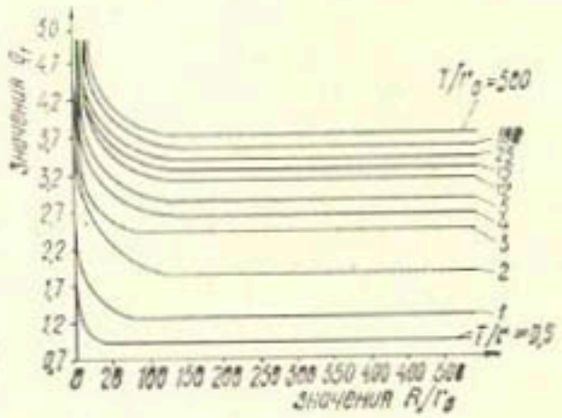


Рис. 9. Кривая изменения приведенного расхода q_1 в зависимости от отношения R/r_0 для различных значений T/r_0.

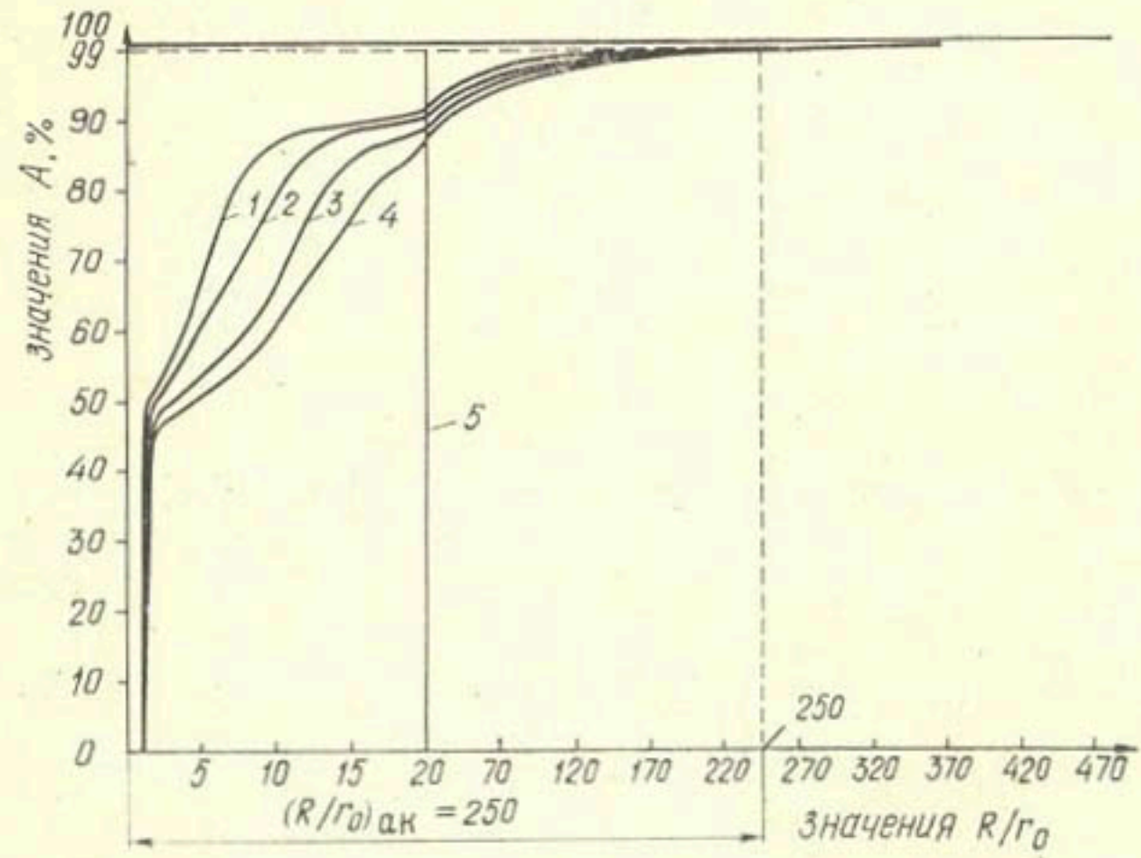


Рис. 10. Изменение значений $(q_1)_{R/r_0=500}/(q_\Delta)_{R/r_0}$ (в процентах) в зависимости от отношений R/T и T/r_0:

1 — $T/r_0=5$; 2 — $T/r_0=10$; 3 — $T/r_0=100$; 4 — $T/r_0=500$; 5 — линия изменения масштаба значений R/r_0.

этом изображаем кривой $q_1=f(R)$, которая позволяет сделать следующие заключения:

при $R\to r_0$ $dq_1/dR\to\infty$, то есть угол α, образованный пересечением горизонтальной линии с касательной, проведенной через точку $C(r_0, \infty)$ кривой $q_1=f(R)$, стремится к значению $\pi/2$;

при $R\to\infty$ $dq_1/dR\to 0$, или угол β наклона касательной к горизонту в точке B $[R_{ак}, (q_1)_{ак}]$, лежащей на кривой $q_1=f(R)$, стремится к значению π.

Для обобщения результатов исследования рассмотрим изменение расхода q_1 не от абсолютных значений R и T, а от их относительных R/r_0 и T/r_0. При этом (рис. 6,9) значение q_1 будет не только функцией радиуса влияния R колодца, но и функцией глубины водопроницаемого слоя T, то есть $q_1=f(R/r_0, T/r_0)$. При $T/r_0=\text{const}$ и $H=\text{const}$ изменение приращения $(q_1)_{R/r_0=500}/q_{1R/r_0}$ в зависимости от значений T/r_0 и R/r_0 показано на рисунке 10. За предел радиуса влияния R колодца принимаем такое значение $R/r_0=(R/r_0)_{ак}$, при котором дальнейшее возрастание R/r_0 сверх значения $(R/r_0)_{ак}$ дает уменьшение значений q_1 на 1 % по сравнению с q_1, соответствующим $R/r_0=500$. При этом $(R/r_0)_{ак}=250$, откуда для всех значений T/r_0, лежащих в пределах $5<T/r_0<500$, $R_{ак}=250\ r_0$ (рис. 10). Таким образом, если действительное значение R будет в пределах $\infty>R>250\ r_0$, то при расчете можно принимать $R=R_{расч}=R_{ак}=250\ r_0$, так как это допущение внесет в расчет ошибку, равную или меньше 1 %.

Чтобы определить значение активного радиуса колодца $(r_0)_{ак}$, рассмотрим зону фильтрации ту, что и при определении $T_{ак}$, но полагаем значения r_0 переменными, а T, R, H — постоянными (рис. 11). Будем постепенно увеличивать значения радиуса колодца от нуля до какого-то большого положительного значения A. При этом значения q_1 также увеличиваются по закону, схематично представленному кривой $q_1=f(r_0)$. При некотором значении радиуса колодца $r_0=(r_0)_{ак}$ значение приведенного расхода равно $(q_1)_{ак}$, при котором разность

$$(q_1)_{r_0=A}-(q_1)_{ак}=\Delta q_1 \qquad (15)$$

мала и ею можно пренебречь. Значение $(q_1)_{r_0=A}$ зависит от R и T водопроницаемого слоя. Если принять $(q_1)_{r_0=A}=(q_1)_{r_0=10}$, то при $R=500$ $(q_1)_{r_0=A}=f(T/r_0, R/r_0)$

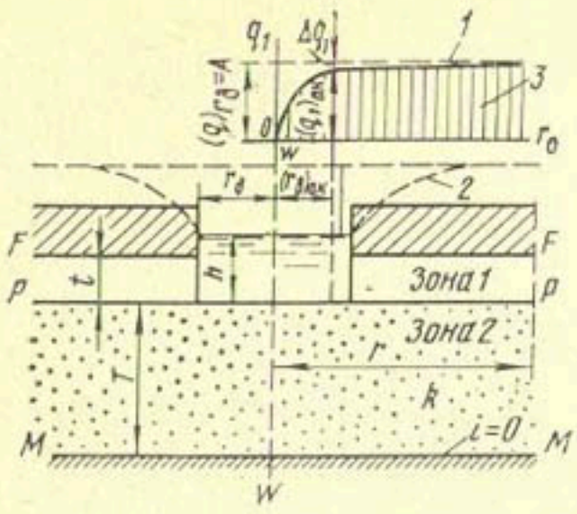


Рис. 11. Изменение расхода q_1 в зависимости от радиуса колодца r_0:
1 — асимптота; *2* — кривая напоров; *3* — эпюра $q_1 = f(r_0)$.

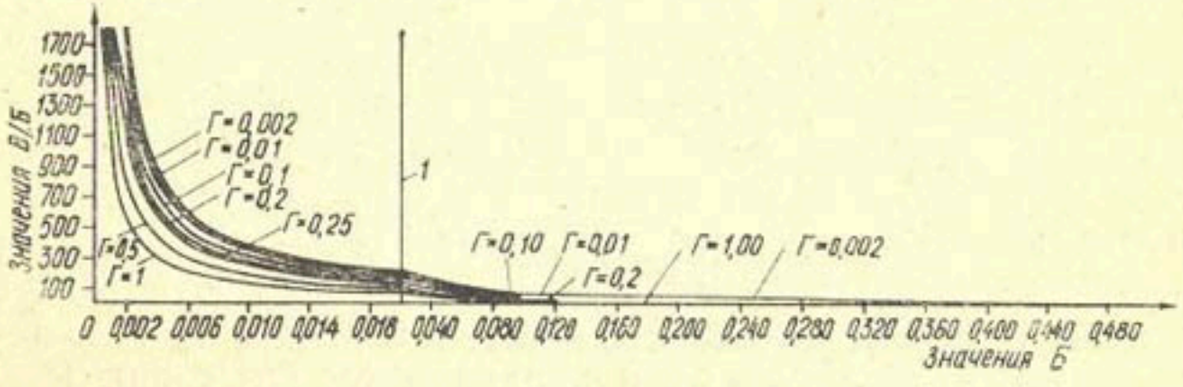


Рис. 12. Семейство кривых $\Gamma = f(Б, В/Б)$:
1 — линия изменения масштаба значений $ч/R$.

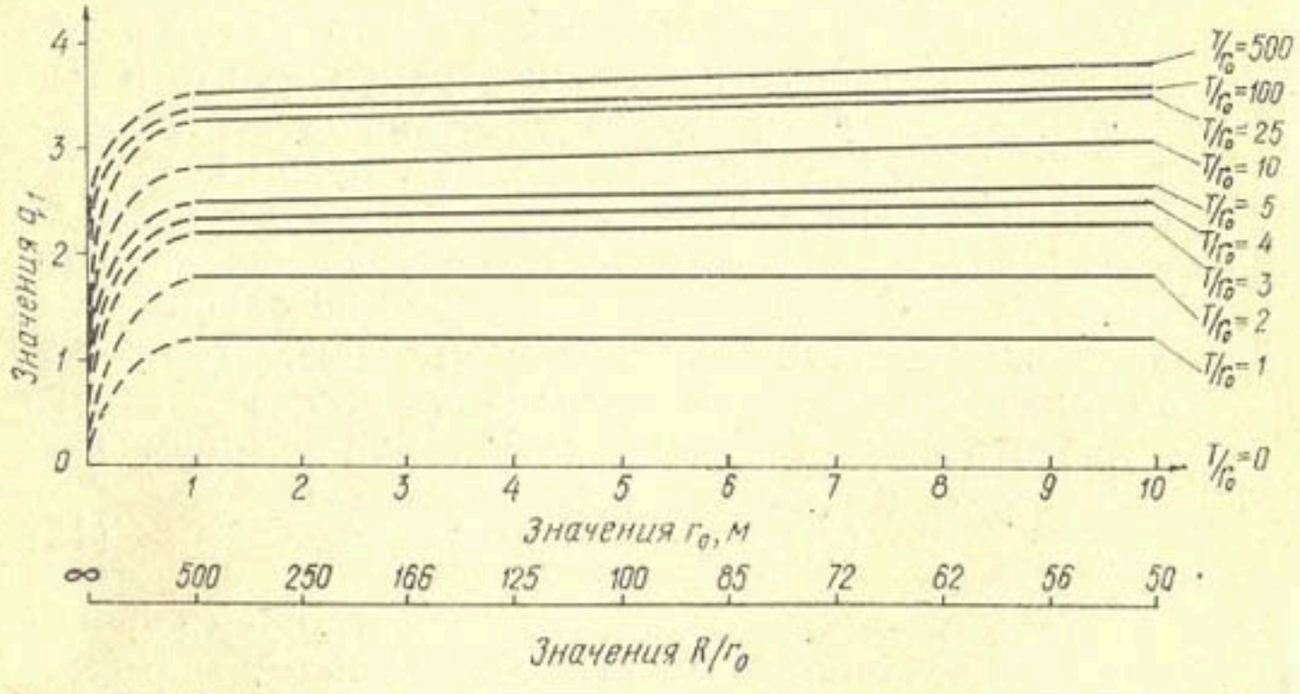


Рис. 13. График изменения расхода q_1 в зависимости от значений r_0 и T при $R = 500$.

3. Значения приведенного расхода $q_1 = f(T/r_0, R/r_0)$, см³/с

r_0	R/r_0	T/r_0								
		1	2	3	4	5	10	25	100	500
1	500,0	T 1	2	3	4	5	10	25	100	500
		q_1 1,200	1,780	2,200	2,350	2,500	2,820	3,240	3,350	3,500
2	250,0	T 2	4	6	8	10	20	50	200	100
		q_1 1,210	1,790	2,220	2,380	2,540	2,860	3,290	3,400	3,580
3	166,5	T 3	6	9	12	15	30	75	300	1500
		q_1 1,215	1,800	2,238	2,400	2,570	2,920	3,320	3,430	3,610
4	125,0	T 4	8	12	16	20	40	100	400	2000
		q_1 1,217	1,800	2,245	2,410	2,590	2,920	3,340	3,460	3,630
5	100,0	T 5	10	15	20	25	50	125	500	2500
		q_1 1,219	1,800	2,250	2,420	2,600	2,930	3,360	3,480	3,660
6	85,0	T 6	12	18	24	30	60	150	600	3000
		q_1 2,200	1,800	2,255	2,434	2,600	2,960	3,380	3,490	3,690
7	71,5	T 7	14	21	28	35	70	175	700	3500
		q_1 1,220	1,800	2,260	2,450	2,610	2,980	3,400	3,500	3,720
8	62,5	T 8	16	24	32	40	80	200	800	4000
		q_1 1,221	1,800	2,260	2,460	2,620	3,000	3,420	3,520	3,750
9	55,5	T 9	18	27	36	45	90	225	900	4500
		q_1 1,223	1,800	2,260	2,475	2,630	3,020	3,440	3,530	3,780
10	50,0	T 10	20	30	40	50	100	250	1000	5000
		q_1 1,225	1,800	2,270	2,490	3,640	3,040	3,460	3,550	3,810

4. Данные для построения семейства кривых Γ

Γ	0,002		0,01		0,1		0,2		0,25		0,5		1,0	
$Б$	$В$	$В/Б$	$В$	$В/Б$	$В$	$В/Б$	$В$	$В/Б$	$В$	$В/Б$	$В$	$В/Б$	$В$	$В/Б$
0,002	3,50	1 750,0	3,35	1 675,0	2,820	1 410,0	2,50	1 250	2,350	1 175	1,78	890,0	1,200	600,0
0,003	3,53	1 177,0	3,38	1 127,0	2,850	950,0	2,51	837,0	2,370	790	1,70	595,0	1,200	400,0
0,004	4,54	885,0	3,39	847,0	2,880	720,0	2,52	630,0	2,380	595	1,79	448,0	1,210	302,0
0,006	3,61	602,0	3,43	572,0	2,920	487,0	2,57	428,0	2,400	400	1,80	300,0	1,215	202,0
0,008	3,63	454,0	3,46	432,0	2,925	366,0	2,59	324,0	2,410	301	1,80	225,0	1,216	152,0
0,010	3,66	366,0	3,48	348,0	2,933	293,0	2,60	260,0	2,420	242	1,80	180,0	1,219	122,0
0 012	3,69	307,0	3,49	291,0	2,960	247,0	2,60	217,0	2,434	203	1,80	150,0	1,220	102,0
0,014	3,72	266,0	3,50	250,0	2,980	213,0	2,61	186,0	2,450	175	1,80	128,0	1,220	87,2
0,016	3,75	234,0	3,52	220,0	3,000	187,5	2,62	164,0	2,460	154	1,80	112,0	1,221	76,5
0,018	3,78	210,0	3,54	197,0	3,020	168,0	2,63	146,0	2,475	137	1,80	100,0	1,223	68,1
0,020	3,81	190,0	3,55	177,5	3,040	152,0	2,64	132,0	2,490	134	1,80	90,0	1,225	61,2
0,030	3,92	131,0	3,63	121,0	3,110	103,0	2,69	90,0	2,550	85	1,81	60,5	1,227	41,0
0,040	4,00	100,0	3,70	92,5	3,160	79,0	2,74	68,5	2,600	65	1,85	46,5	1,240	31,0
0,050	4,08	81,5	3,80	76,0	3,210	64,2	2,77	55,4	2,660	53	1,93	38,6	1,270	25,4
0,060	4,30	71,7	3,92	65,5	3,260	54,4	2,81	46,8	2,705	45	2,02	33,7	1,320	22,0
0,070	4,80	68,5	4,10	59,6	3,300	47,2	2,83	40,5	2,735	39	2,08	29,7	1,380	19,8
0 080	5,20	65,0	4,60	57,5	3,360	42,0	2,87	35,9	2,760	35	2,15	26,9	1,440	18,0
0,090	5,60	62,2	4,90	54,5	3,440	38,2	2,90	32,3	2,785	31	2,20	24,6	1,490	16,6
0,100	6,00	60,0	5,00	50,0	3,550	35,5	2,93	29,3	2,810	28	2,25	22,5	1,520	15,2
0,200	6,50	32,5	6,10	30,5	4,250	21,2	3,73	18,6	3,380	16	2,68	13,4	2,000	10,0
0,300	7,00	23,3	6,60	22,0	4,950	16,5	4,20	12,6	3,660	11	3,30	9,9	2,360	7,1
0,400	7,53	18,8	6,87	17,2	5,630	14,0	4,71	11,8	4,000	10	3,90	9,8	2,760	6,9
0,500	7,65	15,3	7,08	14,1	5,810	11,6	4,90	9,8	4,500	9	4,43	8,9	3,230	6,5

(табл. 3). Для определения значений $(r_0)_{ак}$ как функции от R/T обозначим через $Б$ значения r_0/R, через $В$ — соответствующие им q_1, через $Г = r_0/T$. Составим таблицу 4 и по ее данным построим семейство кривых $Г$ как функции от $Б$ и $В/Б$ (рис. 12). Условно считаем за $Б_{ак}$ такие значения r_0/R, при которых для различных кривых $Г$ отношение $В/Б = 1\,000$, то есть отношение приведенного расхода q_1 к радиусу колодца-скважины r_0, выраженному в долях от R, равно 1 000. По полученным данным определяем в долях от значения R $(r_0)_{ак}$ колодца-скважины в зависимости от R/T (рис. 13).

Приведенные таблицы и графики позволяют при определении коэффициентов фильтрации и размеров активной зоны грунтового потока непосредственно использовать эти материалы без проведения специальных исследований и расчетов. Кроме того, если известна водопроницаемость грунтов, то они позволят определить дебит в несовершенные скважины-колодцы при напорном и безнапорном движении фильтрационного потока.

УДК 631.6:626.86

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ВЕРТИКАЛЬНО-НЕОДНОРОДНЫХ ГРУНТОВ

В. А. ИОНАТ, доктор технических наук, профессор

Ленинградский сельскохозяйственный институт

Расстояния между дренами обычно определяют в предположении, что дрены укладывают в однородный грунт. Однако применение такой расчетной схемы приводит к значительным ошибкам, так как естественные грунты, как правило, неоднородны. Наиболее резко неоднородность выражена по вертикали, поэтому уточнение расчетов на основе учета такого типа неоднородности представляет наибольший практический интерес.

Автором разработана методика и аппаратура, дающая возможность определить конфигурацию эпюры проницаемости вертикально-неоднородных грунтов и, в частности, проницаемость отдельных слоев горизонтально-слоистого водоносного или сухого пластов (путем наливов воды в грунтовый колодец).

Теоретические основы предлагаемого метода. Наиболее распространен в практике мелиоративных изысканий

метод восстановления уровней в грунтовом колодце после откачки, так как он прост, доступен, нет необходимости в длительных откачках, громоздком оборудовании и др. Расчетные формулы были получены на основании интегрирования уравнения водного баланса и разрешения полученного результата относительно коэффициента фильтрации.

Рекомендуемый метод автор также базирует на использовании уравнения водного баланса (но при работе грунтового колодца в условиях вертикально-неоднородного грунта) и некоторых свойств потенциала Н. К. Гиринского.

Потенциал Н. К. Гиринского можно записать в двух равнозначных формах:

$$\Phi = \int_0^h k_z (h - z)\, dz =$$

$$\int_0^h \left(\int_0^h k_z\, dz\, dh \right) \cdot \qquad (1)$$

Первая форма записи потенциала дана Н. К. Гиринским, а вторая — автором (обе при течении потока против положительного направления оси абсцисс).

Если дифференцируют по h потенциал Н. К. Гиринского, то получают:

$$d\Phi/dh = \int_0^h k_z\, dz = F_h \cdot \qquad (2)$$

В правой части выражения (2) стоит площадь эпюры проницаемости, то есть первая производная по h от потенциала Н. К. Гиринского равна площади эпюры проницаемости.

Если дифференцируют по h левую и правую части выражения (2), то получают:

$$d^2\Phi/dh^2 = k_h\,, \qquad (3)$$

где k_h — значение проницаемости на свободной поверхности потока (в точке пересечения ее с вертикалью h).

Таким образом, вторая производная от потенциала Н. К. Гиринского по h есть коэффициент фильтрации на свободной поверхности потока. Дифференциальное урав-

нение водного баланса при питании потока за счет инфильтрации или водоотдачи, когда расход нарастает по направлению к колодцу, имеет следующий вид:

$$(\pi D^2/4)\,dh = Q\,dt \qquad (4)$$

где D — диаметр грунтового колодца.

При движении потока в вертикально-неоднородном грунте (совершенный грунтовый колодец) значение

$$Q = \frac{4\pi(\Phi_H - \Phi_h)}{2\ln(R/r) - 1}, \qquad (5)$$

где Φ_H — значение потенциала Н. К. Гиринского на контуре питания; Φ_h — то же на контуре дренирования; R — радиус депрессии; r — радиус колодца.

С учетом формулы (5) выражение (4) принимает следующий вид:

$$\frac{\pi D^2}{4}\,dh = \frac{4\pi(\Phi_H - \Phi_h)}{2\ln(R/r) - 1}\,dt. \qquad (6)$$

После опускания уровней воды в колодце в результате откачки начинается их восстановление за счет притока воды из зоны дренирования. Движение потока подчинено закономерностям неустановившегося движения в полубесконечном массиве, так как наряду с изменением глубины воды h в колодце изменяется и значение R, то есть знаменатель правой части выражения (6) также переменная величина. Для упрощения дальнейших операций принимают, что на протяжении всего периода восстановления уровней от h_1 до h_2 ($h_1 \leqslant h \leqslant h_2$) значение

$$a = 2\ln(R/r) - 1 \cong a_{ср} = 2\ln(R_{ср}/r) - 1, \qquad (7)$$

где $R_{ср}$ — среднее значение радиуса депрессии за период наблюдений.

Принятие условия (7) вызывает некоторую неточность в результатах, которую устраняют в дальнейшем. С учетом условия (7) выражение (6) принимает вид:

$$\frac{\pi D^2}{4}\,dh = \frac{4\pi}{a_{ср}}(\Phi_H - \Phi_h)\,dt. \qquad (8)$$

Откуда

$$dt/dh = A/(\Phi_H - \Phi_h), \qquad (9)$$

где

$$A = a_{ср} D^2/16. \qquad (10)$$

Дифференцируя выражение (9) по h, имеют (с учетом, что $\Phi_h = \text{const}$) после преобразований:

$$A\frac{d^2t}{dh^2} = \frac{d\Phi_L}{dh}\left(\frac{dt}{dh}\right)^2. \qquad (11)$$

Если продифференцировать выражение (11) еще раз по h, то

$$A\frac{d^3t}{dh^3} = \frac{d^2\Phi_h}{dh^2}\left(\frac{dt}{dh}\right)^2 + 2\frac{dt}{dh}\frac{d^2t}{dh^2}\frac{d\Phi_h}{dh}. \qquad (12)$$

Решая (12) относительно $d^2\Phi_h/dh^2 = k_h$, получают

$$\frac{d^2\Phi_h}{dh^2} = k_h = \frac{Ad^3t/dh^3 - 2(dt/dh \cdot dt^2/dh^2 \cdot d\Phi_h/dh)}{(dt/dh)^2}. \qquad (13)$$

С учетом условия (11) выражение (13) может быть приведено к следующему виду:

$$\frac{d^2\Phi_h}{dh^2} = k_h = A\frac{d^3t/dh^3 \cdot dt/dh - 2(d^2t/dh^2)^2}{(dt/dh)^3} = AF(t), \qquad (14)$$

где

$$F(t) = \frac{d^3t/dh^3 \cdot dt/dh - 2(d^2t/dh^2)^2}{(dt/dh)^3}. \qquad (15)$$

Коэффициент фильтрации в любой точке, отстоящей от дна колодца на расстоянии h (по вертикали), можно получить как комбинации из производных первого, второго и третьего порядков (по t или по h) от закономерности $h = \psi(t)$, представляющей уравнение кривой восстановления уровней воды в колодце после откачки. Таким образом, кривая восстановления уровней служит источником информации о проницаемости в отдельных точках зоны, пробегаемой зеркалом грунтовых вод в процессе восстановления уровней.

Получить аналогичную зависимость можно и через производные dh/dt, d^2h/dt^2, d^3h/dt^3; однако использовать ее для практических целей более сложно, чем зависимость (14): нужна очень точная аппаратура для полевых измерений.

Техника измерений и обработка полевых материалов. Значение $F(t)$, входящее в формулу (14), можно выразить через комбинацию производных высших порядков. Для нахождения их точных значений необходимо знать уравнения кривых восстановления. Эти уравнения неиз-

вестны, поэтому применяют методы приближенных вычислений. Точность определения производных резко падает по мере увеличения их порядка. Кроме того, поправки в формулах для вычисления производных выражаются через производные еще более высоких порядков и еще менее точно определяемых.

Автором предложен следующий путь решения этого вопроса. Из условия (11) можно определить значение:

$$\frac{d\Phi_h}{dh} = F_h = A\,\frac{d^2t/dh^2}{(dt/dh)^2}, \qquad (16)$$

где F_h — площадь эпюры проницаемости.

Выражение (16) не содержит производных третьего порядка, поэтому значение эпюры площади проницаемости может быть определено более точно, чем эпюры проницаемости.

Для вычисления производных необходимо получить в полевых условиях цифровые ряды $t=\psi(h)$ и, используя формулы дифференцирования числовых рядов, найти производные первого и второго порядка. Если не вводить поправки через производные высших порядков, то значение первой производной в точке $(h_n,\ t_n)$, разбивая интервал измерений на равные отрезки Δh, находят по формуле:

$$t'_n = (t_{n+1} - t_{n-1})/2\Delta h. \qquad (17)$$

Вторую производную в этой точке определяют по формуле:

$$t''_n = (t_{n+2} - 2t_n + t_{n-2})/4\Delta h^2, \qquad (18)$$

В формулах (17) и (18) Δh — шаг измерений h по высоте; t_{n-2}, t_{n-1}, t_{n+1} и t_{n+2} — значения t в соответствующих точках, удаленных на $2\Delta h$, Δh от точки, в которой определяют производную.

С учетом формул (17) и (18) выражение (19) можно переписать в виде:

$$\frac{d\Phi_h}{dh} = F_h = A\,\frac{(t_{n+2} - 2t_n + t_{n-2})}{(t_{n+1} - t_{n-1})^2} = AF_1(t), \qquad (19)$$

где

$$F_1(t) = \frac{t_{n+2} - 2t_n + t_{n-2}}{(t_{n+1} - t_{n-1})^2}. \qquad (20)$$

Вводя в ЭВЦМ данные полевых измерений и проводя вычисление по соответствующей программе, полу-

чают значение площади эпюры проницаемости, соответствующее высоте h подъема уровня воды в колодце.

Как указывалось, при выводе расчетных формул автор принял, что значение a равно $a_{ср}$, то есть

$$a=2\ln(R/r)-1\cong 2\ln(R_{ср}/r)-1. \qquad (21)$$

Такой прием приводит к искажению эпюры F_h, так как ординаты ее нижней части завышены, а верхней — занижены. Точно решить вопрос о значении R при фильтрации в вертикально-неоднородном грунте пока не представляется возможным. Автором получено приближенное значение a, которое рекомендуется использовать впредь до получения более точных выражений:

$$a=0{,}84+5{,}56(h-h_1)/(H-h_1), \qquad (22)$$

где H — расстояние от забоя до поверхности грунтовых вод; h — глубина воды в колодце; h_1 — первоначальная глубина воды в колодце (после откачки).

С учетом формулы (20) значение A в формуле (19) вычисляют следующим образом:

$$A=aD^2/16=[0{,}0525+0{,}35(h-h_1)/(H-h_1)]D^2\cdot \qquad (23)$$

Если время измеряют в секундах, то размерность $F_1(t)$ равна ($с^{-1}$). При измерении D в см F_h имеет размерность ($см^2\ с^{-1}$).

Проверку принятого значения a можно осуществить по следующей формуле:

$$a=(16/D^2)(\Phi_H-\Phi_h)(dt/dh).$$

После определения значения a по формуле (22) и получения предварительных результатов выбирают значения Φ_h и dt/dh в соответствующих точках и определяют Φ_H путем интерполяции по кривой $\Phi_h=\varphi_2(h)$.

Аппаратура и производство полевых измерений. Как указывалось, для получения данных о проницаемости зоны, которую пробегает зеркало воды в процессе восстановления уровней, необходимо в полевых условиях получить дискретные цифровые ряды $t=\varphi(h)$ и затем, продифференцировав их, получить значение $F_h=\varphi_1(h)$ в каждой точке кривой восстановления уровней. Выбор рядов $t=\varphi(h)$ и оперирование производными dt/dh, d^2t/dh^2, а не dh/dt и d^2h/dt^2 вызвано тем, что измерение t при фиксированном h с помощью имеющейся аппаратуры можно производить более точно, чем измерение h

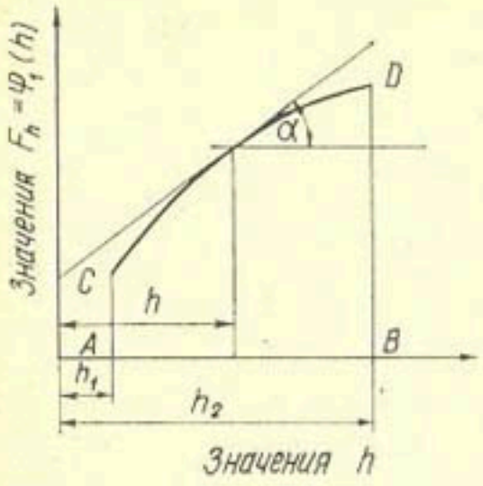


Рис. 1. Определение точечного значения k.

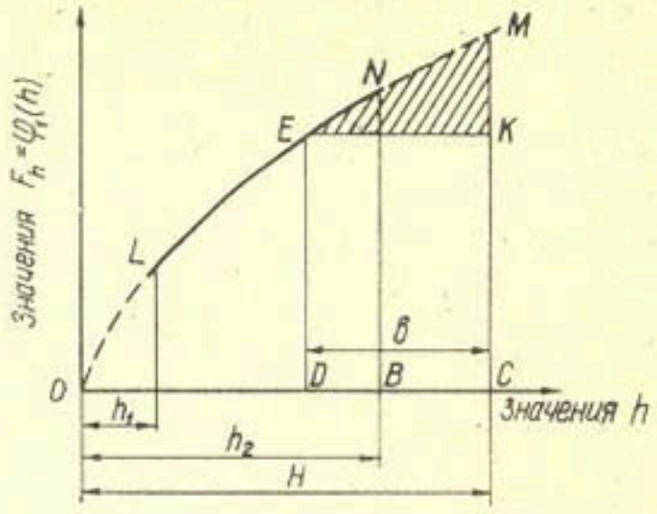


Рис. 2. Определение потенциала Н. К. Гиринского в зависимости от положения водоупора.

при фиксированном t. В качестве измерительной аппаратуры применяют штангу с магнитными контактами, расположенными через 5 см ($\Delta h = 5$ см), которую опускают в грунтовый колодец. После понижения уровней отсчет времени производят двумя частотомерами, которые переключают с одного на другой после окончания счета на одном интервале и переходе на следующий. Запись фиксируется и легко считывается техником, ведущим наблюдения. Штанга и прибор для измерения временных интервалов сконструированы лабораторией автоматики СевНИИГиМ.

Глубину колодца назначают в зависимости от глубины укладки дрен и геологического строения исследуемого массива. Известно, что в зону, расположенную под дреной, основная часть расхода поступает из слоев, непосредственно примыкающих к дрене (активной зоны). Обычно ее мощность равна 3...4 действующим напорам в середине междренья. По-видимому, исходя из этих соображений, и следует назначать размер зоны восстановления уровней. В случае подстилания менее проницаемых слоев более проницаемыми желательно пройти весь хорошо проницаемый слой и достичь водоупора. Если это невозможно, необходимо учитывать расход через дно колодца (тогда расчетные формулы принимают несколько иной вид). Чем больше заглублен забой колодца, тем меньше значение доли расхода через дно в общем расходе и тем более точны результаты, полученные по формулам, выведенным для случая совершенного колодца.

Определение расчетных параметров по графику $F_h=\varphi_1(h)$. Обработка результатов полевых измерений на ЭВЦМ или других счетных устройствах в конечном счете дает эпюру $F_h=\varphi_1(h)$ на интервале, пробегаемом зеркалом грунтовых вод в колодце в процессе восстановления уровней. Значение F_h не фигурирует в расчетных формулах. В них входит либо значение Φ_h, либо коэффициент фильтрации (его точечное или послойное значение). Поэтому покажем, как определяют параметры k и Φ_h.

Предположим, что в результате полевых измерений получен график $F_h=\varphi_1(h)$ (рис. 2). Точка A соответствует началу восстановления уровней ($h=h_1$), точка B — окончанию восстановления (когда $h=h_2\cong H$), где H — мощность водоносного пласта (отсчитывается от водоупора или от забоя колодца в случае его несовершенства по вскрытию пласта). Начальное значение может быть найдено по формуле (16), если воспользоваться значением первой и второй производной, вычисляемых для концевых точек ряда наблюдений. Предположим, что в точке A значение F_h равно F_{h_1}.

Значение F_{h_1} определяют по следующей формуле:

$$F_{h_1}=At''_{h_1}/(t'_{h_1})^2 \cdot$$

В двух концевых точках производные определяют по специальным формулам. В начале интервала для точки $h=h_1$ имеем:

$$t'_{h_1}=0{,}05\,(\Delta h)^{-1}(-21t_1+13t_2+17t_3-9t_4), \qquad (24)$$

$$t''_{h_1}=0{,}005\,(\Delta h)^{-2}(115t_1-116t_2-124t_3+118t_4-18t_5). \qquad (25)$$

Для точки $h=h_1+\Delta h$ имеем:

$$t'_{h_1+\Delta h}=0{,}05\,(\Delta h)^{-1}(11t_1+3t_2+7t_3), \qquad (26)$$

$$t''_{h_1+\Delta h}=0{,}005\,(\Delta h)^{-2}(85t_1-76t_2-84t_3+58t_4+ +15t_5+2t_6). \qquad (27)$$

Аналогично для двух концевых точек интервала измерений:

$$t'_{h_2-\Delta h}=0{,}05\,(\Delta h)^{-1}(11t_n-3t_{n-1}-7t_{n-2}-t_{n-3}), \qquad (28)$$

$$t''_{h_2-\Delta h}=0{,}005\,(\Delta h)^{-2}(-85t_n+76t_{n-1}-84t_{n-2}-$$
$$-58t_{n-3}-15t_{n-4}-2t_{n-5}, \qquad (29)$$

$$t'_{h_2}=0{,}05\,(\Delta h)^{-1}(21t_n-13t_{n-1}-17t_{n-2}+9t_{n-3}), \qquad (30)$$

$$t''_{h_2}=0{,}005\,(\Delta h)^{-2}(115t_n+116t_{n-1}+124t_{n-2}-$$
$$-118t_{n-3}-25t_{n-4}+18t_{n-5}). \qquad (31)$$

В остальных точках интервала (h_2—h_1) значение F_h определяют по формуле (19).

Зная значения F_h в концевых и промежуточных точках интервала (h_2—h_1), строят график $F_h=\varphi(h)$. График можно использовать для получения параметров Φ_h и k_h ($h_1\leqslant h\leqslant h_2$).

Значения k_h при наличии графика $F_h=\varphi_1(h)$ определить несложно. Исходя из того, что

$$k_h=d^2\Phi/dh^2=dF_h/dh, \qquad (32)$$

значение k_h можно определить как тангенс угла, образуемого касательной в точке (h_1, F_h) с осью абсцисс (рис. 1), или выбирая возможно меньший интервал между точками $h_{n-1}=h-\Delta h$ и $h_{n+1}=h+\Delta h$, по формуле:

$$k_h=(F_{h+\Delta h}-F_{h-\Delta h})/2\Delta h, \qquad (33)$$

где $F_{h+\Delta h}$ и $F_{h-\Delta h}$ — значения F_h в точках с абсциссами $(h+\Delta h)$ и $(h-\Delta h)$.

Как указывалось выше, график $F_h=\varphi_1(h)$ построен в предположении, что отсчет значения h производят от водоупора (в случае совершенного колодца) или от его забоя (в случае несовершенного колодца). Так как значения Φ_h определяют по формуле:

$$\Phi_h=\int_0^h F_h\,dh, \qquad (34)$$

то площадь $АСДВ$ (рис. 1) есть (Φ_{h_2}—Φ_{h_1}) — разность потенциалов Н. К. Гиринского (при расположении водоупора на расстоянии h_1 в начале периода наблюдений или h_2 в его конце). При фильтрационных расчетах горизонтального дренажа в ряде случаев необходимо определять значение потенциала Н. К. Гиринского не относительно действительного водоупора, а относительно некоторой горизонтальной плоскости, проходящей через центр дрены (например, при применении метода фраг-

ментов, когда принимают, что зона, расположенная выше этой плоскости, является зоной свободного потока, а под плоскостью — зоной напорного потока). Наличие графика $F_h=\varphi_1(h)$ для зоны наблюдений $h_1\leqslant h\leqslant h_2$, где $h_2<H$ — мощности водоносного пласта, дает возможность решить эту задачу. Решение находят следующим образом.

Предположим, что в том же водоносном пласте нужно определить значение потенциала Н. К. Гиринского не относительно водоупора, расположенного на глубине $h=H$ (при непониженном уровне грунтовых вод), а при расположении его на условной глубине b от свободной поверхности. Чтобы найти решение, сначала нужно экстраполировать кривую $F_h=\varphi_1(h)$ до ее значений, соответствующих $h=H$ (рис. 2). Затем по оси абсцисс влево от точки C откладываем глубину условного водоупора b. Из конца точки D отрезка $CD=b$ восстанавливаем перпендикуляр DE до его пересечения с кривой $F_h=\varphi_1(h)$ в точке E. Затем через точку E проводим горизонтальную прямую EK. В результате этого от общей площади $DEMC$ будет отсечена площадь EMK (заштрихованная на рис. 3). Площадь этой фигуры есть значение потенциала Н. К. Гиринского относительно водоупора, расположенного на глубине b от свободной поверхности потока.

Если переместить начало координат в точку E и расположить ось абсцисс вдоль линии EK, то можно определить значение потенциала Н. К. Гиринского относительно водоупора, расположенного на расстоянии b от поверхности грунтовых вод, и в других точках $h'=h-b$, отсчитываемых от нового (условного) водоупора.

Если проэкстраполировать кривую $F_h=\varphi_1(h)$ влево, то ее начальная точка должна совпадать с началом координат. Таким образом, располагая кривой $F_h=\varphi_1(h)$ с участками экстраполяции, можно получить интересующие значения Φ_h относительно водоупоров, расположенных на любой глубине b от свободной поверхности потока, в том числе и расположение водоупора, при котором вели полевые исследования.

Определение координат кривой $F_h=\varphi_1(h)$ вели с использованием значения a по формуле (23).

Теперь, зная значения Φ_H, Φ_h и dt/dh (в соответствующих точках), можно проверить правильность принятых значений a.

Решая выражение (6) относительно значения a, имеем:

$$a=2\ln(R/r)-1=(16/D^2)(\Phi_H-\Phi_h)(dt/dh). \quad (35)$$

Обычно вычисленные по формулам (22) и (35) значения отличаются незначительно. Если имеет место большое расхождение, необходимо пересчитать значения a по формуле (35).

УДК 532.546

РАСЧЕТ РЕЖИМА УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД НА МЕЖДРЕНЬЕ ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ УРАВНЕНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА

Д. Ф. ШУЛЬГИН, доктор технических наук
Г. П. БЕЛОВА

Калининский политехнический институт

Проектирование осушительно-увлажнительных систем связано с расчетами по прогнозу водного режима корнеобитаемого слоя. Водный режим почвы во многом определяется уровнем грунтовых вод (УГВ), положением которого можно управлять с помощью дренажной сети: отводя воду дренажем — снижать УГВ и осушать почвенный слой, подавая воду в дренажную сеть (например, с помощью шлюзования) — повышать уровень грунтовых вод на междренье и увлажнять этот слой. Управление УГВ особенно важно в зоне избыточного увлажнения, где грунтовые воды обычно залегают неглубоко и участвуют в увлажнении корнеобитаемого слоя почвы. В этих условиях при достаточно хорошей водопроницаемости почвогрунтов (коэффициент фильтрации $k\geqslant 0{,}5$ м/сут) коллекторно-дренажную сеть можно использовать для увлажнения корнеобитаемого слоя путем подачи в нее воды. Практика осушения показала, что неучет подпитывания осушаемых земель напорными грунтовыми водами приводит к недостаточному их осушению.

В настоящее время существует производственный опыт осушения и почвенного увлажнения на почвах высокой плотности и слабой водопроницаемости с использованием гончарного дренажа и безотвального рых-

ления почвы на глубину 0,6...0,7 м, повторяемого через каждые два года [1, 2]. Глубокое рыхление почвы облегчает отвод воды в разрыхленный подпахотный слой, а через него в закрытые дрены. Рыхление также способствует более быстрому увлажнению корнеобитаемого слоя на междренье при подпочвенном орошении. Вода, подаваемая в гончарные дрены, поступает в основном в разрыхленный слой через дренажную засыпку.

Расчет режима уровня грунтовых вод на междренье при одновременном инфильтрационном и напорном питании. Уравнение водного баланса на междренье для промежутка времени $\Delta t = t_j - t_{j-1}$ с учетом притока воды сверху и из напорного пласта, отделенного слабопроницаемой прослойкой от покровного пласта (рис. 1), имеет вид:

$$\mu B (h_j - h_{j-1}) = \varepsilon_0 B \Delta t - 2k m_{ср} \alpha \frac{0{,}5(h_j + h_{j-1}) - h_д}{l} \Delta t + \frac{H_0 - 1/2(h_j + h_{j-1})}{m_п + m_* k_п / k} k_п B \Delta t, \quad (1)$$

где h_j, h_{j-1} — осредненные значения глубины фильтрационного потока в начале и конце промежутка времени $\Delta t = t_j - t_{j-1}$, м; H_0 — напор в нижнем пласте, м; $h_д$ — значения уровня (напора) воды в дрене, м: B — междренное расстояние, м; μ — осредненное значение коэффициента водоотдачи (недостатка насыщения); k, $k_п$ — осредненные значения коэффициента фильтрации верхнего слоя и пропластка, м/сут; $m_п$, $m_д$ — мощности пропластка и толщи под дреной соответственно, м; $m_{ср} = h_д + {}^2/_3(h_0 - h_д)$ — средняя мощность потока на междренье, м; h_0 — начальная глубина потока, м; ε_0 — осредненное значение инфильтрационного питания грунтовых вод ($\varepsilon_0 > 0$) или интенсивность испарения с поверхности грунтовых вод ($\varepsilon_0 < 0$), л/с; $l = 0{,}5 B\beta$, $m_* = m_д + 0{,}5 B\beta_1$ — средние длины пути фильтрации потоков в верхнем пласте в дрену соответственно сверху и снизу; β, β_1 — расчетные константы; $\alpha = 1/[1 + (8L_{пд}/B)]$ — коэффициент висячести; $L_{пд} = 0{,}73 m_д \lg(2m_д/\pi d)$ — фильтрационное сопротивление на несовершенство дренажа; d — диаметр дрены (в случае канала $d = 0{,}5\, b_0 + h_{00}$; b_0 — ширина канала по дну, м; h_{00} — глубина воды (м) в нем). За плоскость отсчета напоров h, h_0, H_0, $h_д$ принята кровля пропластка (рис. 1).

При $\Delta t \to 0$ имеем дифференциальное уравнение для нахождения УГВ на междренье:

$$\mu B (dh/dt) + Ch = \varepsilon B + A. \quad (2)$$

Решение этого уравнения при начальном условии $h(0) = h_0$ имеет вид:

$$\Delta h = h(t) - m_д = \frac{A + \varepsilon B}{C} +$$

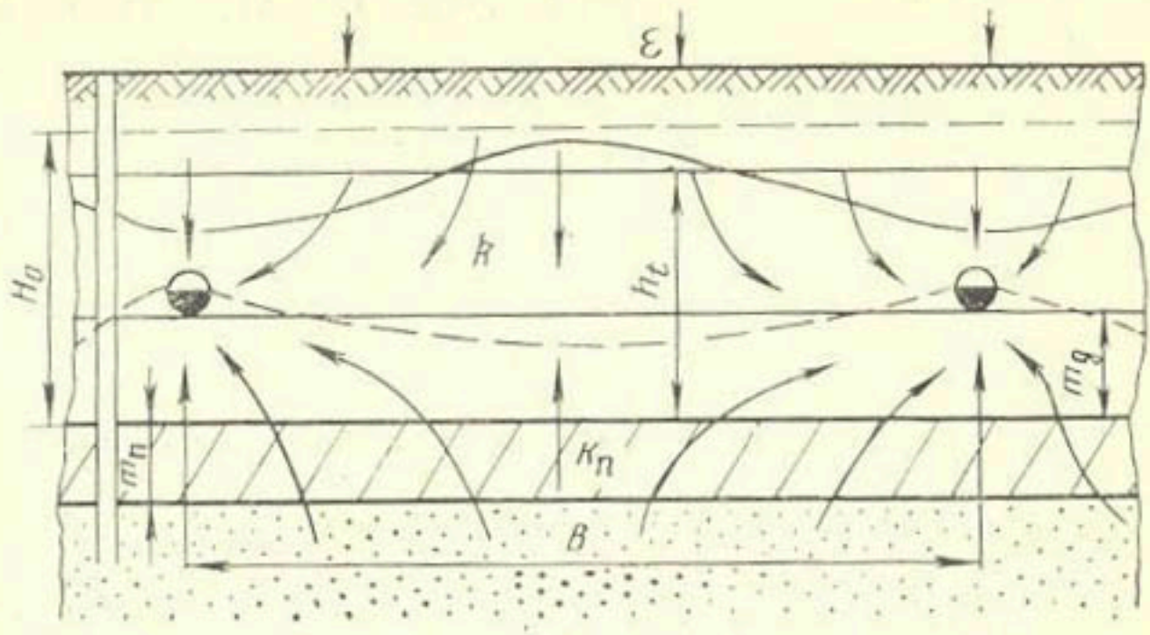


Рис. 1. Схема к расчету динамики уровня грунтовых вод при одновременном напорном и инфильтрационном питании:
1 — дрена.

$$+\left(h_0-\frac{A+\varepsilon B}{C}\right)\exp\left(-\frac{Ct}{\mu B}\right)-m_д. \qquad (3)$$

Полный двусторонний расход дрены (м³/сут на 1 м погонной длины) находят по формуле:

$$q(t)=\varepsilon B-\mu B\frac{dh}{dt}+\frac{H_0-h(t)}{m_п+m_*k_п/k}k_п B=\varepsilon B+$$

$$+\frac{K_п B}{m_п+m_*k_п/k}\left[H_0-\frac{A+\varepsilon B}{C}-\right.$$

$$-\left(h_0-\frac{A+\varepsilon B}{C}\right)\exp\left(-\frac{Ct}{\mu B}\right)+$$

$$\left.+C\left(h_0-\frac{A+\varepsilon B}{C}\right)\exp\left(-\frac{Ct}{\mu B}\right)\right]. \qquad (4)$$

В формулах (3) ... (4) значения $h(t)$, h_0 — осредненные глубины фильтрационного потока на междренье, Δh — превышение осредненной поверхности грунтовых вод над уровнем воды в дренах:

$$A=\frac{k_п B H_0}{m_п+m_*k_п/k}+\frac{2km_{ср}\alpha h_*}{l}\cdot$$

$$C=\frac{k_п B}{m_п+m_*k_п/k}+\frac{2km_{ср}\alpha}{l}\cdot \qquad (5)$$

Формулы (3) и (5) позволяют рассчитывать динамику повышения и снижения осредненного уровня грунтовых вод на междренье и двусторонний расход дрены в зависимости от гидрогеологических и конструктивных параметров дренажа (k, $k_п$, μ, $m_п$, $m_д$, $L_{нд}$, B и др.). В частности, они позволяют исследовать влияние напорности в нижнем пласте на работу осушительно-увлажнительной системы при наличии или отсутствии слабопроницаемого пропластка ($m_п=0$). При $t\to\infty$ из формул (3) ... (4) выведена формула для случая установившейся фильтрации:

$$h-m_д=\Delta h(\infty)=(A+\varepsilon B)/C-m_д, \tag{6}$$

$$q(\infty)=\varepsilon B+\frac{k_п B[H_0-h(\infty)]}{m_п+m_* k_п/k}. \tag{7}$$

В случае непроницаемой прослойки ($k_п=0$) формулы (3)—(4) примут соответственно вид:

$$\Delta h(t)=(h_д+\frac{\varepsilon B}{C}-m_д)+[h_0-h_д-\frac{\varepsilon B}{C}]\times$$

$$\times\exp\left(-\frac{Ct}{\mu B}\right), \tag{8}$$

$$q(t)=\varepsilon B+[C(h_0-h_д)-\varepsilon B]\exp(-ct/\mu B). \tag{9}$$

В реальных условиях инфильтрационное питание и испарение грунтовых вод изменяются во времени в течение года. То же относится к напору в дренах ($h_д$); например, он при подпочвенном увлажнении может быть задан определенным образом изменяющимся во времени. Работа систематического дренажа может вызвать снижение с течением времени напорности в подстилающем напорном пласте, то есть будет функцией времени. Рассмотрим случай нестационарной фильтрации, когда правая часть уравнения водного баланса (2) задана функцией времени $\varphi(t)$, то есть

$$A(t)+B\varepsilon(t)=\varphi(t). \tag{10}$$

В этом случае решение уравнения (2) при начальном условии $h(0)=h_0$ имеет вид:

$$h(t)=h_0\exp(-\varkappa t)+(1/\mu B)\exp(-\varkappa t)\times$$

$$\int_0^t \varphi(\tau)\exp(\varkappa\tau)d\tau,\ (\varkappa=C/\mu B). \tag{11}$$

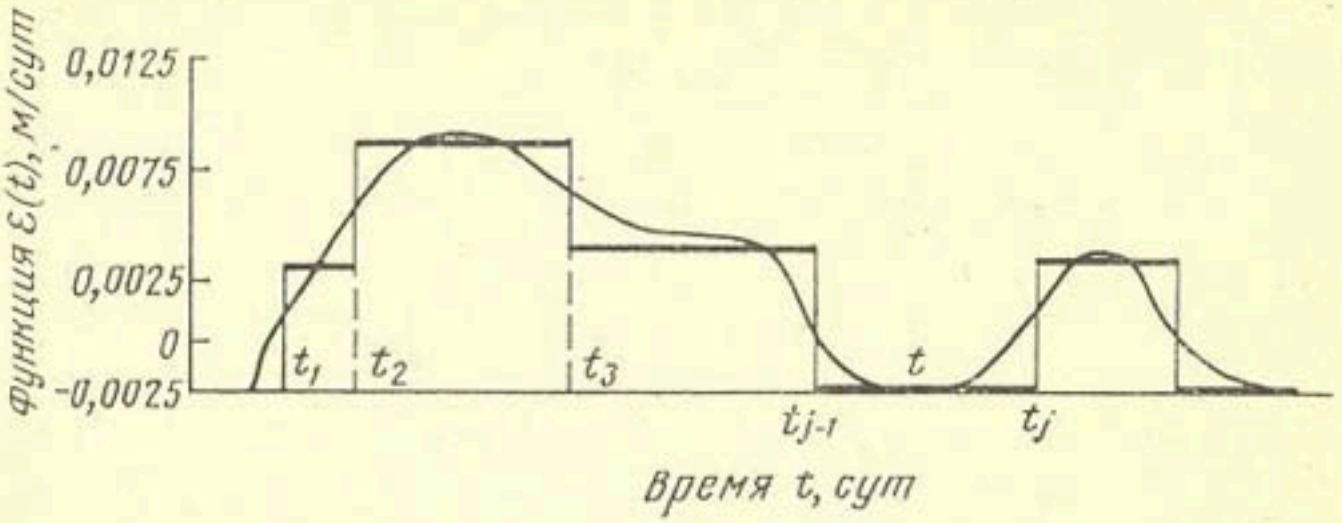


Рис. 2. Аппроксимация кривой инфильтрационного питания ступенчатой кривой.

Интеграл в формуле (11) легко вычислить, если функции $\varepsilon(t)$, $h_д(t)$, $H_0(t)$ аппроксимировать кусочно-постоянными (ступенчатыми) функциями (рис. 2). Такую аппроксимацию с достаточной для практики точностью всегда можно сделать. Из выражения (11) получим:

$$h(t)=h_0\exp(-\varkappa t)+\exp(-\varkappa t)/C\times$$
$$\times\sum_{j=1}^{h}\varphi_j[\exp(\varkappa t_j)-\exp(\varkappa t_{j-1})] \qquad (12)$$

$$(\text{при } j=1\ t_{j-1}=t_0=0,\ \text{при } j=n\ t_j=t_n=t),$$

где φ_j — осредненное значение $\varphi(t)=A+\varepsilon B$ на интервале $t_j \ldots t_{j-1}$, n — число ступеней, на которые разбита область определения $0 \ldots t$ функции $\varphi(t)$.

В приведенных выше формулах существует некоторая неопределенность в выборе значений β и β_1, определяющих среднее значение пути фильтрации потока в верхней и нижней частях верхнего пласта. Для выбора значения параметра β были проведены расчеты динамики подъема УГВ и расхода дрен по формулам (8) ... (9) и аналогичным формулам, полученным С. Ф. Аверьяновым из решения линеаризованного уравнения Буссенеска. Задавали разные значения β (0,2; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0) при неизменных остальных параметрах. Сравнительный анализ показал, что наименьшие относительные погрешности получают при $\beta=0{,}5$. В таблице приведены результаты расчета подъема поверх-

ности грунтовых вод при следующих данных: $B=400$ м, $\beta=0{,}5$; $\varepsilon=0{,}20$ л/с с 1 га; $k=1{,}2$ м/сут; $\mu=0{,}1$; $h_д=m_д=20$ м; $\alpha=0{,}76$.

Результаты расчета подъема поверхности грунтовых вод

t, сут.	15	30	60	90	120	150	180	350
$\Delta h(t)$ по формуле (3)	0,23	0,45	0,79	1,05	1,24	1,39	1,50	1,80
По формуле С. Ф. Аверьянова	0,27	0,49	0,85	1,12	1,31	1,44	1,55	1,80
Относительная погрешность, %	15	9	7	7	6	4	4	0

Для нахождения параметра β_1 сравнивали результаты расчетов Δh по формуле С. Ф. Аверьянова [5]:

$$\Delta h=\Delta H\left[1-\frac{8\exp[-\pi B/4(m_д+h_c)]\cos\overline{h}_c}{\ln[1/\operatorname{tg}(\overline{d}/4)\operatorname{tg}(\overline{h}_c+\overline{d}/4)}\right],$$

$$(\Delta H=H-m_д) \qquad (13)$$

для случая работы дренажа, питаемого напорными водами при отсутствии инфильтрации, и по формуле (7). Здесь

$$h_c=\pi h_c/2(m_д+h_c),\ \overline{d}=\pi d/2(m_д+h_c),\ h_c=d/2.$$

Задавали различные значения параметра β_1 ($0{,}1\leqslant\beta_1\leqslant 1$) при неизменных остальных параметрах. Анализ результатов расчетов показал, что наименьшие относительные погрешности имеют место при $\beta_1=0{,}6$. Сопоставим результаты расчетов Δh при следующих исходных данных:

$m_п=0$; $m_д=3$ м; $H_0=4$ м; $\Delta H=1$ м; $\varepsilon=0$; $h_c=0{,}25$ м; $k=0{,}5$ м/сут; $d=0{,}5$ м (табл. 2).

2. Результаты расчетов Δh

Δh, м		Относительная погрешность, %
$B=15$ м	$B=150$ м	
По формуле (7)		
0,80	0,92	14
По формуле (13)		
0,96	1,01	5

Расчет почвенной верховодки в тяжелых почвогрунтах. Рассмотрим динамику подъема и спада уровня верховодки, образуемой в корнеобитаемом (пахотном или разрыхленном) слое мощностью m, подстилаемом слабопроницаемой толщей. Систематический закрытый дренаж расположен в нижнем слое (рис. 3).

Будем полагать, что значение q линейно зависит от мощности верховодки посредине междренья $h(t)$, то есть

$$q_1(t) = [(\varepsilon - p)/m](h + a) \qquad (14)$$

($a \neq 0$ — некоторая опытная константа), и поверхность верховодки сохраняет во времени форму параболы. Тогда дифференциальное уравнение водного баланса корнеобитаемого слоя при изменении горизонта верховодки за счет оттока воды в дренаж и испарения инфильтрации запишем в следующем виде:

$$\frac{2}{3}\mu B \frac{dh}{dt} = \frac{B(\varepsilon - p)(h + a)}{m} - 2\frac{kh^2}{B}. \qquad (15)$$

Решая это уравнение при начальном условии $h(0) = h_0$, получаем формулу для описания динамики уровня верховодки в корнеобитаемом слое:

$$h(t) = \frac{M(h_0 - N) - N(h_0 - M)\exp(-\varkappa t)}{(h_0 - N) - (h_0 - M)\exp(-\varkappa t)}, \qquad (16)$$

где обозначено

$$M = A/2 + D,\ N = A/2 - D,\ A = (\varepsilon - p)B^2/2km,$$

$$D^2 = aA + A^2/4,\ \varkappa = 6kD/(\mu B^2).$$

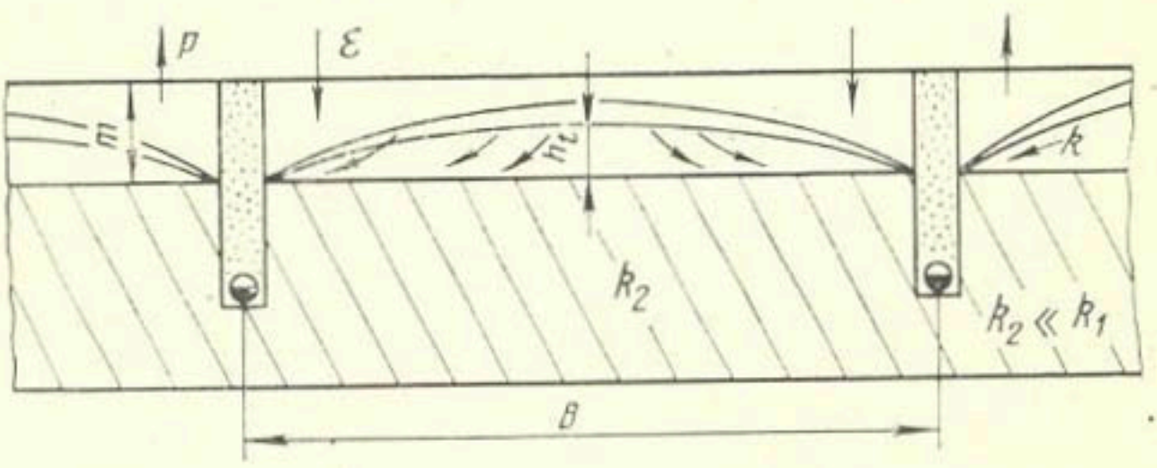


Рис. 3. Схема корнеобитаемого слоя тяжелых почв.

При $h_0=0$ и $\varepsilon\neq 0$ $(A\neq 0)$ имеем:

$$h(t)=\frac{MN[1-\exp(-\varkappa t)]}{N-M\exp(-\varkappa t)}\cdot \qquad (17)$$

В случае отсутствия инфильтрации-испарения $(A\neq 0)$ опускание верховодки можно описать зависимостью:

$$h(t)=\frac{h_0}{1+3kh_0t/\mu B^2}\cdot \qquad (18)$$

С помощью полученных зависимостей можно прогнозировать динамику УГВ на междренье для рассмотренных гидрогеологических условий. Параметры β, β_1 следует принимать равными 0,5...0,6.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслов Б. С. Глубокое рыхление почв: опыт и задачи науки. — Гидротехника и мелиорация, 1979, № 7, с. 22...33. 2. Майструк С. П. Регулирование водно-воздушного режима тяжелых почв при подпочвенном увлажнении в Закарпатье. — Научные труды, Каунас, 1976, вып. 2, с. 52...58. 3. Шапран В. Я. Решение задачи неустановившейся фильтрации к дренажу при сосредоточенном, инфильтрационном и напорном питаниях.— В кн.: Некоторые вопросы прикладной математики, Киев, 1969, вып. 4, с. 221...233. 4. Шульгин Д. Ф. О фильтрации в слоистой толще при работе систематического дренажа в условиях напорного питания. — Труды по агрономической физике, Л., 1973, вып. 31, сс. 88...94. 5. Аверьянов С. Ф. Борьба с засолением орошаемых земель. — М.: Колос, 1978. — 288 с.

УДК 626.87+631.4

УЧЕТ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВОГРУНТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ ВОДНОГО РЕЖИМА

В. Ф. МИТИН, кандидат технических наук

Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова

Решение задач по неустановившейся фильтрации грунтовых вод, водному режиму почв при неоднородных почвогрунтах в зоне действия дренажа с учетом динамики водного питания аналитическим путем за-

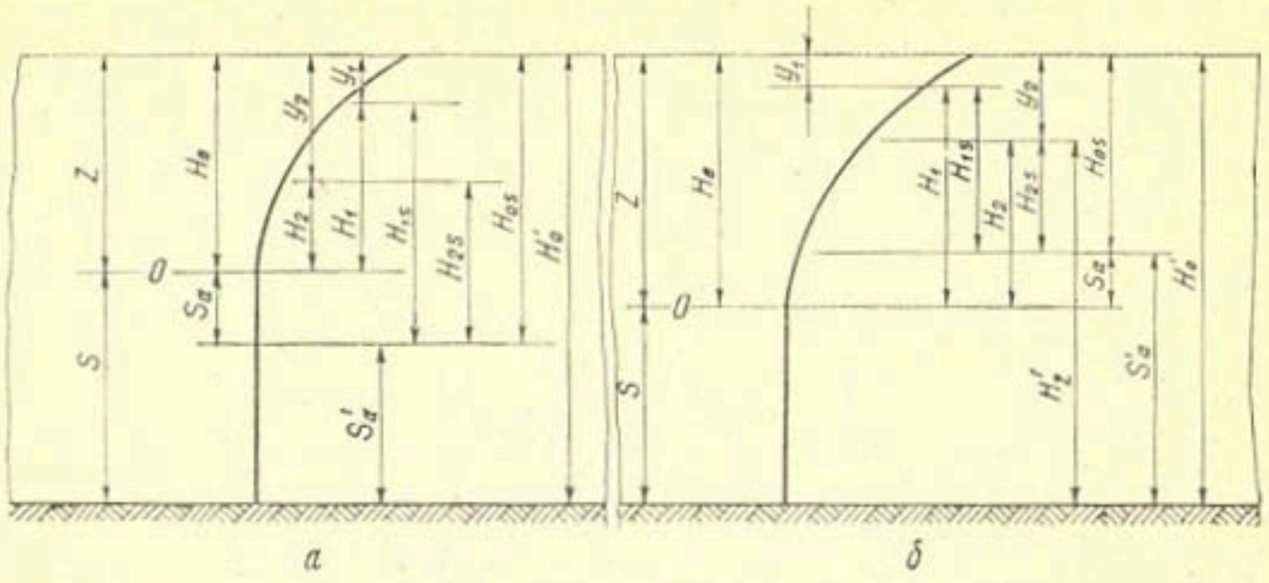


Рис. 1. Схемы расчета средних значений водно-физических свойств в неоднородных почвогрунтах.

труднено. Численные решения методом конечных разностей приводят к громоздким выкладкам, возникают также трудности при установлении граничных условий по фрагментам. В то же время эти задачи можно решать, используя формулы для однородных грунтов:

$$\Delta y = y_2 - y_1; \quad \Delta W = W_1 - W_2;$$

подставляя в них для каждого диапазона грунтовых вод и влажности почвы средние значения коэффициентов фильтрации $K_{ср}$, водоотдачи $\delta_{ср}$, пористости n, полной $W_{пв}$, капиллярной $W_{кв}$ и наименьшей влагоемкости $W_{нв}$ (рис. 1), высоты капиллярного поднятия $y_к$.

Среднее значение коэффициентов фильтрации в однослойных функциональноописываемых неоднородных почвогрунтах в слое $y_2 - y_1 = H_1 - H_2$ можно найти по формулам:

если $$k_y = (k_0 - k_{H0})\,(H_S/H_{0S})^{m_к} + k_{H0}\,, \qquad (1)$$

то $$k_{y\,ср} = \frac{(k_0 - k_{H0})\,(H_{1S}^{m_к+1} - H_{2S}^{m_к+1})}{(m_к+1)\,H_{0S}^{m_к+1}\,(H_1 - H_2)}\,, \qquad (2а)$$

при $m_к = 2$ $$k_y = (k_0 - k_{H0}) \cdot (H_S/H_{0S})^2 + k_{H0}$$

и $$k_{y\,ср} = \frac{(k_0 - k_{H0})^2 (H_{1S}^3 - H_{2S}^3)}{3H_{0S}^2\,(H_1 - H_2)} + k_{H0}\,. \qquad (2б)$$

при $m_к=1$ (линейное значение)

$$k_y=(k_0-k_{H0})\,H_S/H_{0S}+k_{H0}$$

и
$$k_{y\,ср}=\frac{(k_0-k_{H0})\;(H_{1S}^2-H_{2S}^2)}{2H_0(H_1-H_2)}+k_{H0}\,, \qquad (2в)$$

при этом если $H_{0S}\leqslant Z$, то $H_S=H-S_a$

$$H_{0S}=H_0-S_a,\;\; H=H_0-y\,,$$

если $H_{0S}>Z$, то $H_S=H+S_a$, $H_{0S}=H_0+S_a$, $H=H_0-y$,

где H_{0S} — глубина от поверхности почвы, м, на которой коэффициенты фильтрации k_{H0} и пористости n_{H0} принимают постоянными; H_0^1 — мощность всего водоносного слоя при отсчете от плоскости сравнения (от оси дрены в однослойном и от кровли нижнего слоя в двухслойных грунтах) и от водоупора; S_a, S_a^1 — расстояния от плоскости, где $k_{H0}=\text{const}$ и $n_{H0}=\text{const}$, до плоскости сравнения и до водоупора, $S'_a=S_a+S$, м; k_0 — коэффициент фильтрации в верхнем слое почвогрунтов, м/сут; H, H^1 — напор, отсчитываемый от плоскости сравнения и водоупора, $H^1=H+S$, м.

Если $H_2'\leqslant S'_a$, то $H_{2S}=0$; если же $S_a=0$, то $H_{1S}=H_1$, $H_{2S}=H_2$ и $H_{0S}=H_0$. При $H'_1=H_0'$ и $H_2'=0$

$$k_{y\,ср}=\frac{k_0+m_к k_{H0}}{m_к+1}\,,\text{ если } H_1'\leqslant S'_a \text{ и}$$

$$H'_2\leqslant S'_a\,,\;\text{ то } k_{y\,ср}=k_{H0}\,.$$

Среднее расчетное значение коэффициента фильтрации грунтовых вод в зоне

$$k_{ср\,T}=k_{ср2}+a_к k_{ср(1-2)}\,,\;\; a_к=0{,}20\ldots 0{,}25. \qquad (3)$$

При отсчете от водоупора

$$k_{ср2}=\frac{(k_0-k_{H0})\,H_{2S}^{m_к}}{(m_к+1)\,N_{0S}^{m}}+k_{H0} \qquad (4а)$$

и
$$k_{ср(1-2)}=\frac{(k_0-k_{H0})\,(H_{1S}^{m_к+1}-H_{2S}^{m+1})}{(m_к+1)\,H_{0S}^{m}\;(H_1-H_2)}+k_{H0}\,. \qquad (4б)$$

В частности, выше оси дрен:

$$k_{Z\,ср}=\frac{(k_0-k_{H0})\,[H_{1S}^{m_к+1}-(H_{1S}-Z)^{m_к+1}]}{(m_к+1)H_{0S}^{m_к}\;[H_1-(H_1-Z)]}+k_{H0} \qquad (4в)$$

или

$$k_{Z\text{ср}}=\frac{k_0-k_{H0}\left[(H_1'-S_a')^{m_к+1}-(H_1'-S'_a-Z)^{m_к+1}\right]}{(m_к+1)(H_0-S_a)^{m_к}Z}+k_{H0} \qquad (4г)$$

и ниже оси дрен: если $H_{0S}>Z$, то

$$k_{S\text{ср}}=\frac{(k_0-k_{H0})S_a^{m_к+1}}{(m+1)(H_0-S_a)^{m_к}\cdot S}+k_{H0}, \qquad (4д)$$

если же $H_{0S}<Z$, то $k_{S\text{ср}}=k_{H0}$.

При отсчете от оси дрен в однородных и от кровли нижнего слоя в двухслойных грунтах выражения для $k_{\text{ср}}$ в некоторой степени видоизменяются. При $H_{0S}>Z$ выше оси дрен

$$k_{2\text{ср}}=\frac{(k_0-k_{H0})\left[(H_2+S_a)^{m_к+1}-S_a^{m_к+1}\right]}{(m_к+1)(H_0+S_a)^{m_к-1}H_2}+k_{H0} \qquad (5а)$$

$$\text{и } k_{(1-2)\text{ср}}=\frac{(k_0-k_{H0})\left[(H_1+S_a)^{m_к+1}-(H_2-S_a)^{m_к+1}\right]}{(m_к+1)(H_0+S_a)^{m_к+1}(H_1-H_2)}+k_{H0}, \qquad (5б)$$

ниже оси дрен

$$k_{2T\text{ср}}=k_{2\text{ср}}=\frac{(k_0-k_{H0})S_a^{m_к+1}}{(m_к+1)(H_0+S_a)^{m_к-1}S}+k_{H0}, \qquad (5в)$$

$$\text{и} \quad k_{\text{ср}(1-2)}=0. \qquad (5г)$$

При $H_{0S}\leqslant Z$ выше оси дрен, если $H_2\geqslant S_a$, то

$$k_{2\text{ср}}=\frac{(k_0-k_{H0})(H_2-S_a)^{m_к+1}}{(m_к+1)(H_0-S_a)^{m_к-1}H_2}+k_{H0} \qquad (6а)$$

$$\text{и } k_{(1-2)\text{ср}}=\frac{(k_0-k_{H0})\left[(H_1-S_a)^{m_к+1}-(H_2-S_a)^{m_к+1}\right]}{(m_к+1)(H_0-S_a)^{m_к}(H_1-H_2)}+k_{H0}; \qquad (6б)$$

если $H_2 < S_a$, то

$$k_{2ср} = k_{Н0} \quad \text{и} \tag{6в}$$

$$k_{(1-2)ср} = \frac{(k_0 - k_{Н0})(H_1 - S_a)^{m_к+1}}{(m_к+1)(H_0 - S_a)^{m}(H_1 - H_2)} + k_{Н0}. \tag{6г}$$

Таким образом, в этих формулах нужно выполнять условие $H_{1,2} \geqslant S_a$, в противном случае следует принимать

$$H_1 - S_a = 0 \quad \text{или} \quad H_2 - S_a = 0.$$

Ниже оси дрен

$k_{2ср} = k_{Н0}$ (6д), $k_{(1-2)ср} = 0$ (6е) и $k_{срS} = k_{Н0}$ (6ж).

Показатель степени $m_к$ можно найти по фактическим данным изысканий:

$$m_к = \lg \frac{k_{y1} - k_{Н0}}{k_{y2} - k_{Н0}} \Big/ \lg \frac{H_1 - S_a}{H_2 - S_a}. \tag{7}$$

Средние значения коэффициентов водоотдачи в неоднородных почвогрунтах в слое $y_2 - y_1$ $H_1 - H_2$ можно найти по предлагаемым формулам.

Если

$$\delta_y = (\mu_0 \sqrt{y/y_{к0}} - \mu_{Н0} \sqrt{y/y_{кН0}})(H_S/H_{0S})^{m_\delta} + \mu_{Н0} \sqrt{y/y_{кН0}}, \tag{8}$$

то слой водоотдачи

$$H_{\delta(H_1 - H_2)} = \int_{H_1}^{H_2} \delta_y \, dH. \tag{9а}$$

Здесь μ_0, $\mu_{Н0}$ — коэффициенты водоотдачи при наименьшей влагоемкости $W_{НВ}$, то есть выше капиллярной зоны, размер которой $y_к$ (м) (в долях от единицы объема) в верхнем слое почвогрунтов и на глубине H_0S. Имея в виду, что значение

$$y^{0,5} = (H_{0S} - H_S)^{0,5} \approx H_{0S}^{0,5}(1 - H_S/2H_{0S}),$$

то можно записать, что значение

$$H_\delta = \int_{H_1}^{H_2} \left[\frac{\mu_0 H_{0S}^{0,5}}{y_{к0}^{0,5} H_{0S}^{m_\delta}} \left(H_S^{m_\delta} - \frac{H_S^{m_\delta+1}}{2H_{0S}} \right) - \frac{\mu_{н0} H_{0S}^{0,5}}{y_{кн0}^{0,5} H_{0S}^{m_\delta}} \left(H_S^{m_\delta} - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{H_S^{m_\delta+1}}{2H_{0S}} \right) + \frac{\mu_{н0} H_{0S}^{0,5}}{y_{кн0}^{0,5}} \left(1 - \frac{H_S}{2H_{0S}} \right) \right] dH. \qquad (9б)$$

Интегрируя по частям, получают:

$$H_\delta = \frac{H_{0S}^{0,5}}{H_{0S}^{m_\delta}} \left(\frac{\mu_0}{y_{к0}^{0,5}} - \frac{\mu_{н0}}{y_{кн0}^{0,5}} \right) \left(\frac{H_{1S}^{m_\delta+1} - H_{2S}^{m_\delta+1}}{m_\delta+1} - \right.$$

$$\left. - \frac{H_{1S}^{m_\delta+2} - H_{2S}^{m_\delta+2}}{2(m_\delta+2)H_0} \right) + \frac{\mu_{н0} H_{0S}^{0,5}}{y_{кн0}^{0,5}} \left[(H_{1S} - H_{2S}) - \frac{H_{1S}^2 - H_{2S}^2}{4H_{0S}} \right] \qquad (9)$$

Ввиду того что выше капиллярной зоны коэффициенты $\mu = \mu(0)$, то при $y_к < 1$ м следует принимать $y_к = 1$ м.

Коэффициент водоотдачи

$$\delta_0 = H_\delta / (H_1 - H_2). \qquad (10)$$

Для однородных почвогрунтов при $H_{0S} = y_к$ и $\mu_0 = \mu_{н0}$ значения

$$\delta = 2\mu_0 (y_2^{3/2} - y_1^{3/2}) / 3y_к^{0,5} (y_2 - y_1). \qquad (11)$$

По фактическим данным изысканий значение

$$m_\delta = \lg \left[\frac{(\mu + \sqrt{y_{кн0}} - \mu_{н0} \sqrt{y_{к1}}) \sqrt{y_{к2}}}{(\mu_2 \sqrt{y_{кн0}} - \mu_{н0} \sqrt{y_{к2}}) \sqrt{y_{к1}}} \right] / \lg (H_{1S}/H_{2S}). \qquad (12)$$

Размер капиллярной зоны (м) можно определить по формуле:

$$y'_к \approx 0{,}003/d_к, \qquad (13)$$

где $d_к$ — расчетный диаметр капилляров, который обычно принимают равным расчетному диаметру частиц 10%-ной обеспеченности с интегральной кривой гранулометрического состава, м.

Частные случаи.

При $H_{0S} > Z$ ($y_{1,2} = Z - H_{1,2}$),

если $y_{1,2} < Z$, то $H_{1S} = H_1 + S_a$ и $H_{2S} = H_2 + S_a$,

$$\delta = H_\delta / (y_2 - y_1); \qquad (14\,а)$$

если $y_{1,2} > Z$, то в случае $y_1 < Z + S_a$ и $y_2 < Z + S_a$

$$H_1 = Z + S_a - y_1 \text{ и } H_{2S} = Z + S - y_2,$$

$$\delta = H_\delta / (y_2 - y_1); \qquad (14\,б)$$

в случае $y_1 < Z + S_a$ и $y_2 \geqslant Z + S_a$

$$H_{1S} = Z + S_a - y_1 \text{ и } H_{2S} = 0,$$

$$\delta = \frac{H_\delta + \delta_0 (y_2 - Z - S_a)}{y_2 - y_1}; \qquad (14в)$$

в случае $y_1 > Z + S_a$ и $y_2 > Z + S_a$ $H_{1S} = 0$ и $H_{2S} = 0$,

$$\delta = \delta_0 \qquad (14\,г)$$

При $H_{0S} < Z$ если $y_1 < Z$, то в случае $H_1 > S_a$ и $H_2 > S_a$

$$H_{1S} = H_1 - S_a \text{ и } H_{2S} = H_1 - S_a,$$

$$\delta = H_\delta / (y_2 - y_1); \qquad (15\,а)$$

в случае $H_1 > S_a$ и $H_2 \leqslant S_a$ $H_{1S} = H_1 - S_a$ и $H_{2S} = 0$,

$$\delta = \frac{H_\delta + \delta_0 (S_a - H_2)}{y_2 - y_1}; \qquad (15б)$$

в случае $H_1 < S_a$ и $H_2 < S_a$ $H_{1S} = 0$ и $H_{2S} = 0$,

$$\delta = \delta_0, \qquad (15в)$$

если $y_{1,2} > Z$, то $H_1 < S_a$ и $H_2 < S_a$, $H_{1S} = 0$ и $H_{2S} = 0$,

$$\delta = \delta_0 \qquad (15\,г)$$

При расчете водного режима неоднородных почвогрунтов также необходимо знать средние значения в слое $y_2 - y_1$ пористости n, коэффициента пористости n^1, полной Wпв и наименьшей влагоемкости Wнв, которые функционально можно описать одними и теми же формулами:

$$W_{\text{пв}y} = (W_{0\text{пв}} - W_{н0\text{пв}}) (H_S / H_{0S})^{m_W} + W_{н0\text{пв}} \text{ и } (16)$$

$$W_{\text{пв}ср} = \frac{(W_{0\text{пв}} - W_{н0\text{пв}}) (H_{1S}^{m_W+1} - H_{2S}^{m_W+1})}{(m_W + 1) H_{0S}^{m_W} (H_1 - H_2)} + W_{н0\text{пв}}. \qquad (17)$$

По фактическим данным можно найти значения m_W по формуле:

$$m_W = \lg \frac{W_{y_1 \text{нв}} - W_{н0\text{пв}}}{W_{y_2 \text{нв}} - W_{н0\text{пв}}} / \lg \frac{H_{1S}}{H_{2S}}, \qquad (18)$$

где $W_{0\text{пв}}$, $W_{н0\text{пв}}$, $W_{y\,\text{пв}}$, $W_{y_2\text{пв}}$ — значения полной влагоемкости почвогрунтов в верхнем слое на глубине H_{0S}, доли от объема.

В этих формулах $H_S = H - S_a$ и $H_{0S} = H_0 - S_a$, м.

Капиллярную влагоемкость (доли от объема) легко найти из условия:

$$W_{\text{кв}y} = W_{\text{пв}y} - \delta_y \quad \text{и} \qquad (19a)$$

$$W_{\text{кв ср}} = W_{\text{пв ср}} - \delta_{\text{ср}} \cdot \qquad (19б)$$

По данным полевых измерений коэффициент формы эпюры влажности почвы по глубине находят по формуле:

$$a'_W = (1 - a_W) = \left(\frac{W_{\text{ср}}}{W_{\text{пв ср}}} - \frac{W_0}{W_{0\text{пв}}} \right) \left(\frac{W_{0\text{пв}}}{W_{0\text{пв}} - W_0} \right) \cdot \qquad (20a)$$

Здесь $W_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^{i=n} W_i h_i / \sum_{i=1}^{i=n} h_i$, а $W_{\text{пв ср}}$

определяют по формуле (17), тогда

$$a'_W = a'_W - 1, \qquad (20б)$$

Показатель степени параболы эпюры влажности

$$m_a = a'_W / a_W = (1 - a_W)/a_W \approx R_W (W_{\text{ср}}/W_{\text{пв}})^{C_W} \qquad (20в)$$

Значения R_w и C_w можно найти, используя формулу:

$$\lg m_a = \lg R_W + C_W \lg (W_{\text{ср}}/W_{\text{пв}}).$$

Поскольку значение

$$y_{\text{к}y} = (y_{\text{к}н0} - y_{\text{к}0}) (H_S/H_{0S})^{m_y} + y_{\text{к}0}, \text{ то} \qquad (21)$$

$$y_{\text{к}y\text{ср}} = \frac{(y_{\text{к}н0} - y_{\text{к}0})(H_{1S}^{m_y+1} - H_{2S}^{m_y+1})}{(m_y+1) H_{0S}^{m_y} (H_1 - H_2)} + y_{\text{к}0}, \qquad (22)$$

где $H_1 - H_2 = y_2 - y_1$

$$\text{и} \quad m_y = \lg \frac{y_{\text{к}y_2} - y_{\text{к}0}}{y_{\text{к}y_1} - y_{\text{к}0}} / \lg \frac{H_{0S} - y_2}{H_{0S} - y_1} \cdot \qquad (23)$$

При глубине $y_{T\text{ср}}$ среднее значение высоты капиллярного поднятия

$$y_{\text{к}y\text{ср}T} = \frac{(y_{\text{к}\text{н}0} - y_{\text{к}0})\,(H_{0S}^{m_y+1} - H_{T\text{ср}S}^{m_y+1})}{(m_y+1)\,H_{0S}^{m_y}\,y_{T\text{ср}}} + y_{\text{кон}} \cdot \qquad (24)$$

При глубине $y_{T\text{ср}} < H_{0S}\, H_{T\text{ср}S} = H_{0S} - y_{T\text{ср}}$, при $y_{T\text{ср}} \geqslant H_{0S}\, H_{T\text{ср}S} = 0$.

В процессе исследования осушительной сети необходимо учитывать главным образом изменчивость в пространстве коэффициентов фильтрации. Расстояния между осушителями изменяются по параболической зависимости, что вытекает из формул по расчету дренажа Ротэ, С. Ф. Аверьянова, А. Н. Костякова и др.

$$L_m = L_{\text{ср}} \sqrt{k_m / k_{\text{ср}}} = L_{\text{ср}} \sqrt{K_{\text{к}m}} = L_{\text{ср}} K_{nm}^{\alpha_{\text{к}/2}} = L_{\text{ср}} K_P^{-\alpha_{\text{к}/2}}, \qquad (25)$$

где L_m и $L_{\text{ср}}$ — расстояния между осушителями при коэффициентах фильтрации k_m и $k_{\text{ср}}$, м; K_k, K_n, K_P — модульные коэффициенты водопроницаемости, пористости и плотности почвогрунтов, $K_k = k_m / k_{\text{ср}}$, $K_n = n_m / n_{\text{ср}}$ и $K_P = P_m / P_{\text{ср}}$.

На Дубненской и Яхромской поймах установлено, что для торфяных и минеральных почв $\alpha_k = 2$, при этом расстояние

$$L_m = L_{\text{ср}} K_{nm} = L_{\text{ср}} K_{Pm}^{-1} \cdot \qquad (25a)$$

Для выделения относительно однородных участков по водно-физическим свойствам почвогрунтов, в границах которых допустимо, с точки зрения поддержания одинакового режима грунтовых вод, принимать расстояние между дренами постоянными, необходимо задавать допустимые критерии изменчивости расстояний между дренами

$$\eta_{Lm} = L_m / L_{m-1} = 1 + \Delta_{Lm}, \qquad (26a)$$

$$\Delta_{Lm} = \Delta L_m / L_{m-1} = (L_m - L_{m-1}) / L_{m-1} \cdot \qquad (26б)$$

По значениям η_{Lm} определяют значения L_m, k_m или K_k, K_n, K_P для центров и границ расчетных участков.

При этом может оказаться, что ввиду существенно различной плотности изолиний k_m или K_k, K_P, K_n и горизонталей поверхности на плане (при сложном рельефе) с учетом расположения коллекторов, магистральных каналов, водоприемников, длины дрен, конфигурации полей и другой обстановки на местности значениями η_{Lm} необходимо варьировать в допустимых пределах: в сторону увеличения расстояний между дренами в пределах 1,2...1,5 и уменьшения — 0,8...0,67, что соответствует значениям $\Delta_{Lm}=0{,}2...0{,}5$ и $\Delta_{Lm}=$ $=-(0{,}2...0{,}33)$.

На границах участков критерии изменчивости расстояний между дренами $\eta_{L\Gamma m}$ и $\Delta_{L\Gamma m}$, определяемые по формулам:

$$\eta_{L\Gamma m}=1\pm\eta_{Lm-1}/2 \quad \text{и} \qquad (27a)$$

$$\Delta_{L\Gamma m}=\Delta_{Lm}/2, \qquad (27б)$$

будут принимать следующие значения: в сторону увеличения расстояний

$$\eta_{L\Gamma m}=1{,}1...0{,}9 \text{ и } \eta_{L\Gamma m}=1{,}25...0{,}75,$$

$$\Delta_{L\Gamma m}=\pm 0{,}1 \text{ и } \Delta_{L\Gamma m}=\pm 0{,}25;$$

в сторону уменьшения расстояний

$$\eta_{L\Gamma m}=0{,}9...1{,}1 \text{ и } \eta_{L\Gamma m}=0{,}75...1{,}25,$$

$$\Delta_{L\Gamma m}=\pm 0{,}1 \text{ и } \Delta_{L\Gamma m}=\pm 0{,}25.$$

Если на границах участков расстояния между дренами будут отличаться на 25 % ($\Delta_{L\Gamma m}=\pm 0{,}25$) от расчетных, то за счет взаимного влияния все-таки режим грунтовых вод на соседних участках будет одинаковым, что практически не скажется на урожайности сельскохозяйственных культур на расчетных участках.

Значения L_m, $L_{\Gamma m}$, k_m, $k_{\Gamma m}$, K_k, $K_{k\Gamma m}$, K_n, $K_{n\Gamma m}$, K_P, $K_{P\Gamma m}$ для расчетных центров и границ участков можно найти двумя путями:

по критериям η_{Lm} и $\eta_{L\Gamma m}$ определяем значения L_m для центров и границ участков;

по значениям $\eta_{L\Gamma m}$ рассчитываем значения L_m, k_m или K_k, K_n, K_P, которые будут поочередно соответствовать центрам и границам участков, однако при этом вместо номера участка m надо подставить номер расчетного сечения p, число которых будет в 2 раза больше, чем участков, то есть $p=2m$.

В обоих случаях вначале находят расстояние между дренами $L_0 = L_{ср}$ для опорных типовых участков, соответствующие значениям коэффициентов фильтрации $k_{ср}$ и модульных коэффициентов почвогрунтов $K_n = 1$, $K_P = 1$. Затем по заданным значениям η_{L0}, а следовательно $\eta_{L\Gamma 0}$, определяют значения $L_{\Gamma 0}$, $k_{ср\Gamma 0}$, $K_{k\Gamma 0}$, $K_{n\Gamma 0}$ и $K_{P\Gamma 0}$.

Для остальных участков расчет ведут по следующим формулам:

если $\eta_{L_1} = \eta_{L_2} = \ldots = \eta_{Lm} = \eta_L = \text{const}$ и

$$\Delta_{L_1} = \Delta_{L_2} = \ldots = \Delta_{Lm} = \Delta_L = \text{const},$$ то

для расчетных центров

$$L_m = L_{m-1}\,\eta_{Lm} = L_{m-1}(1+\Delta_{Lm}) = L_{ср}\eta_L^m - \eta_L^m = \\ = L_{ср}(1+\Delta_L)^m, \qquad (28)$$

$$k_m = k_{m-1}\,\eta_{Lm}^2 = k_{m-1}(1+\Delta_{Lm})^2 = k_{ср}\,\eta_L^{2m} = \\ = k_{ср}(1+\Delta_L)^{2m}, \qquad (29)$$

$$K_{km} = K_{m-1}\,\eta_{Lm}^2 = K_{k(m-1)}(1+\Delta_{Lm})^2 = \eta_L^{2m} = (1+\Delta_L)^{2m}, \qquad (30)$$

$$K_{nm} = K_{n(m-1)}\,\eta_{Lm}^{2/\alpha_k} = K_{n(m-1)}(1+\Delta_{Lm})^{2m/\alpha_k} = \\ = \eta_L^{2m/\alpha_k} = (1+\Delta_L)^{2m/\alpha_k}, \qquad (31)$$

$$K_{Pm} = K_{P(m-1)}\,\eta^{-2/\alpha_k} = K_{P(m-1)}(1+\Delta_{Lm})^{-2/\alpha_k} = \\ = \eta_L^{-2m/\alpha_k} = (1+\Delta_{Lm})^{-2m/\alpha_k}; \qquad (32)$$

для границ участков

$$L_{\Gamma m} = L_m\,\eta_{L\Gamma m} = L_m(1+\Delta_{Lm}/2), \qquad (33)$$

$$k_{\Gamma m} = k_m\,\eta_{L\Gamma m}^2 = k_m(1+\Delta_{Lm}/2)^2, \qquad (34)$$

$$K_{k\Gamma m} = K_{km}\,\eta^2 = K_{nm}(1+\Delta_{Lm}/2)^2, \qquad (35)$$

$$K_{n\Gamma m} = K_{nm}\,\eta^{2/\alpha_k} = K_{nm}(1+\Delta_{Lm}/2)^{2/\alpha_k}, \qquad (36)$$

$$K_{P\Gamma m} = K_{Pm}\,\eta_{L\Gamma m}^{-2/\alpha_k} = K_{Pm}(1+\Delta_{Lm}/2)^{-2/\alpha_k}. \qquad (37)$$

По полученным данным $k_{\Gamma m}$ или $K_{k\Gamma m}$, $K_{n\Gamma m}$ и $K_{P\Gamma m}$ оконтуривают опытные участки, в пределах кото-

рых расстояния между дренами L принимают постоянными. Более полно учет пространственной изменчивости водно-физических свойств почвогрунтов можно проводить через коэффициенты уровнепроводности или же пьезопроводности (м²/сут)

$$a_{\phi m} = k_m H_{\text{срт}} \alpha_0 / \delta_m \,, \qquad (38a)$$

где k_m — коэффициент фильтрации водоносной толщи почвогрунтов, м/сут, при этом $k_m/k_{\text{ср}} = (n_m/n_{\text{ср}})^{\alpha k}$; δ_m — коэффициент водоотдачи или водовместимости в долях от единицы объема, при этом $\delta_m/\delta_{\text{ср}} = (n_m/n_{\text{ср}})^{\beta\delta}$.

$$a_{\phi m} = \frac{k_{\text{ср}} (n_m/n_{\text{ср}})^{\alpha_k}}{\delta_{\text{ср}} (n_m/n_{\text{ср}})^{\beta_\delta}} H_{\text{срт}} \alpha_0 =$$

$$= a_{\phi\text{ср}} (n_m/n_{\text{ср}})^{\alpha_k - \beta_\delta} = a_{\phi\text{ср}} K_n^{\alpha_k - \beta_\delta} = a_{\phi\text{ср}}^{\beta_\delta - \alpha_k} \,. \qquad (38)$$

где $H_{\text{срт}}$ — осредненнаая по длине и во времени мощность потока почвогрунтовых вод, м; α_0 — обобщенный коэффициент сопротивления, учитываающий степень вскрытия водоносного слоя с учетом водоприемной способности дрен. Для идеальных по вскрытию поверхности дрен он равен коэффициенту висячести α по С. Ф. Аверьянову.

Для этого необходимо на план осушаемой территории нанести изолинии коэффициентов уровнепроводности (пьезопроводности) a_ϕ, или их модульных коэффициентов $K_a = a_{\phi m}/a_{\phi\text{ср}}$, или же модульных коэффициентов пористости, или коэффициента плотности, выделив затем сравнительно однородные зоны, где они будут колебаться в допустимых пределах, определяемых критерием η_{em} или Δ_{em}, но во всяком случае будут укладываться в пределах вариабельности рассматриваемого фактора:

$$\text{varia } a_\phi = a_{\phi\,\max}/a_{\phi\,\min} \text{ или varia } P = P_{\max}/P_{\min}.$$

В этом случае все вышеприведенные формулы сохраняют свою структуру, только вместо значений коэффициента фильтрации следует поставить соответствующие значения $a_{\phi m}$ и вместо степени α_k следует подставить значения степени $(\alpha_k - \beta_\delta)$.

При проектировании, строительстве и исследованиях осушительной сети также необходимо учитывать пространственную изменчивость прочности почвогрунтов, например торфяной залежи, с которой связаны проходимость мелиоративной техники, устойчивость от-

косов каналов, гидротехнических сооружений, деформационные свойства залежи. В отдельных местах или в целом по объекту может оказаться, что прочностные характеристики почвогрунтов не соответствуют предъявленным к ним требованиям. Поэтому следует выделять зоны, требующие дополнительных мероприятий по упрочнению, по плану и разрезам модульных коэффициентов пористости или плотности почвогрунтов. Для этого предусматривают их предварительное осушение. Теперь можно решать задачу по режиму влажности почв. Должны быть известны значения уровней грунтовых вод y_1, y_2, $y_{T\text{ср}}$, а также $W_{0\text{ПВ}}$, $W_{\text{Н0ПВ}}$, m_w, a^1_w, a_w, влажность почвы в пахотном горизонте и средняя в зоне аэрации $W_{\text{ср}1}$ на начало расчетного периода для центров и границ опытных участков.

При уровнях y_1 и y_2 в зоне аэрации рассчитываем значения:

$$W_{\text{ПВ ср }1,2}=\frac{(W_{0\text{ПВ}}-W_{\text{Н0ПВ}})\,(H_{0S}^{m_W+1}-H_{S1,2}^{m_W+1})}{(m_W+1)\,H_{0S}^{m_W}\,(H_0-H_{1,2})}+W_{\text{Н0ПВ}}. \quad (17a)$$

В зоне сработки (подъема) грунтовых вод (y_2-y_1) находим значение:

$$W_{\text{ПВ ср }1-2}=\frac{(W_{0\text{ПВ}}-W_{\text{Н0ПВ}})\,(H_{1S}^{m_W+1}-H_{2S}^{m_W+1})}{(m_W+1)\,H_{0S}^{m_W}\,(H_1-H_2)}+W_{\text{Н0ПВ}}. \quad (17б)$$

В этих формулах при $y_{1,2}<H_{0S}$ следует принимать, что
$H_{S1,2}=H_{0S}-y_{1,2}$, в случае же $y_{1,2}\geqslant H_{0S}$ $H_{S1,2}=0$. Значения $H_0-H_{1,2}=y_{1,2}$ и $H_1-H_2=y_2-y_1$.

Значение средней влажности в зоне аэрации найдем по формуле:

$$W_{\text{ср}1,2}=W_{\text{ПВср}1,2}[W_{01,2}/W_{0\text{ПВ}}+(1-a_W)\,(1-W_{01,2}/W_{0\text{ПВ}})]. \quad (39)$$

Значение средней влажности почвы в зоне аэрации на конец расчетного периода найдем по уравнению водного баланса:

$$W_{\text{ср2}}=\frac{W_{\text{ср}1}y_{1\text{ср}}+W_{\text{ПВср}(2-1)}(y_{1\text{ср}}-y_{2\text{ср}})-(E_{\text{ср}}T_E+q_{\text{м}}T-a^1_{\text{д}}\beta T_{\text{д}}-\Delta q_{\text{и}}T-\Delta q_mT)}{y_{2\text{ср}}} \quad (40)$$

где $E_{ср}$ — средняя интенсивность испарения влаги из почвы, м/сут; $q_м$ — средний модуль стока, м/сут (м³/м²сут); $a^1_{гд}\beta$ — расчетная интенсивность осадков, м/сут; $a^1_д$ — интенсивность осадков, м/сут; β — коэффициент инфильтрации осадков в почву; $\Delta q_н$ — значение подпитывания напорно-грунтовых вод, м/сут; Δq_m — приток грунтовых вод на осушаемую площадь, м/сут; $y_{1,2}$ — средняя начальная и конечная глубина стояния грунтовых вод на осушаемой площади, м; $W_{ср1,2}$ — средняя объемная влажность в зоне аэрации начальная и конечная за расчетный период T.

Если принять, что $y_1=y_2=y$, $q_м=\Delta q_н=\Delta q_m=0$, то получим для участка без осушения

$$W_{ср2}=W_{ср1}-(E_{ср}-a^1_д\beta)\,T/y. \qquad (41)$$

Значения влажности почвы в пахотном слое на конец расчетного периода рассчитывают по зависимости:

$$W_{02}=\frac{W_{0ПВ}}{a_W}\left[\frac{W_{ср2}}{W_{ПВср2}}-(1-a_W)\right]=$$

$$=\frac{(W_{српр}-W_{ПВсрпр}A_W)\,W_{0ПВ}}{W_{ПВсрпр}(1-A_W)}, \qquad (42)$$

при этом значение $W_{ПВср2}$ определяем по формуле (17а). Теперь есть возможность рассчитать поливную норму. Вначале на глубину промачивания $y=h_{пр}$ найдем значение:

$$W_{ПВсрпр}=\frac{(W_{0ПВ}-W_{Н0ПВ})\,(H_{0S}^{m_W+1}-H_{Sпр}^{m_W+1})}{(m_W+1)H_{0S}^{m_W}(H_0-H_{пр})}+W_{Н0ПВ}. \qquad (17в)$$

При $h_{пр}<H_0$ $H_{пр}=H_0-h_{пр}$; при $h_{пр}\geqslant H_0$ $H_{пр}=0$ и $H_0-H_{пр}=h_{пр}$.

Значение $W_{српр}$ найдем по формуле:

$$W_{ср2пр}=W_{ПВсрпр}[W_{02}/W_{0ПВ}+A_W(1-W_{02}/W_{0ПВ})], \qquad (43а)$$

где

$$A_W=(1-a_W)\,(h_{пр}^{1/m_a}/y^{1/m_a}). \qquad (43б)$$

Если влажность $W_{ср2пр}\leqslant W_{кр}$, то дают полив слоем

$$m\leqslant(W_{опт}-W_{ср2пр})\,h_{пр}\ \text{(м)} \qquad (44а)$$

или

$$m=10\,000\,m'\ \text{(м³/га)}. \qquad (44б)$$

Средняя расчетная влажность слоя промачивания после инфильтрации влаги будет равна

$$W_{ср2пр}=W_{ср2пр}+(W_{опт}-W_{српр})\frac{W_{ПВсрпр}}{W_{ПВср}}\frac{h_{пр}}{y_2}(m_a+$$
$$+1)\,(1-A_w). \qquad (45)$$

Для расчета значения испарения влаги из почвы необходимо знать дефицит влажности почвы $\Delta W = W_{\text{пвсру}_т} - W_т$ и среднее значение высоты капиллярного поднятия $y_к$ при $y_{тср}$. Вначале находим значение $W_{\text{пвсру}_т}$ при $H_0 - H_{тср} = y_{тср}$.

Имея в виду, что $H_{\text{Sср}т} = H_{0S} - y_{тср}$ при $y_{тср} < H_{0S}$ и $H_{ST} = 0$ при $y_{тср} \geqslant H_{0S}$, где $y_{тср}$ — средняя глубина стояния грунтовых вод на осушаемой карте за расчетный период.

Значение

$$W_{\text{пв}y тср} = \frac{(W_{0\text{пв}} - W_{н0\text{пв}})(H_{0S}^{m_W+1} - H_{\text{Sср}т}^{m_W+1})}{(m_W+1)H_{0S}^{m_W}(H_0 - H_{тср})} + W_{н_0\text{пв}} \cdot \quad (17г)$$

Находим значение

$$\Delta W_0 = W_{\text{пвсру}_т}(1 - W_{0т}/W_{0\text{пв}})a_w, \quad (46)$$

где $$W_{0т} = (W_{01} + W_{02})/2.$$

Также на основе фактических данных можно установить ряд параметров, входящих в расчетные формулы по определению расстояний между дренами. Формулу для определения удельного притока грунтовых вод к дренам запишем в виде:

$$q = 2k_{ср}a_h H^{m_q}\alpha_0/l = m_к\alpha_0 H^{m_q}/l = C_к H^{m_q}/l, \quad (47)$$

где H — мощность водоносного слоя в середине между дренами, м.

Отсюда можно найти

$$\lg q = \lg C_к + m_q \lg H. \quad (48)$$

Тогда для каждого значения l

$$m_q = (\lg q_2 - \lg q_1)/(\lg H_2 - \lg H_1). \quad (49)$$

где l — половина расстояния между дренами, м.

Значение $C_к$ можно определить по графику в логарифмических координатах, на котором по оси ординат при $\lg H = 0$ получают значение $\lg C_к$. Но поскольку $C_к = 2k_{ср}a_h\alpha_0$, то, зная значения $k_{ср}$ и a_h, можно найти фактическое значение α_0. Значение $a_h = h/H$ можно определить по фактическим полевым данным наблюдений, построив график $a_h = f(H, k, l)$ для идеальных

дрен и по данным высачивания грунтовых вод на откосах дренажных траншей. Тогда легко найти и значение

$$\alpha_0 = C_к / 2k_{ср}\, a_h \cdot \qquad (50)$$

Приняв связь

$$\alpha_0 = \alpha/(1+\zeta_r) = \alpha\eta, \quad \eta = 1/(1+\zeta_r), \qquad (51)$$

найдем коэффициент висячести α, если известно значение гидравлического сопротивления дренажных труб ζ_r, полученное на участке, где дрены заложены на водоупоре, или на основании лабораторных исследований.

На основании полевых режимных исследований можно также получить ряд критериев.

Если

$$T = \frac{2V_1}{q_1} \lg \frac{q_1 + C_q l}{q_2 + C_q l} = \tau F_0, \qquad (52)$$

где $\tau = 2V_1/q_1$ (52*а*), $V_1 = H_1 l\, \delta_{ср}$ (52*б*) и

$$F_0 = \lg(q_1 + C_q l)/(q_2 + C_q l), \qquad (52в)$$

а $C_q = (a_д - u_{ср} + \Delta q_н + \Delta_{qm})$, (52*г*)

и $a_д = [(O_д + h_{ст} + m)\beta - (W_{к в ср} - W_{1ср})]/T$, (52*д*)

где $a_д$ — интенсивность инфильтрационного питания, м/сут; $O_д$ — слой осадков за период T, м; $h_{ст}$ — слой притока воды, м; m — поливная норма, м; β — коэффициент инфильтрации; $W_{к в ср}$ — средняя капиллярная влагоемкость в зоне аэрации; $u_{ср}$ — значения подпитывания влагой почвы в зоне аэрации со стороны грунтовых вод, м/сут.

Удельное значение грунтово-напорного питания:

$$\Delta q_H = k_{ср}(H_S - H_Z)/(S - Z), \qquad (52е)$$

где H_S, H_Z — напоры на глубине S и Z, м; Z — глубина заложения дрен, м.

Удельное (приведенное) значение грунтового питания:

$$\Delta q_m = k_{ср} hI/2^{m_д} L \text{ или } \Delta q_m = k_{ср} hI/(1 + a_L m_д) L, \qquad (52ж)$$

где h — мощность потока грунтовых вод выше оси дрен, м; I — уклон потока грунтовых вод; $m_д$ — номер дрены, считая от головной; a_L — коэффициент нагрузки дрен.

Так как $C_q = (q_1\varphi - q_2)/(1+\varphi)l$, (53)

то $u_{ср} = a_д - C_q + \Delta q_H + \Delta q_m$, (54)

при этом $\varphi = 10^{-\tau/\tau}$.

Значение функции питания найдем по формуле:

$$\Phi_q = C_q\, l/q_1, \qquad (56)$$

а обобщенного критерия режима грунтовых вод по формуле:

$$\Phi_\varphi = \varphi - \Phi_q(1-\varphi), \qquad (57)$$

$$H_2 = H_1\Phi_\varphi \quad (58) \quad \text{и} \quad y_2 = Z - H_2 = Z - H_1 \cdot \Phi_\varphi, \qquad (59)$$

где H_1, H_2 — действующие напоры выше оси дрен на начало и конец расчетного периода, м.

Значение Φ_φ можно также найти из последней зависимости:

$$\Phi_\varphi = (Z - y_2)/(Z - y_1), \qquad (60)$$

где y_2 — глубина стояния грунтовых вод на конец расчетного периода, м.

Таким образом можно обрабатывать фактический полевой материал по режиму влажности почвы грунтовых вод и стоку.

Пример. 1. Найти средние значения коэффициентов фильтрации в неоднородных почвогрунтах при следующих исходных данных: $H'_0 = 6{,}2$ м; $H^1_1 = H_0 = 6{,}2$ м; $H^1_2 = 5{,}7$ м; $S^1_a = 4{,}2$ м; $H_{0S} = H^1_0 - S'_a = 2{,}0$ м; $S = 5$ м; $Z = 1{,}2$ м; $k_0 = 0{,}2$ м/сут; $K_{H0} = 0{,}001$ м/сут; $y_1 = 0{,}3$ м; $k_1 = 0{,}1$ м/сут; $y_2 = 0{,}5$ м; $k_2 = 0{,}05$ м/сут;

$$m = \lg\frac{0{,}1 - 0{,}001}{0{,}05 - 0{,}001} \Big/ \lg\frac{0{,}7}{0{,}5} = 2{,}05, \text{ принимаем } m = 2{,}0.$$

Найдем значения $k_{ср}$ в слое $\Delta y = H_1 - H_2 = 0{,}5$ м;

$$k_{(6{,}2\ldots5{,}7)ср} = \frac{(0{,}20 - 0{,}001)\,(2{,}0^3 - 1{,}50^3)}{(2+1)\,2{,}0^2\,(6{,}2 - 5{,}7)} + 0{,}001 = 0{,}154 \text{ м/сут};$$ в слое

$H_2 = 5{,}7$ м $k_{(5{,}7\ldots0)ср} = \dfrac{(0{,}2 - 0{,}001)\,(1{,}5^2 - 0)}{(2+1)\,2{,}0^2\,(5{,}7 - 0)} + 0{,}001 = 0{,}0075$ м/сут;

при $S_a = 0$ $k_{(1{,}5\ldots0)ср} = \dfrac{(0{,}2 - 0{,}001)\,(1{,}5^3 - 0)}{(2+1)\,2{,}0^2\,(1{,}5 - 0)} + 0{,}001 = 0{,}0382$ м/сут;

в слое $Z = H_1 - H_2 = 1{,}2$ м

$$k_{(6{,}2\ldots5)ср} = \frac{(0{,}20 - 0{,}001)\,(2{,}0^3 - 0{,}8^3)}{(2+1)\,2{,}0^2\,(16{,}2 - 5{,}0)} + 0{,}001 = 0{,}104 \text{ м/сут};$$

в слое выше оси дрен, но ниже зоны колебания почвогрунтовых вод

$k_{(5{,}7\ldots5)ср} = \dfrac{(0{,}200 - 0{,}001)\,(1{,}5^3 - 0{,}8^3)}{(2+1)\,2{,}0^2\,(5{,}7 - 5{,}0)} + 0{,}001 = 0{,}0934$ м/сут; ниже оси

дрен в слое $S=5{,}0$ м

$$k_{(5{,}0\ldots0)\text{ср}}=\frac{(0{,}200-0{,}001)\,(0{,}8^3-0)}{(2+1)\,2{,}0^2\,(5{,}0-0)}+0{,}001=0{,}00270\ \text{м/сут}.$$

Средние динамические значения коэффициентов фильтрации при отсчете от водоупора

$k_{\text{ср}}=0{,}0075+0{,}25\cdot0{,}154=0{,}0455$ м/сут; при отсчете от оси дрен, выше ее, $k_{1\text{ср}}=0{,}0934+0{,}25\cdot0{,}154=0{,}132$ м/сут; при отсчете от оси дрен, ниже ее, $k_{2\text{ср}}=k_{2\text{ср}}=0{,}0027$ м/сут.

Пример 2. Найти коэффициенты водоотдачи торфяных почвогрунтов.

1. Торфяная залежь однородная: $\mu=0{,}20$; $y_2=1{,}0$ м; $y_1=0{,}5$ м; $y_к=1{,}0$ м.

$$\delta_{\text{ср}}=\frac{0{,}20\,(1{,}0^{3/2}-0{,}5^{3/2})}{1{,}5\cdot1{,}0^{0{,}5}\,(1{,}0-0{,}5)}=\frac{0{,}20\,(1{,}00-0{,}353)}{0{,}75}=0{,}173\ ;$$

2. Торфяная залежь неоднородная (после уплотнения при осушении): $H_0=2{,}0$ м; $m\approx2{,}0$; $\mu_0=0{,}10$; $d_{к0}=0{,}1$ мм; $y_{к0}=0{,}30/0{,}010=30$ см или $y_{к0}=0{,}3$ мм; $y_0=0{,}1$ м; $d_{к_1}=0{,}05$ мм; $y_к=0{,}30/0{,}005=60$ см или $y_{к_1}=0{,}60$ м; $y_1=0{,}50$ м; $d_{к_2}=0{,}01$ мм; $y_{к_2}=0{,}30/0{,}001=30$ см или $y_{к_2}=3{,}0$ м; $y_2=1{,}0$ м; $d_{кк0}=0{,}005$ мм; $y_{к0}=0{,}30/0{,}0005=600$ см или $y_{кк0}=6{,}0$ м; $y_{к0}=2{,}0$ м.

Текущая водоотдача на глубине $y_1=0{,}5$ м и $H_{1S}=1{,}5$ м

$$\delta_{y=0{,}5}=\left(0{,}10\sqrt{\frac{0{,}50}{0{,}30}}-0{,}01\sqrt{\frac{0{,}50}{6{,}0}}\right)\left(\frac{1{,}5}{2{,}0}\right)^2+0{,}01\sqrt{\frac{0{,}50}{6{,}0}}=$$

$$=(0{,}2\cdot1-0{,}01\sqrt{0{,}083})\cdot0{,}75^2+0{,}01\sqrt{0{,}083}=0{,}056,$$

на глубине $y_2=1{,}0$ м и $H_{2S}=1{,}0$ м $\delta_{y=1{,}0}=\left(0{,}10\sqrt{\frac{100}{0{,}30}}-\right.$

$$\left.-0{,}01\sqrt{\frac{1{,}0}{6{,}0}}\right)\left(\frac{1{,}0}{2{,}0}\right)^2+0{,}01\sqrt{\frac{1{,}0}{6{,}0}}=(0{,}10-$$

$$-0{,}01\sqrt{0{,}166})\,0{,}50^2+0{,}01\sqrt{0{,}166}=0{,}026.$$

Средние коэффициенты водоотдачи в слоях $y_1=0$; $H_1=H_0=2{,}0$ м; $y_2=0{,}5$ м; $H_2=H_0-y_2=1{,}5$ м;

$$H_\delta=\frac{2{,}0^{0{,}5}}{2{,}0^2}\left(\frac{0{,}10}{1{,}0^{0{,}5}}-\frac{0{,}010}{6{,}0^{0{,}5}}\right)\left(\frac{2{,}0^3-1{,}5^3}{3}-\frac{2{,}0^4-1{,}5^4}{2\cdot8}\right)+$$

$$+\frac{0{,}01\cdot2{,}0^{0{,}5}}{6{,}0^{0{,}5}}\cdot\left[(2{,}0-1{,}5)-\frac{2^2-1{,}5^2}{8}\right]=0{,}0304\ \text{м}$$

$$\delta_{\text{ср}}=\frac{0{,}0304}{(2{,}0-1{,}5)}=0{,}0608\cdot$$

в слоях $y_1=0$; $H_1=H_0=2{,}0$ м; $y_2=1{,}0$ м; $H_2=1{,}0$ м;

$$H_\delta = \frac{2{,}0^{0{,}5}}{2{,}0^2}\left(\frac{0{,}10}{1{,}0^{0{,}5}} - \frac{0{,}010}{6{,}0^{0{,}5}}\right)\left(\frac{2{,}0^3-1{,}0^3}{3} - \frac{2{,}0^4-1{,}0^4}{16}\right) +$$
$$\frac{0{,}01\cdot 2{,}0^{0{,}5}}{6{,}0^{0{,}5}}\left[(2{,}0-1{,}0) - \frac{2{,}0^2-1{,}0^2}{8}\right] = 0{,}0487 \text{ м},$$

$$\delta_{ср} = \frac{0{,}0487}{(2{,}0-1{,}0)} = 0{,}0487;$$

в слоях $y_1 = 0{,}5$ м; $H_1 = 1{,}5$ м; $y_2 = 1{,}0$ м; $H_2 = 1{,}0$ м;

$$H_\delta = \frac{2{,}0^{0{,}5}}{2{,}0^2}\left(\frac{0{,}10}{1{,}0^{0{,}5}} - \frac{0{,}01}{6{,}0^{0{,}5}}\right)\left(\frac{1{,}5^3-1{,}0^3}{3} - \frac{1{,}5^4-1{,}0^4}{16}\right) +$$
$$+ \frac{0{,}01\cdot 2{,}0^{0{,}5}}{6{,}0^{0{,}5}}\left[(1{,}5-1{,}0) - \frac{1{,}5^2-1{,}0^2}{8}\right] = 0{,}02 \text{ м},$$

$$\delta = \frac{0{,}02}{1{,}5-1{,}0} = 0{,}04.$$

Пример 3. Рассчитать недостаток насыщения и водовместимость неоднородной торфяной залежи. Исходные данные:

$W_{ПВ0} = 0{,}90$; $W_{H0ПВ} = 0{,}70$; $m_w = 2{,}0$; $a_w = 0{,}25$; $H_{0S} = 2{,}0$ м;

$H_0 = 2{,}0$ м; $y_{Tср} = 0{,}80$ м; $H_{SсрT} = H_{0S} - y_{Tср} = 1{,}2$ м; $H_0 - H_{Tср} = y_{Tср} = 0{,}80$ м; $W_{01} = 0{,}75$ и $W_{02} = 0{,}60$; $W_{0T} = 0{,}675$.

$$W_{ПВyTср} = \frac{(0{,}90-0{,}70)\,(2{,}0-1{,}2^3)}{(2{,}0+1{,}0)\,2{,}0^2 0{,}8}\cdot 0{,}70 = 0{,}830;$$

$$\Delta W_H = 0{,}831\left(1 - \frac{0{,}675}{0{,}900}\right)0{,}25 = 0{,}208\cdot 0{,}25 = 0{,}052;$$

$$\Delta W_{HyTср} = 0{,}052\cdot 0{,}80 = 0{,}0416 \text{ м} = 42 \text{ мм}.$$

Пример 4. Найти расстояние между дренами, определить границы участков, в пределах которых эти расстояния можно принимать постоянными, исходя из пространственной изменчивости водно-физических свойств почвогрунтов, при следующих исходных данных ($L_0 = L_{ср}$):

1. $\alpha_R = 2{,}0$; $\Delta_B = \pm 0{,}20$; $\Delta_L/2 = \pm 0{,}10$;

$$\eta_L = 1{,}00 + 0{,}20 = 1{,}20; \quad \eta_{-L} = 1{,}00 - 0{,}20 = 0{,}80;$$

$$\eta_{L\Gamma}=1{,}00+0{,}10=1{,}10;\quad \eta_{-L\Gamma}=1{,}00-0{,}10=0{,}90;$$

$$\eta_L^m=1{,}20^m;\quad \eta_{-L}^m=0{,}80^m;\quad \eta_L^{2m}=1{,}20^{2m};$$

$$\eta_{-L}^{2m}=0{,}80^{2m};\quad \eta_L^{2m/\alpha_k}=\eta_L^m=1{,}20^m;$$

$$\eta_{-L}^{2m/\alpha_k}=\eta_{-L}^m=0{,}80^m;\quad \eta_L^{-2m/\alpha_k}=\eta_L^{-m}=1{,}20^{-m};$$

$$\eta_{-L}^{-2m/\alpha_k}=\eta_{-L}^{-m}=0{,}80^{-m};$$

$$\eta_{L\Gamma}^2=1{,}10^2=1{,}21;\quad \eta_{-L\Gamma}^2=0{,}90^2=0{,}81;$$

$$\eta_{L\Gamma}^{2/\alpha_k}=\eta_{L\Gamma}=1{,}10;\quad \eta_{-L\Gamma}^{2/\alpha_k}=\eta_{-L\Gamma}=0{,}90;$$

$$\eta_{L\Gamma}^{-2/\alpha_k}=\eta_{L\Gamma}^{-1}=1{,}1^{-1}/1=0{,}909;\quad \eta_{-L\Gamma}^{-2/\alpha_k}=\eta_{-L\Gamma}^{-1}=0{,}90^{-1}=1{,}11.$$

2. $\alpha_k=2{,}0;\quad \eta_L=1{,}50;\quad \eta_{-L}=1{,}5^{-1}=0{,}667;$

$$\eta_L=1{,}25 \text{ и } \eta_{-L\Gamma}=1{,}25^{-1}=0{,}80;$$

$$\eta_L^m=1{,}5^m;\quad \eta_{-L}^m=0{,}667^m;$$

$$\eta_L^{2m}=1{,}5^{2m};\quad \eta_{-L}^{-2m}=0{,}667^{2m};$$

$$\eta_L^{-2m}=1{,}5^{-2m};\quad \eta_{-L}^{-2m}=0{,}667^{-2m};$$

$$\eta_L^{-2m/\alpha_k}=\eta_L^{-m}=1{,}5^{-m};\quad \eta_{-L}^{-2m/\alpha_k}=\eta_{-L}^{-m}=0{,}667^{-m};$$

$$\eta_{L\Gamma}^2=1{,}25^2=1{,}56;\quad \eta_{-L\Gamma}=0{,}8^2=0{,}64;$$

$$\eta_{L\Gamma}^{2/\alpha_k}=\eta_{L\Gamma}=1{,}5;\quad \eta_{-L\Gamma}^{2/\alpha_k}=\eta_{-L\Gamma}=0{,}8;$$

$$\eta_{L\Gamma}^{-2/\alpha_k}=\eta_{L\Gamma}^{-1}=0{,}8;\quad \eta_{-L\Gamma}^{-2/\alpha_k}=\eta_{-L\Gamma}^{-1}=1{,}25.$$

Результаты расчетов сводим в таблицы 1 и 2. По данным этих таблиц оконтуриваем участки, в пределах которых $L=\text{const}$.

1. Определение контуров относительно однородных участков при $\eta_L = 1{,}2$ и $\eta_{-L} = 0{,}8$

Определяемые параметры	Центр 0, участок 0	Граница 0...1, участок 0, $m=0$	Центр 1, участок 1	Граница 1...2, участок 1, $m=1$	Центр 2, участок 2	Граница 2...3, участок 2, $m=2$	Центр 3, участок 3	Граница 3...4, участок 3, $m=3$	Центр 4, участок 4	Граница 4...5, участок 4, $m=4$	Центр 5, участок 5	Граница участка 5, $m=5$
L_m	L_{cp}	L_{cp}	$1{,}20L_{cp}$	$1{,}20L_{cp}$	$1{,}44L_{cp}$	$1{,}44L_{cp}$	$1{,}73L_{cp}$	$1{,}73L_{cp}$	$2{,}07L_{cp}$	$2{,}07L_{cp}$	$2{,}49L_{cp}$	$2{,}49L_{cp}$
L_{-m}	L_{cp}	L_{cp}	$0{,}80L_{cp}$	$0{,}80L_{cp}$	$0{,}64L_{cp}$	$0{,}64L_{cp}$	$0{,}51L_{cp}$	$0{,}51L_{cp}$	$0{,}41L_{cp}$	$0{,}41L_{cp}$	$0{,}33L_{cp}$	$0{,}33L_{cp}$
k_m	k_{cp}	$1{,}27k_{cp}$	$1{,}44k_{cp}$	$1{,}74k_{cp}$	$2{,}07k_{cp}$	$2{,}51k_{cp}$	$2{,}99k_{cp}$	$3{,}62k_{cp}$	$4{,}30k_{cp}$	$5{,}20k_{cp}$	$6{,}19k_{cp}$	$7{,}49k_{cp}$
k_{-m}	k_{cp}	$0{,}81k_{cp}$	$0{,}64k_{cp}$	$0{,}52k_{cp}$	$0{,}41k_{cp}$	$0{,}33k_{cp}$	$0{,}26k_{cp}$	$0{,}21k_{cp}$	$0{,}17k_{cp}$	$0{,}14k_{cp}$	$0{,}11k_{cp}$	$0{,}087k_{cp}$
K_k	1,0	1,21	1,44	1,74	2,07	2,51	2,99	3,62	4,30	5,20	6,19	7,49
K_{-k}	1,0	0,81	0,64	0,52	0,41	0,33	0,26	0,21	0,17	0,14	0,11	0,087
K_n	1,0	1,10	1,20	1,32	1,44	1,58	1,73	1,90	2,07	2,28	2,49	2,74
K_{-n}	1,0	0,90	0,80	0,72	0,64	0,58	0,51	0,46	0,41	0,37	0,33	0,29
K_P	1,0	0,91	0,83	0,76	0,69	0,60	0,58	0,52	0,48	0,44	0,40	0,36
K_{-P}	1,0	1,11	1,25	1,39	1,56	1,74	1,59	2,17	2,44	2,70	3,05	3,49

2. Определение контуров относительно однородных участков

Определяемые параметры	Центр 0	Граница 0...1	Центр 1	Граница 1...2	Центр 2	Граница 2...3	Центр 3	Граница 3...4	Центр 4	Граница 4...5	Центр 5	Граница 5
	участка 0		участка 1		участка 2		участка 3		участка 4		участка 5	
L_m	L_{cp}	L_{cp}	$1{,}50L_{cp}$	$1{,}25L_{cp}$	$2{,}25L_{cp}$	$1{,}56L_{cp}$	$3{,}37L_{cp}$	$1{,}95L_{cp}$	$5{,}06L_{cp}$	$2{,}44L_{cp}$	$7{,}60L_{cp}$	$3{,}05L_{cp}$
L_{-m}	L_{cp}	L_{cp}	$0{,}67L_{cp}$	$0{,}80L_{cp}$	$0{,}44L_{cp}$	$0{,}64L_{cp}$	$0{,}30L_{cp}$	$0{,}51L_{cp}$	$0{,}20L_{cp}$	$0{,}41L_{cp}$	$0{,}13L_{cp}$	$0{,}33L_{cp}$
k_m	k_{cp}	$1{,}50k_{cp}$	$2{,}25k_{cp}$	$3{,}52k_{cp}$	$5{,}06k_{cp}$	$7{,}30k_{cp}$	$11{,}39k_{cp}$	$11{,}70k_{cp}$	$23{,}63k_{cp}$	$40{,}00k_{cp}$	$57{,}66k_{cp}$	$90{,}00k_{cp}$
k_{-m}	k_{cp}	$0{,}64k_{cp}$	$0{,}44k_{cp}$	$0{,}28k_{cp}$	$0{,}20k_{cp}$	$0{,}13k_{cp}$	$0{,}08k_{cp}$	$0{,}05k_{cp}$	$0{,}04k_{cp}$	$0{,}03k_{cp}$	$0{,}02k_{cp}$	$0{,}01k_{cp}$
K_k	1,0	1,56	2,25	3,51	5,06	7,89	11,39	17,77	25,63	39,98	57,66	89,95
K_{-k}	1,0	0,64	0,44	0,28	0,20	0,13	0,08	0,51	0,04	0,03	0,02	0,01
K_n	1,0	1,50	1,50	2,25	2,55	3,38	3,38	5,06	5,06	7,59	7,59	11,39
K_{-n}	1,0	0,67	0,67	0,44	0,44	0,30	0,30	0,20	0,20	0,13	0,13	0,09
K_P	1,0	0,80	0,67	0,53	0,44	0,35	0,29	0,23	0,20	0,16	0,13	0,10
K_{-P}	1,0	1,25	1,50	1,88	2,27	2,84	3,33	4,16	5,00	6,25	7,69	9,61

УДК 631.6 : 626.862

МЕТОД УСТАНОВЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ВРЕМЕНЕМ ОТВОДА ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ ВОД И ПАРАМЕТРАМИ ДРЕНАЖА

Э. А. БИШОФ, кандидат технических наук
В. А. ЖУРАВЛЕВ, кандидат технических наук
Д. П. САМОФАЛОВ, кандидат технических наук
М. В. ДОМАШЕНКО

Северный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

Многочисленные методы определения параметров закрытого дренажа можно разделить на две большие группы: эмпирические (методы аналогий) и расчетные (аналитические). Первая группа находит широкое применение в хорошо изученных регионах, с достаточным опытом проектирования, строительства и эксплуатации мелиоративных систем, а вторая — при обосновании параметров дренажа в районах, где опыт недостаточен или отсутствует вовсе. Недостаток эмпирических методов, в частности широко используемого в европейских странах и Прибалтийских республиках СССР метода назначения междренных расстояний по механическому составу почвогрунтов, заключается в необходимости проведения многолетних наблюдений на экспериментальных осушительных системах с последующим обобщением полученных данных. Наиболее слабое звено аналитических методов фильтрационного расчета дренажа — большая изменчивость в пределах даже сравнительно небольших участков водопроницаемости и водоотдачи почвогрунтов. За счет этого точность результатов даже при абсолютно адекватной натуре расчетной схемы будет зависеть от точности определения и осреднения по площади их значений.

Критерий для выбора оптимальных параметров закрытого дренажа — время отвода почвенно-грунтовых вод из пахотного и подпахотного горизонтов почвенного профиля в критические периоды работы осушительной системы, оптимальные для возделывания сельскохозяйственных культур. Поэтому возникает необходимость в разработке таких методов определения параметров дренажа, которые позволяли бы за короткий срок в условиях конкретного объекта путем непосредственных

измерений определять зависимость между временем отвода избыточной воды из почвы и основными параметрами дренажа (расстояниями между дренами и глубиной их закладки).

Один из таких методов — «дренажный клин, который разработан в СевНИИГиМ и испытан на Карельской опытно-мелиоративной станции. Он представляет собой выбранный на осушаемом массиве репрезентативный в почвенно-литологическом отношении участок. Под острым углом друг к другу заложены две дрены с расчетом, чтобы ширина междренного пространства, на котором устанавливают водомерные колодцы, изменялась от максимального расстояния L_{max}, которое возможно при осушении данного типа почвогрунтов, до минимального L_{min} (рис. 1). В концах дрен оборудуют приямки для откачки воды из них, а от окружающей территории «клин» вдоль дрен и с торцовых сторон изолируют водонепроницаемым пленочным экраном с расположенным над ним валиком. При таком расположении на одном междренном пространстве можно выделить целый ряд различных расстояний между дренами, которым соответствуют водомерные колодцы K_1, $K_2 \ldots K_n$. Для получения зависимости $t=f(L)$ «клин» искусственно увлажняют до полного насыщения почвы водой, при этом уровни воды в колодцах поднимутся до поверхности почвы. Затем приступают к откачке воды из дрен с одновременными замерами уровней в колодцах. По каждому колодцу отмечают время от начала откачки до снижения уровней на 0,2; 0,5 и 1,0 м от поверхности почвы и строят графики искомых зависимостей. Преимущества метода — в возможности многократного повторения измерений в разные периоды года, а также моделирования периодов избыточного увлажнения различной продолжительности, что особенно важно в разбухающих грунтах. Но при расположении дрен под углом возникает продольная составляющая фильтрационного потока, которая может исказить результаты измерений. Кроме того, необходимо оценить, насколько

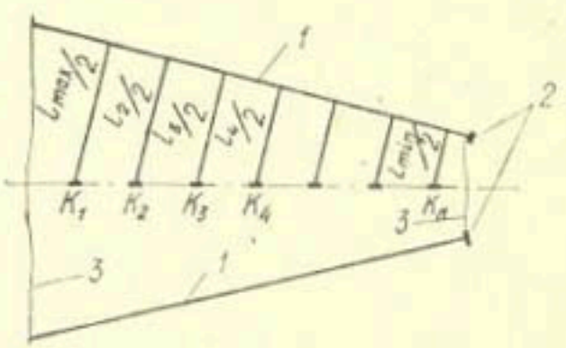


Рис. 1. Расположение пробных дрен и водомерных колодцев при полевом методе определения междренных расстояний.

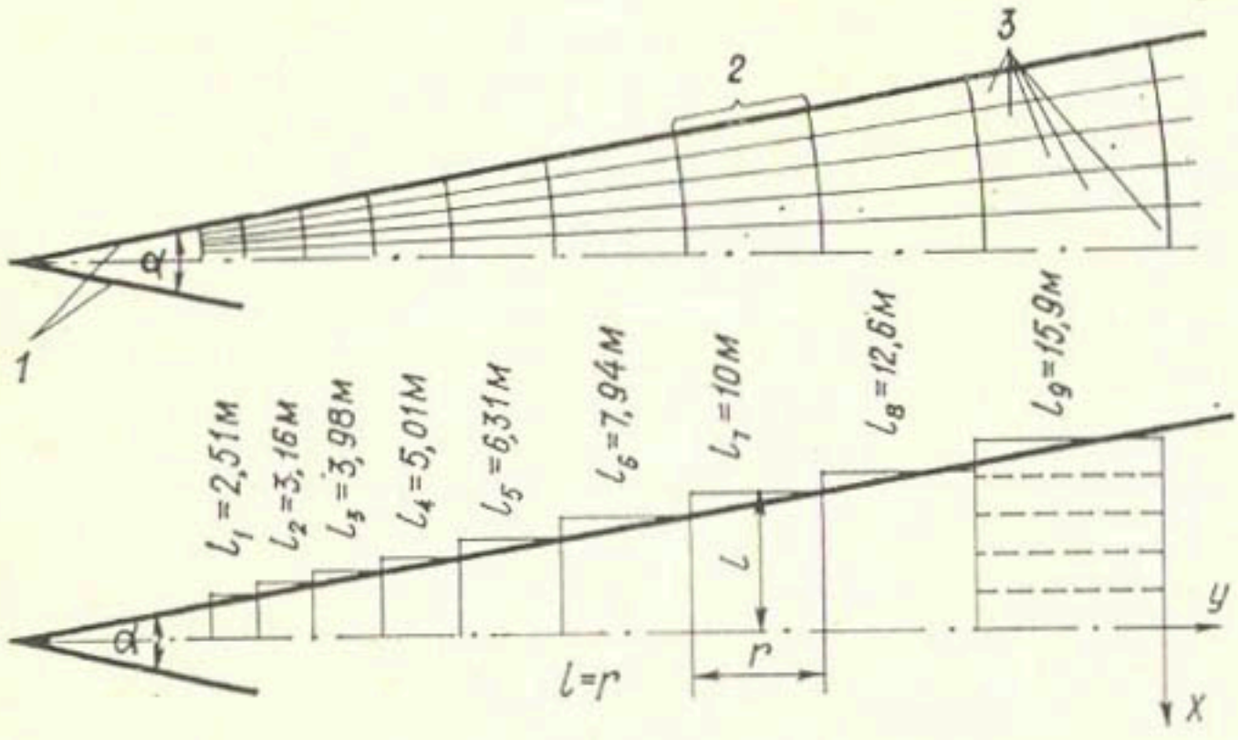


Рис. 2. Схематизация области фильтрации «дренажного клина» при $\alpha = 26$ °С:

1 — дрена; *2* — сектор; *3* — блоки.

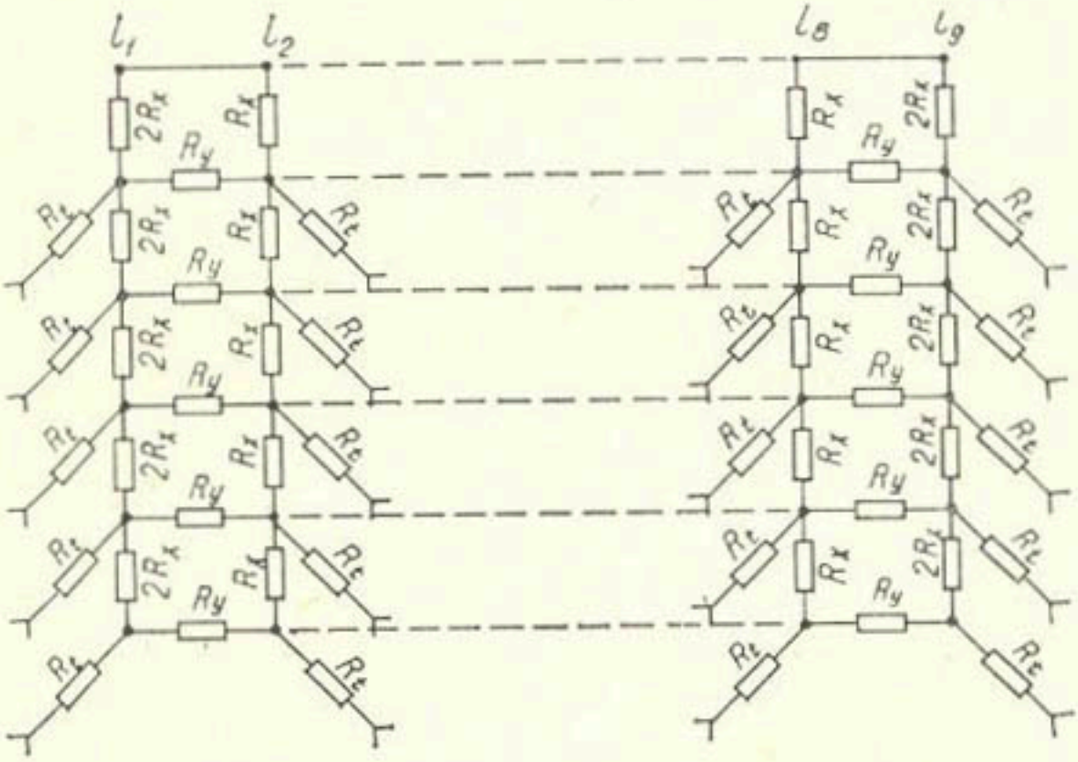


Рис. 3. Общая электрическая схема сеточной модели.

точно результаты, полученные на одном междренном пространстве, характеризуют массив в целом. Для решения этих задач были проведены исследования на сеточном электроинтеграторе и полевые опыты.

При решении задачи о влиянии размера угла, под которым сходятся лежащие на водоупоре дрены, на скорость снижения поверхности грунтовых вод в междренье для упрощения модели было принято, что массив ограничен прямоугольными совершенными траншеями и что имеет место предпосылка Дюпюи о постоянстве в каждом вертикальном сечении горизонтальных градиентов напора. В связи с этим пространственную область «клина» рассматривали на модели как планово-плоскую, а плоскую в разрезе фильтрации между параллельными дренами — как одномерную. Понижение свободной поверхности в точке водораздела на электромодели «клина» сравнивали с аналогичным электромодельным решением для параллельных дрен, точность которого, в свою очередь, оценивали путем сопоставления с результатами решения данной задачи на ЭЦВМ методами Галеркина [2]. Разбивка междренного пространства на секторы и блоки для составления планово-плоской модели «клина» и электрическая схема сетки для угла $\alpha = 26°$ приведены на рисунках 2, 3. Анализ результатов показал, что во всех секторах, за исключением крайних, расчеты на модели «клина» хорошо согласуются с данными электромодельного расчета нестационарной фильтрации для параллельных дрен и с решением по методу Галеркина. Ошибки не превышали 6 %, что не выходит за пределы точности моделирования. В самом большом секторе скорости снижения уровней выше, чем при параллельном дренаже, и, наоборот, в самом узком секторе они меньше. Причина этого кроется в том, что в большом секторе наряду с движением потока к дрене происходит отток грунтовых вод внутрь клина; в малом секторе падение УГВ замедляется из-за дополнительного притока фильтрационных вод со стороны предпоследнего сектора. В средних сечениях наряду с основным потоком к дрене существует фильтрация в продольном направлении, но она носит транзитный характер, то есть проходит из верхнего сектора в нижний практически без потери объема.

После исключения из дальнейшего рассмотрения данных расчетов по крайним секторам полученные резуль-

таты были приведены к безразмерному виду, а затем для каждой из рассмотренных моделей «клина» построены обобщенные зависимости понижения свободной поверхности в середине между дренами. Для сравнения на графиках показаны соответствующие кривые для параллельных дрен. Приведение к безразмерному виду заключалось в следующем: изменение напора h_t на середине междренной полосы во времени выражали в долях от первоначального напора h_0, а относительное время — зависящим от коэффициента фильтрации k, водоотдачи μ и отношения первоначального напора h_0 к квадрату междренного расстояния L^2. Наибольшие расхождения между значениями h_t/h_0 для параллельных и сходящихся в плане дрен не превышает 3 % для угла $\alpha=26°$ и 4...5 % для $\alpha=50°$, причем наибольшее число ошибок — в конце обработки уровней, когда ордината h_t уменьшается до 0,6...0,7 м от первоначальной.

Таким образом, электромодельные расчеты показали, что размер угла, под которым сходятся дрены, не оказывает существенного влияния на точность получаемых результатов. Во избежание искажений, имеющих место в крайних секторах «клина», необходимо при его разбивке оставить защитные полосы шириной не менее 0,5 L_{max} и 0,5 L_{min} с соответствующих сторон. Наиболее оптимальные значения угла между дренами составляют 30...45°, поскольку при этом протяженность дрен, экрана и валиков наименьшая.

Как упоминали ранее, в задачу полевых экспериментов входило изучение двух вопросов: репрезентативность одного междренья для выделенного при изысканиях однородного массива и точность, с которой информация, полученная на дренажном клине, характеризует результаты, полученные на традиционных опытных системах с различными параметрами, в частности с различными расстояниями между дренами. По первому из рассматриваемых вопросов в литературе имеют место противоречивые мнения. Например, А. А. Ксензов [2] и А. А. Богушевский [1] считают, что в связи со случайностью распределения коэффициента фильтрации k на однородном массиве каждое междренье характеризуется своей водопроницаемостью и, следовательно, водный режим на каждом междренье будет отличаться от соседних. Р. Миллер и Дж. Кан [3] в соответствии с общими законами статистики утверждают:

при случайном распределении с варьирующими характеристиками по площади все точки имеют одну и ту же вероятность и могут занять любое положение на этой площади;

некоторый малый участок площади характеризуется такой же вероятностью содержать те или иные точки, как и любой другой такого же размера;

положение одной точки с определенными свойствами на площади не влияет на положение всех остальных.

Отсюда следует, что если на дренированном массиве имеет место случайная изменчивость водопроницаемости, то ее наблюдают и в каждом междренье. В противном случае средние значения водопроницаемости в отдельных междреньях должны достоверно отличаться друг от друга.

Для оценки этих положений были проведены полевые определения водопроницаемости на массиве Мокколово совхоза им. Э. Тельмана Тосненского района Ленинградской области, в опытном хозяйстве СевНИИГиМ и на Карельской опытно-мелиоративной станции, а также использованы данные по площадным определениям водопроницаемости для супесей, песков и суглинков (всего 21 выборка с объемом 30...70 определений в каждой). Поскольку в каждом конкретном случае расстояния между точками, в которых определяли коэффициент фильтрации, были разными (от нескольких метров до десятков), в расчетах принято условие, что десять подряд идущих (в продольном или

1. Оценка различий значений водопроницаемости песчаной почвы
(участок Мокколово, совхоз им. Э. Тельмана)

Номер выборки	Значения k по повторностям, м/сут										Сумма по выборкам	Среднее по выборкам
1	1,6	1,8	4,2	1,4	1,6	3,6	1,8	4,3	2,4	1,5	24,2	2,42
2	2,2	2,2	2,9	3,5	2,6	2,3	2,2	2,6	2,2	1,8	24,5	2,45
3	2,7	3,3	2,9	3,3	4,7	4,3	2,9	3,7	4,4	4,1	36,9	3,69
4	4,7	3,5	3,4	3,5	6,3	3,5	3,5	1,6	1,8	0,9	32,7	3,27
5	2,9	3,5	2,8	2,3	2,0	2,4	3,5	2,1	2,5	1,0	24,7	2,47
6	1,9	2,9	1,9	0,8	3,7	3,1	3,8	3,1	3,7	3,1	28,0	2,80

$\Sigma k = 171{,}0$ $k_0 = 2{,}85$

$S^2_z = 0{,}87$; $S^2_v = 2{,}75$; $F_{факт} = 3{,}16$; $F_{05} = 4{,}4$; $F_{01} = 9{,}24$

2. Оценка различий значений водопроницаемости суглинистой почвы (шестое поле лугопастбищного севооборота ОПХ СевНИИГиМ)

Номер выборки	Значения k по повторностям, м/сут.										Сумма по выборкам	Среднее по выборкам
1	0,86	0,93	1,20	0,48	0,28	0,35	0,85	0,55	0,97	1,00	8,47	0,847
2	0,83	0,58	0,33	0,88	0,85	1,00	0,36	0,36	0,87	0,42	6,47	0,647
3	0,76	0,72	0,75	0,91	0,58	0,50	0,31	0,82	0,76	0,95	7,06	0,706

$\Sigma k = 22{,}00$ $k_0 = 0{,}73$

$S^2_z = 0{,}0087$; $S^2_v = 0{,}1056$; $F_{факт} = 12{,}09$; $F_{05} = 19{,}46$; $F_{01} = 99{,}47$

поперечном направлении) значений k характеризуют отдельное междренье, а вся выборка — массив в целом.

Для оценки наличия достоверных различий между вновь образованными выборками был произведен дисперсионный анализ результатов определения водопроницаемости в 60 точках с песчаной (массив Мокколово) и 30 точках с суглинистой почвой шестое поле лугопастбищного севооборота ОПХ СевНИИГиМ). Исходные данные рассматривали как независимые случайные выборки, а оценку различий между ними проводили по критерию F Фишера путем сопоставления его фактического значения с теоретическим (табличным). Результаты анализа показаны в таблицах 1 и 2. По обоим массивам достоверных различий между средними выборок не установлено, поскольку фактические значения критерия Фишера меньше теоретических.

Для оценки точности, с которой любое междренье характеризует по водопроницаемости весь массив, были использованы все 21 выборка, полученная разными авторами для различных почвогрунтов. Как и в предыдущем случае, в расчет брали 10 идущих подряд значений k. Далее вычисляли среднее значение из 10 определений. Чтобы привести все данные к сопоставимому виду, средние значения по каждой выборке делили на среднее для всего массива в целом, то есть вычисляли модульные коэффициенты. Всего было получено 33 значения коэффициентов для супесчаной и песчаной почв и 56 — для суглинков (табл. 3).

Коэффициент вариации для суглинистой почвы равен 21 %, а для супесчаных и песчаных—34 %. Если во всех формулах расчета междренных расстояний водо-

3. Статистические характеристики средних из 10 определений водопроницаемости для минеральных почв разного механического состава (в модульных коэффициентах)

Номер выборки	Значения модульных коэффициентов									
единицы / десятки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Суглинистые почвы										
0	—	0,88	0,69	0,94	1,00	0,98	0,95	0,92	1,10	0,87
1	1,16	1,19	1,24	0,94	1,26	0,78	0,87	1,00	0,54	0,80
2	1,21	1,48	0,67	0,70	1,33	1,48	0,97	0,91	1,10	0,78
3	0,93	1,19	0,68	1,00	0,97	1,00	1,08	1,03	0,90	0,90
4	1,63	1,28	1,04	0,97	1,09	1,03	1,00	0,90	0,95	1,04
5	0,97	0,79	1,18	1,00	0,96	0,76	1,00	—	—	—
Супесчаные и песчаные почвы										
0	—	0,41	1,24	2,07	0,89	0,62	0,44	1,18	0,81	0,83
1	0,88	0,89	0,96	1,06	0,96	0,47	1,43	1,44	0,99	1,01
2	0,98	1,71	0,61	0,94	0,86	0,88	1,31	1,29	0,91	0,91
3	1,10	0,67	0,91	1,32	—	—	—	—	—	—

$n=56$; $\overline{m_0}=1{,}0$; $S=0{,}21$; $V=21\%$

$n=33$; $\overline{m_0}=1{,}0$; $S=0{,}34$; $V=34\%$

проницаемость входит в подкоренное выражение, то результаты исследований параметров дренажа на одном междренье будут характеризовать эти же параметры для массива в целом в следующих пределах для суглинистых почв:

$$p=\sqrt{1{,}00+0{,}21},\quad \text{или } 89\ldots110\%;$$

для песчаных и супесчаных почв:

$$p=\sqrt{1{,}00+0{,}34},\quad \text{или } 81\ldots115\%.$$

Разделив эти пределы пополам, получим оценку ожидаемой точности результатов исследований: 11 % на суглинистых и 17 % на песчаных и супесчаных почвах, что можно считать вполне удовлетворительным для практических целей. Но при исследованиях на «дренажном клине» каждому значению расстояния между дренами соответствуют наблюдения по водомерному колодцу, расположенному на середине междренной полосы, или по одному створу колодцев. В связи с этим

возникает вопрос, сколько повторностей клина необходимо иметь на массиве, чтобы точность полученной информации была не хуже заданной. Для решения этой задачи произведено искусственное увлажнение двух междренных полос на экспериментальном участке Карельской ОМС, прилегающем к опытному «дренажному клину», с последующими наблюдениями за изменениями уровней воды в пахотном горизонте по 24 колодцам, расположенным на расстоянии 10 м друг от друга на середине междренных полос. Почвы участка — тяжелый сунглинок, мощность пахотного горизонта 20... ...25 см. Все результаты приведены к безразмерному виду путем вычисления средних за 15 дней наблюдений модульных коэффициентов для каждой точки.

Статистические характеристики полученного ряда следующие:

$$\overline{m}_0 = 1{,}01; \quad S = 0{,}21; \quad V = 20{,}8\%.$$

Необходимое число повторностей для достижения заданной точности можно определить по формуле [6]:

$$n = S^2 t^2 [1 \pm (1/\sqrt{2m})]^2/\Delta^2 ,$$

где n — число повторностей, необходимое для получения погрешности не хуже заданной — Δ; S — среднеквадратичное отклонение ряда из m предварительных определений; t — значения критерия Стьюдента для выбранного уровня значимости

Задавая значения относительной погрешности 0,05; 0,10; 0,15 и 0,20, что соответствует точности 5, 10, 15 и 20 %, и принимая табличное значение критерия Стьюдента $t_{05} = 2{,}07$, при числе предварительных определений $m = 24$ получим:

$$n_{5\%} = 74 \pm 20; \quad n_{10\%} = 18 \pm 5; \quad n_{15\%} = 8 \pm 2; \quad n_{20\%} = 4 \pm 1.$$

Таким образом, для изучаемых почв обеспечение точности результатов не хуже 20 % может быть достигнуто при наблюдениях за уровнями почвенно-грунтовых вод по 3...5 колодцам, расположенным на середине одного междренья с параллельно заложенными дренами, или по 3...5 «дренажным клиньям», на которых каждый колодец соответствует своему междренному расстоянию. Достигнуть более высокой точности, например 10 %, нереально даже при традиционных методах исследований, поскольку для этого на каждом варианте опыта необходимо иметь 13...23 наблюдательных колодцев.

Рассмотрим данные определения зависимости $t=f(L)$ на опытной площадке Карельской ОМС. Площадка представляла собой междренную полосу шириной 30 м и длиной 100 м с заложенной по диагонали дополнительной дреной, благодаря чему образовано два прилегающих друг к другу «дренажных клина». По периметру площадки были отрыты узкие траншеи, в которые помещался экран из полиэтиленовой пленки для предотвращения перетекания воды за пределы участка. Вынутый из траншеи грунт возвратили на место и уплотнили, а затем над экраном устроили валик высотой 20...25 см из уплотненного грунта. По биссектрисам углов, образованных сходящимися пробными дренами, было заложено 36 водомерных колодцев диаметром 4...5 см, из которых половина имела глубину 1,5 м (глубина закладки дрен), а остальные — глубину 30 см, что на 5 см больше мощности пахотного слоя. Почвы — тяжелый суглинок. Участок насытили до полной влагоемкости дождеванием 5 раз: дважды весной и трижды летом. По окончании насыщения все дрены включили в работу и по всем колодцам провели наблюдения за изменением уровней почвенно-грунтовых вод. Частота замера уровней составляла 3.. .4 в первый день наблюдений, а в последующем — 2 раза в день. Результаты наблюдений представлены в полулогарифмических координатах на рисунке 4. Зави-

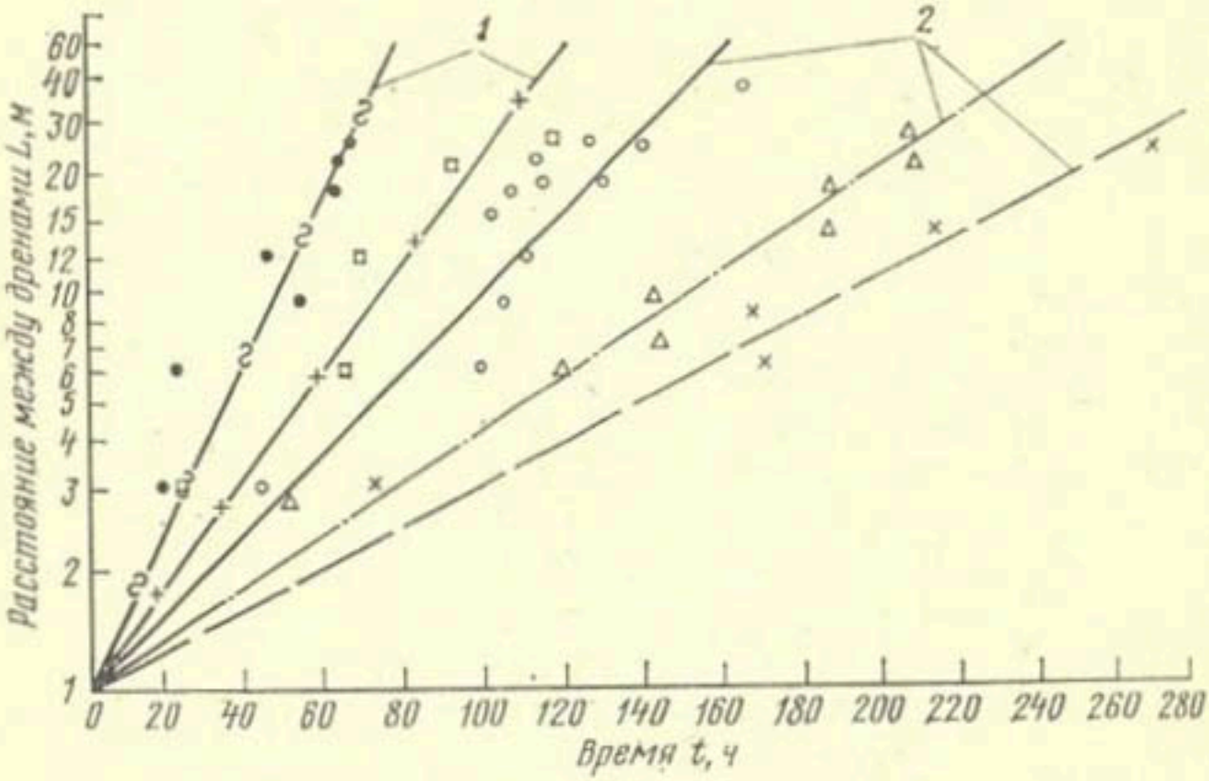


Рис. 4. Зависимость $t=f(L)$ для тяжелых суглинков (ОПХ Карельской ОМС):

1 — весна; *2* — лето.

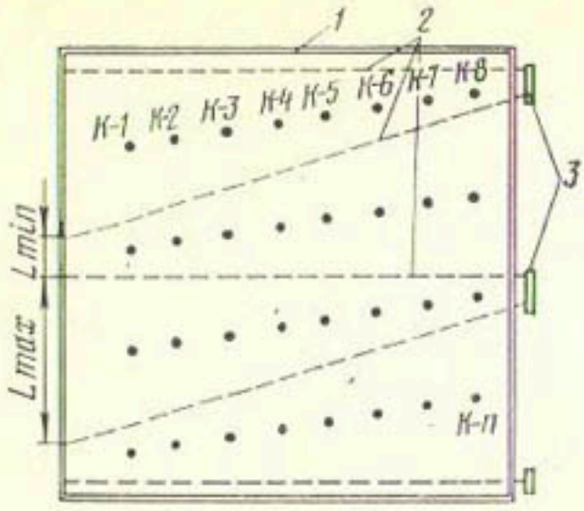


Рис. 5. Схема расположения пробных дрен на участке:

1 — валик с заложенным под ним экраном из полиэтиленовой пленки; *2* — пробные дрены; *3* — места откачки воды; *К*-1, *К*-2, *К*-3, *К*-*п* — водомерные колодцы.

симость $t=f(L)$ для верхнего 25-сантиметрового слоя почвы значительно изменялась во времени под влиянием сезона года и исходной влажности перед увлажнением. Поэтому для практических целей увлажнение можно осуществлять по сезонам года и внутри каждого сезона необходимы несколько последовательных определений, принимая в качестве расчетной зависимости самый неблагоприятный вариант.

На основании выполненных лабораторных и полевых исследований можно сделать следующие основные выводы:

ошибки, обусловленные трехмерностью потока воды в междренном пространстве при закладке в процессе изысканий пробных дрен под углом до 50° друг к другу, не превышают 4 % от максимального напора, и ими можно пренебречь в практических расчетах;

любое отдельно взятое пробное междренье характеризует водопроницаемость массива с точностью 11... 19 %;

для обеспечения точности наблюдений за водопонижающим действием дренажа не хуже 2 % необходимо вести замеры уровней не менее чем на четырех междреньях;

зависимость времени отвода избыточной влаги из корнеобитаемого слоя почвы от расстояний между дренами подвержена значительным изменениям по сезонам безморозного периода, а также внутри сезонов под влиянием исходного состояния почвогрунтов, поэтому изучение этой зависимости путем искусственного увлажнения пробных «дренажных клиньев» нужно проводить несколько раз в год.

Исходя из этих положений, можно рекомендовать в процессе выполнения научно-исследовательских работ и изысканий для обоснования параметров регулирующей осушительной сети закладывать пробные площадки квадратной формы с длиной сторон 2 ($L_{min}+L_{max}$). На

площадке закладывают пять пробных дрен (рис. 5), водомерные колодцы, устраивают по периметру защитный экран и валики для предотвращения перетекания воды и оборудуют емкости для откачки воды из дрен. При такой форме площадки необходимо минимальное количество воды для искусственного увлажнения. В процессе последующих наблюдений за водопонижающим действием дренажа ошибка, обусловленная трехмерностью потока, не превысит 3 %, а ошибка, обусловленная пространственной вариацией водопроницаемости, — 20 %, чего вполне достаточно для практических целей.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богушевский А. А. Влияние стохастического характера коэффициента фильтрации на расчетный режим осушения. — В кн. Режим осушения и методика полевых научных исследований, М.: Колос, 1971, с. 102...112. 2. Ксензов А. А. Как часто необходимо располагать точки определения водопроницаемости по площади при проведении почвенно-мелиоративных взысканий для составления проектов осушения. — Труды Карельской опытно-мелиоративной станции, Петрозаводск, 1972, вып. 2, с. 81...106. 3. Миллер Р., Кан Дж. Статистический анализ в геологических науках. М.: Мир, 1965. — 480 с.

УДК 631.445.1+626.845+676.17

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДНОГО РЕЖИМА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ С ГРУНТОВЫМ ТИПОМ ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ДОЖДЕВАНИЯ

Ю. Н. НИКОЛЬСКИЙ, кандидат технических наук
Н. П. БУНИНА, кандидат технических наук
Московский ордена Трудового Красного Знамени гидромелиоративный институт

Исследования водного режима осушаемых земель с грунтовым типом питания в условиях дождевания — составная часть комплексных исследований методов управления водным и связанными с ним газовым, тепловым и питательным режимами мелиорируемых земель. Один из основных вопросов, возникающих при оценке эффективности дождевания осушаемых земель, — нахождение такого режима осушения и соответствующего ему режима дополнительного увлажнения, которые при заданном уровне оптимальности развития растений (по

водному режиму) обеспечили бы наиболее экономное расходование поливной воды и максимальный урожай.

Исследования показывают, что урожайность сельскохозяйственных культур на осушаемых землях с близким залеганием грунтовых вод существенно изменяется в зависимости от глубины их понижения даже при поддержании с помощью дождевания оптимальной влажности почвы. Понижение уровня грунтовых вод или повышение по сравнению с некоторым его оптимальным значением снижает урожай. Причина этого лежит в закономерных изменениях характера водообмена в зоне аэрации и связанных с ним температурного и питательного режимов почвы.

Основные задачи исследований: изучение закономерностей изменения водного баланса в зависимости от влажности почвы и глубины залегания грунтовых вод; установление связи между режимами орошения и осушения; установление закономерных изменений урожайности от влажности почвы и уровня грунтовых вод; разработка методики определения наиболее трудно измеримых элементов водного баланса зоны аэрации — водообмена с грунтовыми водами и поглощения почвенной влаги корнями растений.

Для изучения поставленных задач необходимо в полевых условиях провести серию опытов по дождеванию при различных уровнях грунтовых вод, но одинаковой во всех вариантах влажности почвы и, наоборот, при различной влажности почвенного слоя, но одинаковой глубине понижения грунтовых вод. Такие опыты можно осуществить частично в лизиметрах, заряженных монолитами почвогрунта, и на опытных площадках. В любом случае необходимо доказательство репрезентативности лизиметрических данных для осушаемого массива. При оценке водного режима почвы нужно использовать в ряде случаев также данные по газовому, питательному и тепловому режимам почв, как комплексу факторов, участвующих в формировании урожая и отражающих степень оптимальности условий внешней среды.

Методика исследований закономерностей формирования водного режима зоны аэрации с помощью лизиметров. Применяемые в опытах лизиметры представляют собой стальные цилиндры внутренним диаметром не менее 1 м, глубиной 2,5 и 3 м, заполненные монолитами

почвогрунтов. Поддержание заданного уровня грунтовых вод осуществляется автоматически посредством специальной аппаратуры, что повышает точность эксперимента. Конструктивные особенности лизиметров позволяют выращивать в них широкий набор сельскохозяйственных культур, достаточно поддерживать режимы увлажнения, аэрации, инфильтрации, подобные условиям на окружающих участках, или искусственно создавать различные режимы увлажнения и осушения для изучения закономерностей изменения при этом водного баланса почвы и урожая. Площадь лизиметров позволяет свести к минимуму различия в относительной площади листьев, их освещенности, освещенности почвы и таким образом получить достаточно репрезентативные данные.

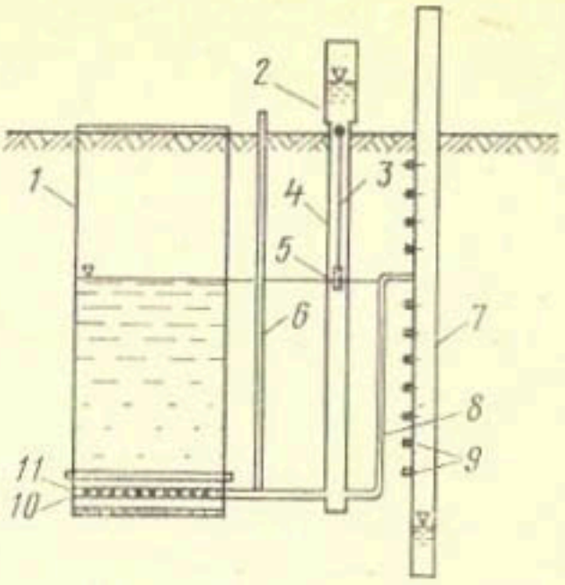


Рис. 1. Схема металлического сварного лизиметра с автоматическим устройством регулирования уровня грунтовых вод: *1* — корпус; *2* — компенсатор; *3* — тросик; *4* — компенсационная труба; *5* — поплавок; *6* — наблюдательная труба; *7* — инфильтрационная труба; *8* — сливная резиновая трубка; *9* — штуцер; *10* — поддон; *11* — перфорированная труба.

При опускании уровня грунтовых вод в лизиметре (рис. 1) ниже заданного положения (в случае испарения с уровня грунтовых вод) поплавок в компенсационной трубе открывает пружинный клапан компенсатора, устроенного по типу сосуда Бойля-Мариотта, и вода доливается до заданного уровня. При подъеме уровня выше установленного предела (в случае инфильтрации поливных или дождевых вод) излишек воды сливается в инфильтрационную трубу с помощью присоединенной к ней сливной резиновой трубки. Положение уровня грунтовых вод в лизиметре можно периодически изменять путем присоединения резиновой трубки к штуцеру на инфильтрационной трубе на той или иной высоте и изменения длины тросика, удерживающего поплавок на заданном уровне.

Исследования водного режима зоны аэрации при различном понижении грунтовых вод проводят на фоне оптимальной влажности почвы (60...80 % пористости), поддерживаемой с помощью поливов, и включают не

менее пяти вариантов в двукратной повторности, что потребует не менее десяти лизиметров. Уровень грунтовых вод поддерживают с помощью автоматического устройства постоянным на глубине 0,5, 1, 1,5 и 2 м, а если достаточно лизиметров, то и на промежуточных глубинах. Это позволит получить непрерывные кривые связи урожая и отдельных элементов водного баланса с глубиной грунтовых вод в широком диапазоне ее изменения. Кроме того, необходимо поставить опыт с переменным в течение вегетации уровнем грунтовых вод, соответствующим оптимальному его ходу на осушительных системах или произвольно заданным режимам осушения. Для оценки репрезентативности лизиметрических данных следует дополнительно установить два лизиметра с уровнем грунтовых вод, соответствующим положению его на окружающем поле. Поливы в этих лизиметрах осуществляют нормами и в сроки аналогично тому, как их проводят на поле. Данные этого опыта позволят сравнить урожайность и оросительные нормы, полученные в лизиметре и на поле при одинаковых уровнях грунтовых вод и одинаковой влажности почвы. Поливы дождеванием назначают таким образом, чтобы поддерживать влажность корнеобитаемого слоя 0...50 см в торфяных почвах или 0...30 см в минеральных в пределах выбранного оптимального диапазона. Лизиметры с уровнем менее 0,7 м не поливают, так как естественная влажность в них близка или даже выше предельнополевой. Влажность почвы измеряют послойно (через 20 см) до грунтовых вод с помощью нейтронного влагомера (например, ВПГР-1) с точностью 2...3 %.

Предварительную оценку поливной нормы m определяют по формуле:

$$m = (w_2 - w_1) \cdot l_к \,, \qquad (1)$$

где w_2 — влажность (в долях от объема почвы), соответствующая верхнему пределу заданного интервала изменения влажности; w_1 — предполивная влажность, средняя в корнеобитаемом слое, доли от объема; $l_к$ — мощность корнеобитаемого слоя, мм.

Полив назначают при снижении влажности в расчетном слое w_1 до значения, близкого к нижнему пределу в выбранном диапазоне оптимальной влажности. После полива по данным измерений влажности корректируют поливную норму.

Во всех лизиметрах должна быть обеспечена единая норма высева растений из расчета на 1 м²: пшеница —

600 растений, картофель — пять кустов, свекла — семь корнеплодов, капуста — четыре растения. Окружающую лизиметры территорию засевают той же культурой и поливают. В случае отсутствия полива, что крайне нежелательно, в значение водопотребления нужно ввести поправку, учитывающую дополнительный приток тепла с неорошаемой территории. Поправку можно рассчитать по методике ГГИ [1].

Уравнение водного баланса зоны аэрации за расчетный промежуток времени имеет вид:

$$\delta \overline{W} = Oc + M - E_0 \pm q, \qquad (2)$$

где δW — изменение влагозапасов в зоне аэрации за рассматриваемый промежуток времени (разность между конечными и начальными запасами), мм; Oc — осадки, мм; M — количество поливной воды, мм; E_0 — суммарное испарение, мм; $q = q_1 - q_2$ — водообмен между почвенными и грунтовыми водами, мм; q_1 — подпитывание зоны аэрации со стороны грунтовых вод, мм; q_2 — сброс почвенной влаги в грунтовые воды, мм.

Значение q определяют по количеству долитой или отлитой из лизиметров воды, необходимой для поддержания грунтовых вод на заданной глубине. Испарение E_0 определяют из балансового уравнения (2) с учетом измерения значений δW, Oc, M и q.

Исследования по водному режиму зоны аэрации осуществляют в комплексе с изучением теплового и питательного режимов почв. Температуру почвы измеряют в слоях 0...10, 10...20, 20...30 и 30...50 см ежедневно с помощью электрических или ртутных термометров. Желательны также измерения температуры верхних слоев грунтовых вод в лизиметрах и на окружающем поле. Их целесообразно вести с помощью глубинных электрических термометров с периодичностью один раз в 10...15 сут. Наблюдения за динамикой питательных веществ *(N, P, K)* в зоне аэрации проводят в основные фазы развития. Послойно через 20 см до уровня грунтовых вод отбирают на химический анализ образцы почвогрунта в небольшом объеме. В течение вегетации на окружающем лизиметры участке осуществляют наблюдения за влажностью и температурой воздуха и почвы (в расчетном слое 0...50 или 0...30 см) стандартными приборами, за испарением с водной поверхности — с помощью испарометра ГГИ-3000.

Методика исследований закономерностей формирования водного режима зоны аэрации с помощью опытных

площадок. Исследования водного режима почвы при различных режимах увлажнения проводят на опытных площадках. Границы площадок должны соответствовать границам площади, «подвешенной» к двум или более дренам или коллектору. Устьевые части дрен или коллектора оборудуют смотровыми колодцами для измерения дренажного стока. Опытные площадки размещают по возможности в центре осушаемого массива для исключения горизонтальных притоков и оттоков в балансе грунтовых вод. При осушении массива открытыми каналами их можно разместить так, чтобы охватить водосбор одного канала полностью или занять часть междренья. В последнем случае размеры площадок делают не меньше чем 10×10 м и располагают в середине между каналами.

Влажность почвенного слоя на опытных площадках или полях поддерживают в различных для каждого варианта пределах внутри общего оптимального диапазона: 50...60, 60...70, 70...80 и 60...80 % от пористости. Уровень грунтовых вод соблюдают на всех вариантах одинаковый в оптимальных пределах (период июнь — август). Поливы осуществляют дождеванием так, чтобы влажность почвы сохранялась как постоянной, независимо от фаз развития, так и переменной в соответствии с существующими рекомендациями. Назначают поливы при снижении влажности слоя 0...50 или 0...30 см до нижнего предела в выбранном диапазоне. Норму рассчитывают по уравнению (1) из условия повышения влажности в расчетном слое до уровня, соответствующего верхнему пределу диапазона регулирования.

На всех поливных и неполивных вариантах проводят наблюдения за условиями формирования водного режима, для чего измеряют составляющие (влажность почвы, осадки, поливные нормы, суммарное испарение, уровни грунтовых вод, дренажный сток, напорное питание) водного баланса расчетного слоя почвы воды аэрации (до уровня грунтовых вод), грунтовых вод и общего водного баланса, включающего зону аэрации и грунтовые воды.

Уравнение водного баланса зоны аэрации для опытной площадки то же по структуре, что и балансовое уравнение (2) для лизиметра.

Уравнение баланса грунтовых вод за расчетный промежуток времени имеет вид:

$$\delta \underline{W} = P - Q \pm q \,, \qquad (3)$$

где $\delta \underline{W}$ — изменение запасов грунтовых вод (разность между конечными и начальными запасами), мм; P — напорное питание, мм; Q — дренажный сток, мм; q — водообмен с зоной аэрации [$(-q)$ — расход грунтовых вод на подпитывание зоны аэрации, $(+q)$ — инфильтрационное питание грунтовых вод из зоны аэрации, мм.

Общее уравнение водного баланса, включающего зону аэрации и грунтовые воды, имеет вид:

$$\delta \overline{W} + \delta \underline{W} = Oc + M - E_0 + P - Q. \qquad (4)$$

Для измерения составляющих водного баланса на каждом варианте опытов оборудуют воднобалансовую площадку или воднобалансовую точку, в которой сосредоточенно определяют влагозапасы, осадки, поливные нормы, суммарное испарение, уровень грунтовых вод. Площадку располагают посредине между дренами в точке, где по данным предварительных одноразовых измерений вдоль дрены влажность и уровень грунтовых вод близки к средним значениям. На площадке устанавливают влагомеры, дождемеры, испарители, скважину для наблюдения за уровнем грунтовых вод. Здесь же располагают датчики температуры почвы и газового режима, скважины для отбора почвенных проб и грунтовых вод на химический анализ. Такие сосредоточенные измерения одновременно с периодическими воднобалансовыми на остальной части опытных площадок позволяют в значительной мере исключить фактор случайного разброса.

Суммарное испарение E_0 (водопотребление) определяют с помощью стандартных испарителей ГГИ-500-50, применяемых для культур сплошного сева — зерновые, травы. Для пропашных (картофель, свекла и др.) испарители с площадью испаряющей поверхности меньше 1 м^2 непригодны. Испарение также измеряют с помощью лизиметров с регулируемым уровнем грунтовых вод и находят из уравнения водного баланса (2) с учетом всех составляющих. Точность измеренного таким образом испарения зависит от точности измерения влагозапасов, осадков и водообмена и составляет 4...8 %. Суммарное испарение можно также определить расчетным путем по районированной формуле. При этом сле-

дует вводить поправку k_Δ на глубину грунтовых вод Δ по формуле:

$$E_\Phi = k_\Delta \cdot E_\text{р} \,, \qquad (5)$$

где E_Φ и $E_\text{р}$ — фактическое и расчетное значения суммарного испарения, мм; k — поправочный коэффициент, учитывающий влияние глубины грунтовых вод Δ, м, который можно ориентировочно принять по таблице.

Значения коэффициента k_Δ, учитывающего влияние глубины грунтовых вод Δ при расчетах суммарного испарения в условиях орошения осушаемых земель

Культура	Глубина грунтовых вод, м			
	0,5	1,0	1,5	2,0
Травы	0,8	1,0	1,0	1,0
Зерновые яровые (пшеница, рожь, ячмень, овес)	1,15	1,3	1,0	1,0
Пропашные	1,2	1,2	1,0	1,0

Как изменяются запасы грунтовых вод δW, определяют по данным наблюдений за колебаниями уровней грунтовых вод на воднобалансовой площадке. $\delta \underline{W}$ вычисляют по формуле:

$$\delta \underline{W} = \mu \cdot \delta\Delta \,, \qquad (6)$$

где μ — известное значение водоотдачи (или недостатка насыщения); $\delta\Delta = \Delta_\text{к} - \Delta_\text{н}$ — изменение глубины грунтовых вод за расчетный промежуток времени, м; $\Delta_\text{н}$ и $\Delta_\text{к}$ — начальная и конечная глубина грунтовых вод, м; $\delta \underline{W}$ можно определить и по данным измерений влажности в зоне аэрации, как приращение [со знаком (+) при подъеме и (—) при опускании уровня грунтовых вод] влажности в слое, в котором произошло изменение уровня грунтовых вод на значение $\delta\Delta$, мм.

Объем дренажного стока Q, отнесенный к единице площади водосбора и выраженный в размерностях слоя воды (в мм), определяют по данным ежедневного измерения расхода в устьях дрен и коллектора на границе опытной площадки. Значение напорного питания P (если оно есть) измеряют по кустам пьезометров, которые устанавливают хотя бы на одной из опытных площадок. По данным достаточно надежных измерений $\delta \overline{W}$, $\delta \underline{W}$, M, Oc, Q и P, подставляя их в уравнение общего баланса (4), уточняют значение суммарного испарения E_0. Значение водообмена q зоны аэрации с грунтовыми водами или расчетного слоя почвы с подстилаю-

щими слоями определяют из уравнения водного баланса (2) по известным значениям $\delta\overline{W}$, E_0, M и Oc. Значение q для зоны аэрации в целом проверяют вычислением по уравнению баланса грунтовых вод (3), используя данные о $\delta\underline{W}$, P и Q.

Некоторое представление о размере инфильтрационного сброса из зоны аэрации в грунтовые воды за короткий промежуток времени (1...3 сут) дают кратковременные подъемы грунтовых вод на опытной площадке. Анализируя ход уровня грунтовых вод по наблюдательной скважине на воднобалансовой площадке, можно косвенным путем (особенно при больших междренных расстояниях — более 50 м) проверить наличие инфильтрационных сбросов почвенной влаги. Тогда $q=\delta\underline{W}$, а $\delta\overline{W}$ вычисляют по уравнению (6).

Для контрольной оценки значения q между расчетным слоем почвы и нижележащими слоями можно использовать данные тензометрических измерений капиллярно-сорбционного напора почвенной влаги. В случаях, когда нет возможности непосредственно в поле определить значение водообмена q между зоной аэрации и грунтовыми водами, среднюю интенсивность его за расчетный промежуток времени можно рассчитать по формуле:

$$\overline{q}/k_1=(e^{-\lambda}-\Theta^{\nu})/(1-e^{-\lambda}), \qquad (7)$$

где k_1 — средний коэффициент фильтрации в зоне аэрации, м/сут; $\lambda=a\cdot n(\Delta-z_0/2)$ — безразмерное выражение глубины грунтовых вод, измеряемой от середины расчетного слоя толщиной z_0 (обычно $z_0=0{,}5$ м для торфов и 0,3 м для минеральных почв); Δ — глубина грунтовых вод, средняя за расчетный промежуток времени, измеряемая от поверхности почвы, м; $\Theta=(w-w_0)/(\sigma-w_0)$ — относительная влажность почвы; w — средняя влажность (в долях от объема почвы) в расчетном слое толщиной z_0 за расчетный промежуток времени продолжительностью T; σ — пористость доли от объема; n — показатель степени в формуле С. Ф. Аверьянова, описывающей зависимость коэффициента влагопроводности k_w от влажности w.

Коэффициент влагопроводности определяют по формуле:

$$k_w=k_1\left(\frac{w-w_0}{\sigma-w_0}\right)^{\nu}. \qquad (8)$$

Показатель степени ν в формуле (8) зависит от выбора значения w_0. Если за w_0 принять максимальную молекулярную влагоемкость, тогда $\nu=3...5$ для мине-

ральных грунтов и $\nu=4\ldots7$ для торфяных. Если в качестве w_0 взять значение влажности устойчивого завядания $w_0=w_{в.з}$, то в минеральных грунтах $\nu=5$, а в торфяных $\nu=6\ldots10$.

Значение a, входящее в формулу по определению λ — характеристика свойств почвы, определяют его подбором по формуле:

$$\psi=-\frac{1}{a}\ln\frac{(\sigma-w_0)}{(w-w_0)} \qquad (9)$$

на основании экспериментально определенной зависимости $\psi(w)$ в среднем по зоне аэрации. Значения w_0, σ, k_1 обычно определяют в процессе проектных изысканий. Зависимости $k(w)$ и $\psi(w)$ находят в лабораторных (на монолитах почвы) или полевых условиях достаточно простыми способами [3].

Суммарный водообмен зоны аэрации с грунтовыми водами за расчетный период продолжительностью T (сут) определяют по вычисленной ранее формуле (7) интенсивности водообмена

$$q=\overline{q}\cdot T. \qquad (10)$$

За расчетные желательно выбирать промежутки времени T в течение вегетации так, чтобы влагозапасы в зоне аэрации или в расчетном слое почвы были примерно одинаковыми на начало и конец периода. В качестве примера на рисунке 2 показаны графики изменения интенсивности водообмена при орошении осушаемых глубоких низинных торфяников в зависимости от нормы осушения Δ и влажности почвы w в среднем за вегетацию (май—сентябрь). Они рассчитаны по формуле (7) для значений $k_1=0{,}26$ м/сут, $\nu=6{,}48$, $w_0=0{,}45$, $\sigma=0{,}85$, $a=0{,}93$ 1/м, $z_0=0{,}5$ м и сопоставлены с данными полевых измерений q. Гра-

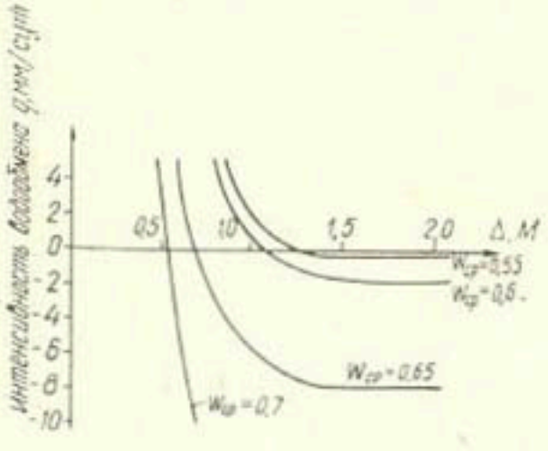


Рис. 2. Изменение средней за вегетацию интенсивности водообмена почвенных и грунтовых вод в зависимости от их глубины при различных значениях влажности почвы (влажность показана в долях от объема на кривых).

фики показывают, что глубина грунтовых вод Δ_0, при которой наблюдают за сезон «нулевой» водообмен между зоной аэрации и грунтовыми водами, отражающий равенство восходящих и нисходящих токов влаги, уменьшается по мере увеличения влажности w: при $w=0{,}58$ (в долях от объема торфяной почвы), то есть 0,68 от пористости, $\Delta_0=1{,}4$ м, а при $w=0{,}68$ или 0,8 от пористости, $\Delta_0=0{,}7$ м. При глубоких грунтовых водах ($\Delta>5$ м) в целом за сезон практически при любой влажности и в любой климатической зоне (в том числе в аридной) неизбежны инфильтрационные потери почвенной влаги.

Методика обработки экспериментальных данных. На основании полученных данных находят зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от глубины грунтовых вод Δ и средней за вегетацию влажности почвы w. Устанавливают зависимости оросительной нормы M, значения водообмена q, суммарного испарения E_0, а также соотношения между отдельными статьями водного баланса: $q/(M+Oc)$, $M/(E_0-Oc)$ и др. от глубины грунтовых вод и средней за вегетацию влажности почвы. Поскольку исследования по водному режиму проводят в комплексе с изучением теплового, питательного и газового, следует установить взаимосвязь этих режимов с глубиной понижения грунтовых вод и средней за вегетацию влажностью почвы.

Примерный график зависимости отношения $q/(M+Oc)$ от глубины грунтовых вод показан на рисунке 3. На низинном мощном торфянике он показывает, что при глубине 0,9 м суммарный за вегетацию водообмен равен нулю: сброс влаги полностью компенсируется за вегетацию подпитыванием со стороны грунтовых вод (для конкретных культур и природных условий). При глубине меньше оптимальной (менее 0,9 м) в водообмене в целом за сезон преобладает подпитывание, а при глубине более 0,9 м — сток почвенной влаги в грунтовые воды.

Наличие в условиях орошения постоянного нисходящего тока почвенной влаги из зоны аэрации в грунтовые воды при глубоком их расположении (1,5 м и 2 м) приводит к вымыванию элементов минерального питания. График изменения объема вымывания питательных веществ (нитратного азота) за вегетацию в грунтовые воды в зависимости от нормы осушения при опти-

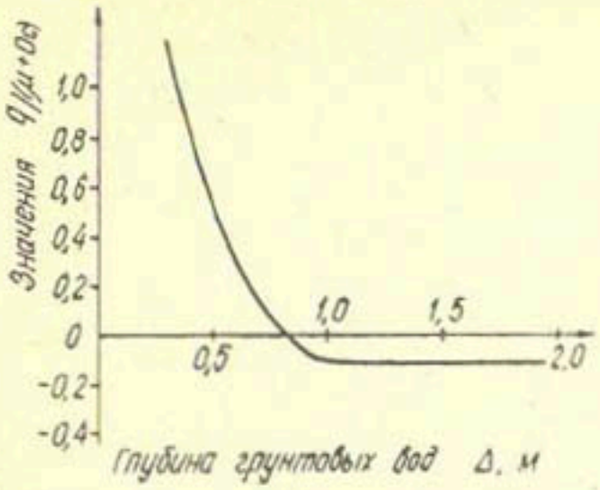


Рис. 3. Изменение суммарного за сезон водообмена зоны аэрации с грунтовыми водами, отнесенного к суммарной водоподаче $q(м+Ос)$, в зависимости от глубины грунтовых вод при дождевании трав.

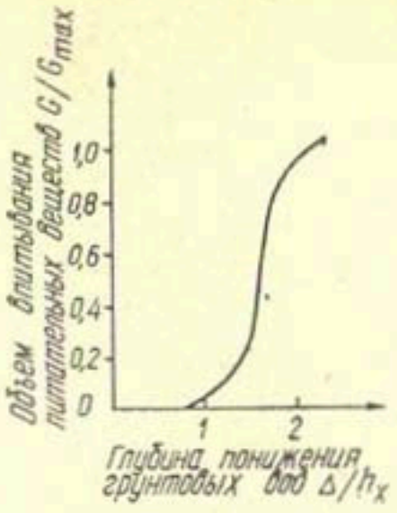


Рис. 4. Зависимость объема питательных веществ (N, P, K), вымываемого за вегетацию в грунтовые воды, от глубины понижения грунтовых вод (Δ) при орошении пшеницы:
C_{max} =10 кг/га (NO_3), 5 кг/га (K), 2 кг/га (P).

мальном увлажнении почвы показан на рисунке 4. Скорости вымывания элементов питания резко различаются (прежде всего вымываются нитраты, затем калийные удобрения, медленнее азот в аммонийной форме и затем фосфор), нарушается оптимальное соотношение элементов питания в почве. Помимо этого, температура почвы также изменяется в зависимости от характера водного режима (рис. 5). Все эти изменения приводят к закономерным снижениям урожая при глубоких грунтовых водах, несмотря на оптимальную влажность почвы. Близкое залегание их (0,7 м и выше) ухудшает воздушный режим, снижает урожай. Такая зависимость урожайности от глубины грунтовых вод, полученная на фоне опитмального увлажнения, показана на рисунке 6.

Полученные на основании экспериментальных исследований зависимости позволят выбрать оптимальные режимы осушения и орошения сельскохозяйственных культур с учетом получения устойчиво высоких урожаев, экономии оросительной воды и сохранения почвенного плодородия.

Методика полевых исследований интенсивности поглощения влаги корнями растений. Эффективность регулирования водного режима почв в значительной мере определяют знания закономерностей поглощения влаги

корнями растений. Основная трудность при изучении таких закономерностей — способ измерения интенсивности поглощения почвенной влаги корнями растений на различной глубине непосредственно в поле. Предлагаемый способ экспериментального определения интенсивности послойного поглощения воды корнями растений хорошо себя зарекомендовал, обеспечивая достоверность и высокую производительность труда. Суть его в следующем.

В корнеобитаемый слой почвы равномерно по глубине вводят радиоактивный индикатор, источник жесткого гамма-излучения, который не поглощается растениями и не сорбируется почвой (например, йод-131). Для этого с одной стороны выбранного рядка растений отрывают шурф глубиной до среднего за вегетацию уровня грунтовых вод. К его стенке со стороны растений прикладывают марлю шириной 0,5...0,7 м, предварительно смоченную раствором NaI^{131} суммарной активностью порядка 10...50 мкКюри. Шурф засыпают. Предварительно марлю покрывают полиэтиленовой пленкой такого же размера для предотвращения миграции йода-131 в шурф. До введения радиоактивного индикатора в почве на различных глубинах через 10...20 см устанавливают галогенные счетчики (например, СТС-6), так как йод-131 — источник жесткого гамма-излучения с энергией гамма-квантов 0,3... ...0,7 мэВ. Для этого на противоположной стороне вы-

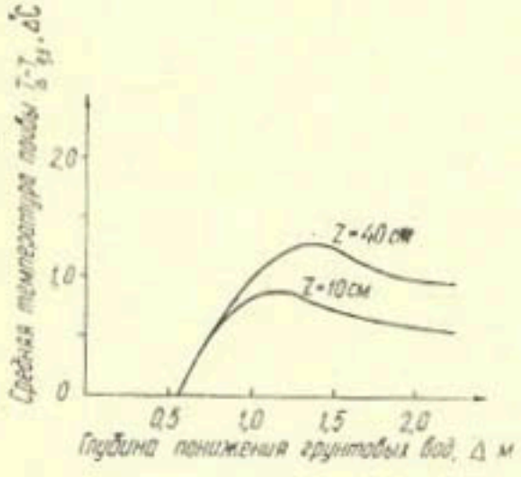


Рис. 5. Зависимость средней за вегетацию температуры торфяной почвы T на глубине $z=10$ и 40 см от глубины понижения грунтовых вод Δ при дождевании пшеницы.

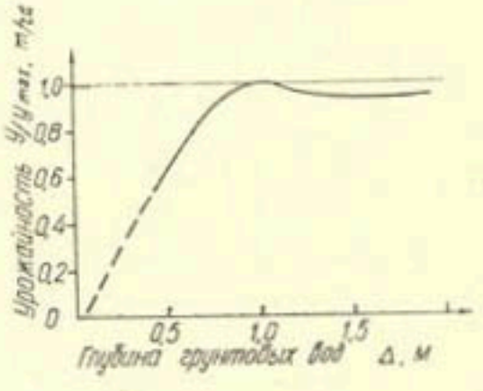


Рис. 6. Зависимость урожайности сена многолетних трав ($У$) от глубины грунтовых вод (Δ) при орошении.

бранного рядка растений отрывают другой шурф, в стенку которого с помощью специального бурика вставляют на разных глубинах (10, 20, 30, 50, 70, 90 см и т. д.) счетчики. Расстояние от конца счетчика до марли составляет 0,2...0,3 м. Шурф со счетчиками засыпают. Поверхность делянки под растениями для исключения испарения с почвы лучше покрыть слоем опилок или соломы. Счетчики позволяют измерить концентрацию радиоактивного индикатора в почвенном растворе. Аналог этой концентрации — относительная скорость счета импульсов в радиометре $n=N/N_0$, где N и N_0 — текущая и начальная скорости счета импульсов. Ежедневно с помощью счетчиков измеряют концентрацию индикатора n на различных глубинах. Одновременно с регистрацией концентрации проводят ежедневные измерения влажности w (но не радиоизотопными приборами, например датчиками, основанными на измерении электрических сопротивлений) в слоях, где установлены счетчики излучения. Если линейный размер опытной делянки больше двух метров, то можно проводить измерения влажности термостатно-весовым способом.

По этим данным определяют интенсивность поглощения влаги корнями растений ω по формуле:

$$\omega_{i+1}=\frac{w_{i+1}}{n_{i+1}}\left(\frac{\delta n}{\delta t}\right)_{i+1}+\frac{\overline{q}_{i+1}}{n_{i+1}}\frac{\delta n_{i+1}}{\delta y_{i+1}}, \qquad (11)$$

где ω_{i+1} — интенсивность поглощения влаги корнями растений в момент времени t в почвенном горизонте на уровне y_{i+1}, м/сут на 1 м почвенного профиля; y_{i+1} — вертикальная координата, для удобства направленная вверх и отсчитываемая от местоположения нижнего счетчика излучений; n_{i+1} — концентрация индикатора в точке y_{i+1} в момент времени t, измеряемая отношением интенсивности счета импульсов (с учетом стандартной поправки на распад) в момент времени t к начальной интенсивности счета; w_{i+1} — влажность в этой же точке, доли от объема почвы.

$$(\delta n/\delta t)_{i+1}=(n^{j}_{i+1}-n^{j-1}_{i+1})/(t^{j}-t^{j-1}), \qquad (12)$$

где n^{j-1}_{i+1} и n^{j}_{i+1} — концентрации индикатора в точке y_{i+1}, измеренные в последовательные моменты времени t^{j-1} и t^{j} (в дальнейшем для простоты значок j опущен и принято $t^{j}=t$); $\delta n=n_{i+1}-n_i$ — разность концентраций между горизонтами y_{i+1} и y_i; $\delta y_{i+1}=y_{i+1}-y_i$; q_{i+1} — скорость движения почвенной влаги (положительное направление — вверх) в точке y_{i+1}, м/сут.

Скорость $\overline{q}_{i+1}$ вычисляют в зависимости от скорости $\overline{q}_i$ в нижерасположенном горизонте z_i по формуле:

$$\overline{q}_{i+1}=\overline{q}_i-(\delta\overline{W}/\delta t)_{i+1}-\omega_i\delta y_{i+1}, \qquad (13)$$

где $\left(\frac{\delta\overline{W}}{\delta t}\right)_{i+1}=\frac{\overline{W}^{j}_{i+1}-\overline{W}^{j-1}_{i+1}}{t^j-t^{j-1}}$, а $\overline{W}^{j}_{i+1}$ и W^{j-1}_{i+1} — влагозапасы, выражаемые размером, слоя воды в почвенном слое от y_i до y_{i+1} в моменты времени t^j и t^{j-1}.

В результате того, что индикатор йод-131 не сорбируется почвой и не поглощается растениями, он накапливается у поверхности корней, особенно в местах наиболее интенсивного поглощения влаги. Поэтому слою с наибольшей скоростью поглощения влаги ω_{max} соответствует максимальная концентрация n_{max} на профилях почвы.

Расчет интенсивности поглощения влаги корнями растений на основании данных измерений концентрации n проводят по методике, описанной в работе [4]:

$$\omega_2=\frac{w_2}{n_2}\left(\frac{\delta n}{\delta t}\right)_2+\frac{\overline{q}_2}{n_2}\frac{\delta n_2}{\delta y_2}. \qquad (14)$$

Если изменением влагозапасов с течением времени можно пренебречь ($\delta\overline{W}/\delta t=0$), то есть рассматривать режим движения почвенной влаги близким к установившемуся, тогда

$$\overline{q}_0=e_0=e_t+e_n \qquad (15)$$

то есть скорость $\overline{q}$ равна интенсивности суммарного испарения e_0, состоящей, в свою очередь, из транспирации e_t и испарения с почвы под пологом растений e_n. Если же поверхность почвы покрыть мульчой, практически не изменяющей газового и температурного режима почвы, но прекращающей испарение e_n, тогда

$$\overline{q}_0=e_t. \qquad (16)$$

На основании данных о распределении скоростей впитывания воды корнями по почвенному профилю ω_z, зная влажность отдельных слоев w и измеряя удельное содержание корней μ в данном слое (вес, отнесен-

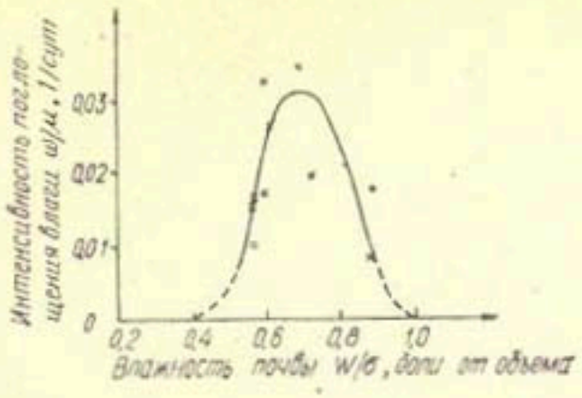


Рис. 7. Зависимость интенсивности поглощения влаги корнями растений ω/μ от влажности почвы ω.

ный к суммарному весу корневой системы, определяют простым методом отбора монолитов почвы с последующим отмыванием и взвешиванием корешков растений), можно построить график зависимости скорости поглощения влаги единицей массы или поверхности корня от влажности почвы. В качестве примера график зависимости ω/μ от влажности почвы ω для ряда культур построен на рисунке 7. Проводя аналогичные опыты в условиях различных режимов увлажнения при различных дозах удобрений, можно проанализировать, как изменяется интенсивность поглощения влаги с течением времени и по почвенному профилю, и получить дополнительный материал для оценки как эффективности данного режима орошения, так и целесообразности применения доз удобрений в данные сроки.

Методика учета влияния начальной влажности и глубины грунтовых вод на скорость впитывания воды в почву. При полевых измерениях скорости впитывания, направленных на выявление пригодности той или иной дождевальной техники или изучение закономерностей впитывания воды в почву, нужно учитывать, что, помимо водно-физических свойств, на скорость впитывания влияют начальная влажность и глубина грунтовых вод. Поэтому необходимо знать, как изменится скорость впитывания при различных значениях начальной влажности почвы $\omega_н$ в расчетном слое и глубины грунтовых вод Δ.

Рис. 8. Изменение динамики впитывания в зависимости от начальной влажности $\omega_н$:

ω показана в виде отношения $\Theta = (\omega_н - \omega_0)/(\omega_1 - \omega_0)$; время t выражено в безразмерном виде $\tau = K_в / 5,8 \omega_1 h_к$.

Учесть влияние начальной влажности ω на

скорость впитывания v_t можно по формуле С. Ф. Аверьянова:

$$v_t = k_в \left[1 + \frac{1}{4} \left(\sqrt{1 + \frac{5{,}8 \cdot w_1 \cdot h_к}{k_в \cdot t} \left(\frac{w_1 - w_н}{w_1 - w_0} \right)^2 - 1} \right) \right], \quad (17)$$

где $w_н$ — начальная влажность почвы, доли от объема; w_1 — полная влагоемкость, доли от объема; $h_к$ — максимальная высота капиллярного подъема, м; t — продолжительность впитывания, сут; w_0 — максимальная молекулярная влагоемкость, доли от объема; $k_в$ — коэффициент влагопроводности, вычисленный по формуле (8) при влажности w_1, м/сут.

Графики изменения относительной скорости впитывания $v_t = k_н / t^a$ в зависимости от начальной влажности почвы показаны на рисунке 8.

Чем выше начальная влажность, тем меньше начальная скорость впитывания, поэтому при проведении опытов по определению динамики впитывания необходимо фиксировать начальную влажность в поверхностном слое почвы. Форма профиля влажности практически не влияет на скорость впитывания, особенно в начальной стадии. Подбор коэффициента a и определение характерной скорости впитывания в начальный период $k_н$ в формуле А. Н. Костякова

$$v_t = k_н / t^a \quad (18)$$

нужно обязательно связывать со значением начальной влажности $w_н$.

Грунтовые воды оказывают замедляющее действие на скорость впитывания: чем они ближе, тем меньше скорость. Такое действие сказывается тем больше, чем длительнее впитывание. В начальной стадии глубина грунтовых вод (если она не меньше 0,5 м) практически не влияет на скорость впитывания. Поэтому при постановке опытов на участках с различной глубиной грунтовых вод целесообразно впитывание ограничить короткими промежутками вре-

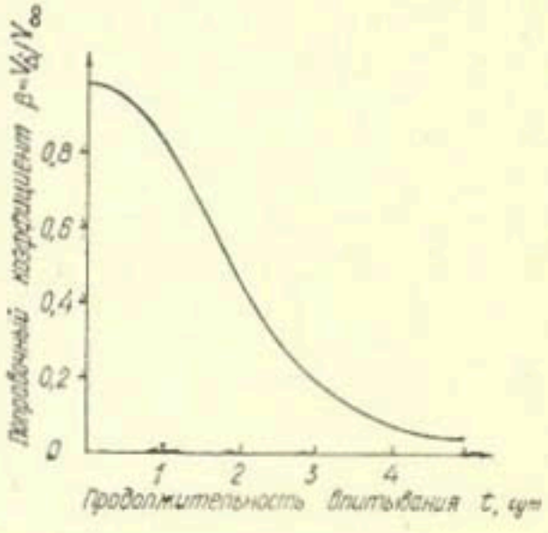


Рис. 9. График изменения поправочного коэффициента $\beta = V_\Delta / V_\infty$ в формуле (18) в зависимости от глубины грунтовых вод Δ.

мени, чтобы исключить влияние глубины грунтовых вод. Приближенно продолжительность его должна быть ограничена значением:

$$t \leqslant 0{,}05\ \Delta^2/k_w^0\ \psi^1\,, \qquad (19)$$

где Δ — глубина грунтовых вод в места опыта по впитыванию, м; k^0_w — коэффициент влагопроводности, определяемый по формуле (8) при начальной влажности почвы $w=w_н$, м/сут; $\psi'=-\psi_н/_{w1}w_н$; $\psi_н$ — капиллярный напор (значение отрицательное) при влажности $w_н$, м.

Ориентировочно при глубине грунтовых вод не меньше 1 м продолжительность свободного впитывания ограничивают примерно 0,5 м для торфяных, средне- и тяжелосуглинистых почв, а при $0{,}5 \leqslant \Delta \leqslant 1$ м — $t \leqslant 15$ мин. При более длительных процессах учесть глубину грунтовых вод, сопоставляя опыты приближенно, можно по графику на рисунке 9, где показана зависимость поправочного коэффициента β от глубины Δ и продолжительности впитывания t. Пользуясь коэффициентом β, можно определить, во сколько раз скорость впитывания при близких грунтовых водах v_Δ отличается от скорости впитывания при глубоких ($\Delta > 5$ м) v_∞:

$$v_\Delta = \beta \cdot v_\infty\,. \qquad (20)$$

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. — Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с. 67 ... 68. 2. Аверьянов С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. — В кн.: Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод. М.: Изд. АН СССР, 1976, с. 93 ... 105. 3. Глобус А. М. Экспериментальная гидрофизика почв. — Гидрометеоиздат, А.: 1975, с. 142 ... 177. 4. Учет водно-физических характеристик при расчете режима орошения осушаемых земель. — Труды Союзводпроект, 1980, вып. 52, с. 77 ... 85.

УДК 626.81/84 : 626.86

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ НА ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Г. И. ШАТКАУСКАС, кандидат технических наук
Литовский республиканский институт проектирования водного хозяйства

Одна из главных задач сельскохозяйственных мелиораций — регулирование водного режима корнеобитаемого слоя и создание систем управления для его регулирования.

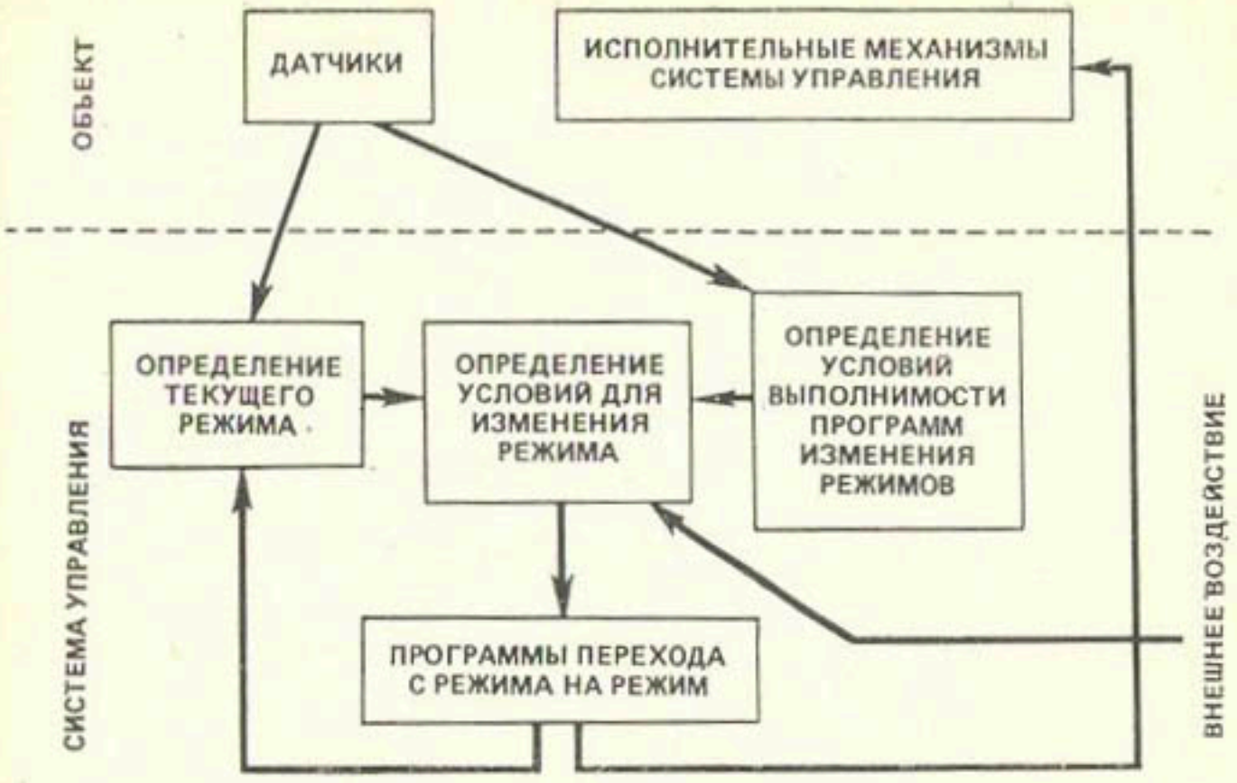


Рис. 1. Укрупненная диаграмма работы системы управления водным режимом корнеобитаемого слоя почвы.

Под системой управления в данном случае понимают совокупность конкретных объектов (корнеобитаемый слой почвы, мелиоративные сооружения и др.), определенным образом взаимосвязанных между собой и с окружающей средой. Процессы управления должны иметь математическую основу, включать устройство автоматического контроля за состоянием объекта, исполнительные механизмы. Укрупненная диаграмма работы системы управления объекта двустороннего регулирования водного режима показана на рисунке 1. При работе система управления постоянно получает информацию о значениях запасов влаги необходимого слоя почвы, поступающую с датчиков, расположенных на объекте. На основании анализа показаний датчиков система управления определяет текущий режим работы, а при наличии внешних сигналов о желаемом изменении режима объекта выявляет его необходимость и технологическую возможность, переключается на выполнение новой программы и реализует ее. Система управления может контролировать реализацию программы и возможность дальнейшего ее выполнения. Датчики определяют момент включения оросительной системы в работу, то есть момент полива устанавливается с учетом физиоло-

гических особенностей растений по фазам развития при беспрерывной автоматизированной регистрации влажности почвы.

При оптимальном размещении датчиков необходимо решить следующие проблемы:

определить репрезентативную глубину установки датчиков для основных видов почв, составляющих исследуемое сельскохозяйственное поле;

найти размер выборочной единицы, для тех же видов почв (площадь квадрата, представляющая однородную совокупность в отношении запасов влаги) на репрезентативной глубине;

определить оптимальную последовательность сканирования (просмотр) поля и выбора рациональных методов обработки;

представить результаты просмотра и формировать сигнал включения дождевальных аппаратов на рассчитанный срок.

Репрезентативная глубина установки датчиков. На основании данных о влажности почвогрунтов (дерново-глееватые оподзоленные суглинки) каждого 10-сантиметрового слоя и средних значений влажности слоя 0...110 см в интервале декады за 3 года наблюдений вычислены коэффициенты корреляции (рис. 2). Анализ корреляционных отношений и основных ошибок выравнивания указывает на зависимость вида $y=ax^{p}e^{cx}$, которую и принимают для построения графика определения репрезентативной глубины установки датчиков для слоя 0...110 см дерново-глееватых оподзоленных суглинков при атмосферном питании в интервале декады. Репрезентативная глубина взятия проб соответствует максимальному значению коэффициента корреляции. После ее выбора определяют регрессию средней влажности слоя 0...110 см как функцию влажности репрезентативной глубины. Ошибки (рассмотрено 308 таких определений) в пределах 0...5 % составляют 78,2 % всех определений, в пределах 0...10 %—93,5 %. Это указывает на то, что репрезентативная глубина установки датчиков вполне обоснованна. Аналогичные расчеты проведены и для слоев 0...30, 0...40 и 0...50 см.

Размер выборочной единицы на репрезентативной глубине. Исходное положение для сканирования исследуемого сельскохозяйственного поля — его разбивка при помощи квадратной сетки на большое число элементов

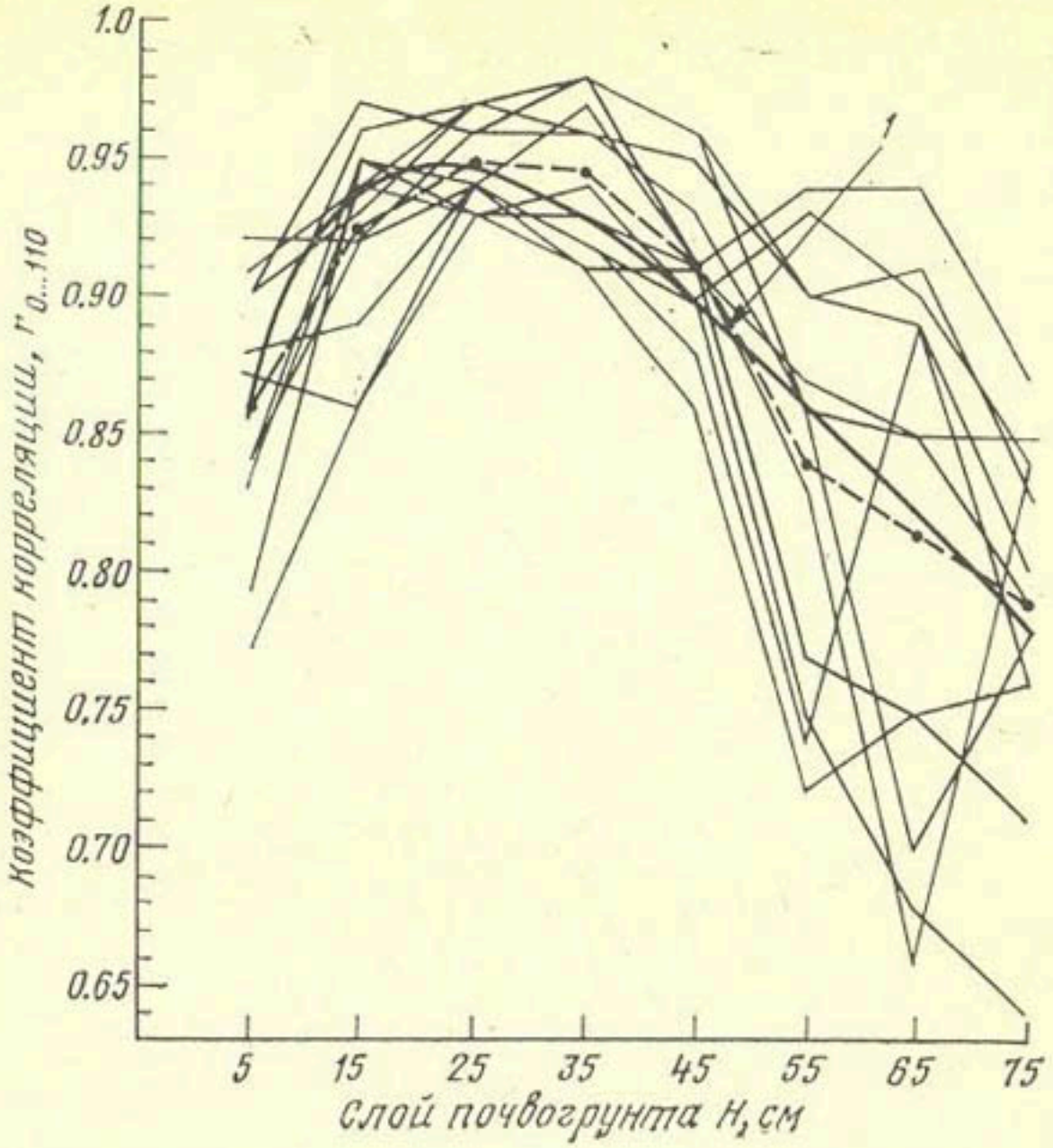


Рис. 2. Результаты корреляционного анализа и нахождение формы зависимости почвенной влажности 10-сантиметровых слоев со средней мощностью слоя 0 . . . 110 см по данным трехлетних наблюдений на четырех водобалансовых площадках:

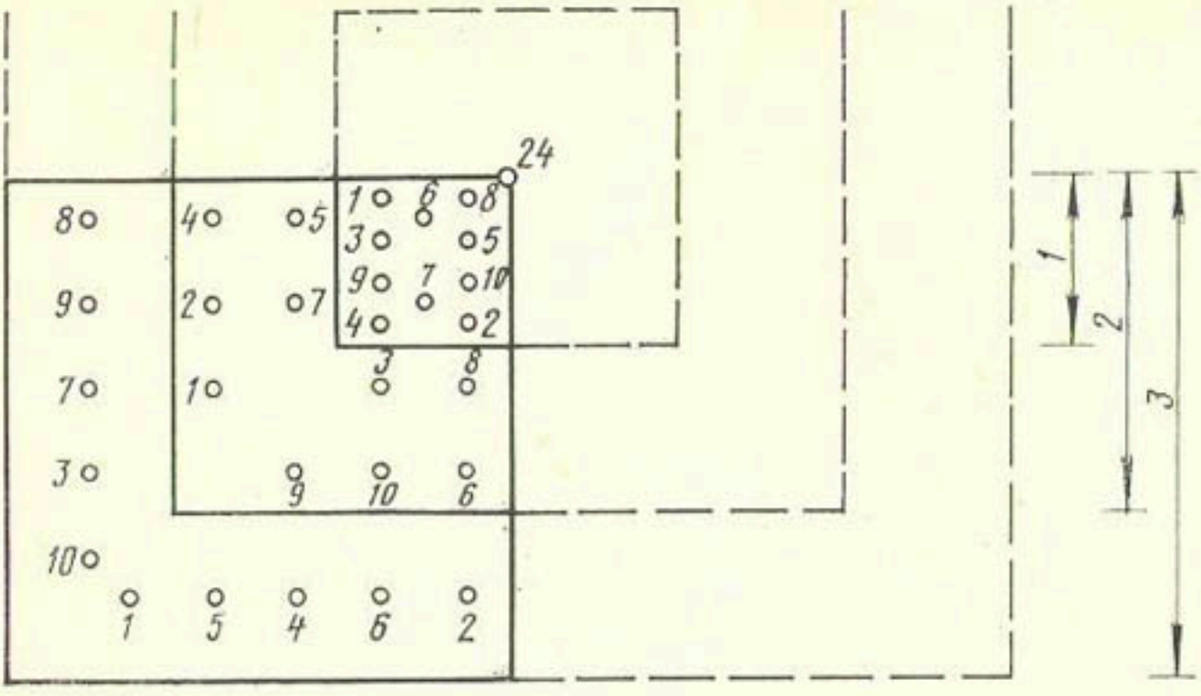
$$1 - ч = 0{,}69 \cdot H^{0{,}15} e^{-0{,}007н}$$

с таким расчетом, чтобы каждый квадрат представлял однородную совокупность по отношению к запасам влаги на репрезентативной глубине. В пределах почвенного контура выбирают площадку и разбивают ее на квадраты 1×1, 2×2 и 3×3 м (рис. 3). В каждом квадрате на репрезентативной глубине берут по 10 проб.

Определение выборочной единицы базируется на следующих положениях:

в начальной стадии при одинаковом числе выборок из каждой площадки, применяя непараметрический критерий М. Фридмана, приблизительно находят размер выборочной единицы;

однородность приблизительно установленной выборочной единицы проверяют по данным выборок разных



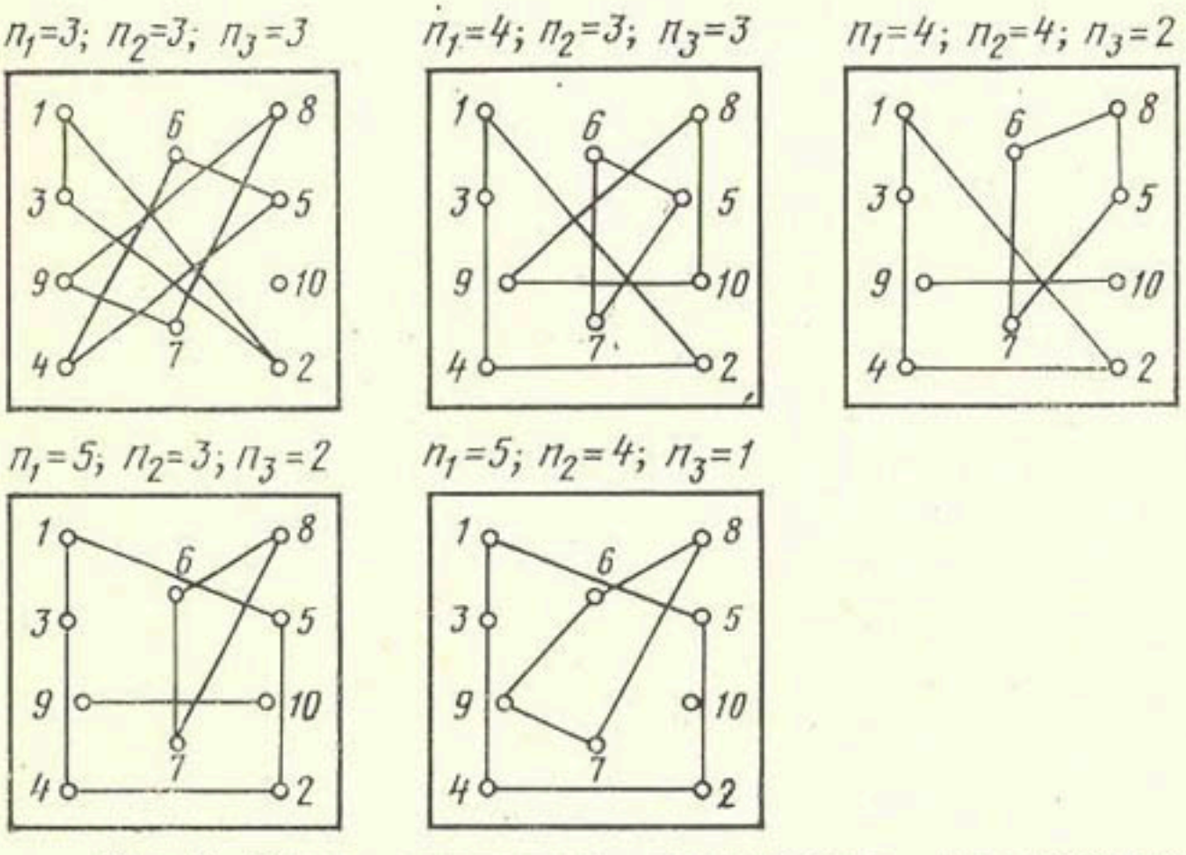


Рис. 3. Схема проведения эксперимента для нахождения значения выборочной единицы.

объемов в различных сочетаниях непосредственно из этой выборочной единицы, применяя непараметрический критерий Крускала-Уоллиса, и принимают решение о ее размерах.

Первое положение базируется на статистике χ^2_r, определяемой равенством:

$$\chi_r^2 = \frac{12}{np(p+1)} \sum_{j=1}^{p} \left(\sum_{i=1}^{n} r_{ij} \right)^2 - 3n(p+1),$$

где r_{ij} — ранг элемента, расположенного в i-й строке и j-м столбце таблицы np (в рассматриваемом примере $n=10$, $p=3$).

Показатели запасов влаги на трех площадках в 30 грунтовых скважинах на репрезентативной глубине приведены в таблице 1. Скважины располагают случайно и измерения на трех площадках делают независимо, в случайном порядке. В данном примере скважины расположены группами. Ранги даны в скобках. В представленном примере $\chi_r^2=7{,}4$ по таблицам «Точное распределение статистики χ-квадрат Фридмана», $P=P\{\chi_r^2 \geqslant \geqslant \chi^2_{0,05}\}$ [1] находят значение вероятности $p=0{,}026$. Значит, гипотеза однородности всех площадок должна быть отвергнута при 5%-ном уровне значимости.

1. Определение размера выборочной единицы для дерново-глееватых оподзоленных суглинков на глубине 0,35 м
(запасы влаги в мм)

№ скважины	Размер площадок, м×м		
	1×1	2×2	3×3
1	76,34(2)	76,33(1)	78,61(3)
2	92,96(3)	68,79(1)	71,13(2)
3	83,72(3)	72,77(2)	70,76(1)
4	75,59(1)	89,34(3)	87,10(2)
5	88,55(3)	61,09(1)	78,00(2)
6	87,17(3)	82,97(2)	80,60(1)
7	81,86(3)	77,50(2)	63,60(1)
8	76,28(3)	64,49(1)	70,00(2)
9	83,72(3)	76,76(2)	62,60(1)
10	84,60(3)	66,14(1)	83,77(2)
Σr_{ij}	27	16	17

Примечание. В скобках даны ранги.

Далее рассматривают только первую площадку (1×1 м). Предполагают, что имеется k выборок объемами n_i $(i=1, 2 \ldots k)$. Если R_i — сумма рангов для i-й выборки (все выборки объединены и ранжированы как одна), то статистикой, лежащей в основе критерия, будет:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_i (R_i^2/n_i) - 3(n+1),$$

где $n = \Sigma n_i$

Большие значения H отвергают нулевую гипотезу о том, что все выборки принадлежат идентичным совокупностям. Автором рассмотрено пять различных сочетаний объемов выборок. В первом примере (табл. 2) $n_i=3$, $n=9$ и $H=0,9$. По таблицам «Распределение Крускала-Уоллиса в окрестности 10,5 и 1%-ных точек» [1] находят вероятность того, что $H_T \geqslant 4,62$ равна 0,1, так что нет причин отвергать нулевую гипотезу. Аналогичные результаты получены и для других сочетаний выборок. Поэтому для дерново-глееватых оподзоленных суглинков на глубине 0,35 м размер выборочной единицы равен 1 м^2.

2. Результаты расчета по определению значения выборочной единицы для дерново-глееватых оподзоленных суглинков на глубине 0,35 м

$n_1=3$		$n_2=3$		$n_3=3$	
№ скважины	запасы влаги, мм	№ скважины	запасы влаги, мм	№ скважины	запасы влаги, мм
1	76,34(3,0)	4	75,59(1,0)	7	81,86(4,0)
2	92,96(9,0)	5	88,55(8,0)	8	76,28(2,0)
3	83,72(5,5)	6	87,17(7,0)	9	83,72(5,5)
R_i	17,5		16,0		11,5
$H=0,9$; $H_T \geqslant 4,62$; $p=0,1$					
$n_1=4$		$n_2=4$		$n_3=2$	
1	76,34(3,0)	5	88 55(9,0)	9	83,72(5,5)
2	92,96(10,0)	6	87,17(8,0)	10	84,60(7,0)
3	83,72(5,5	7	81,86(4,0)		
4	75,59(1,0	8	76,28(2,0)		
R_i	19,5		23,0		12,5
$H=0,25$; $H_T \geqslant 4,44$; $p=0,1$					
$n_1=5$		$n_2=4$		$n_3=1$	
1	76,34(3,0)	6	87,17(8,0)	10	84,60(7,0)
2	92,96(10,0)	7	81,86(4,0)		
3	83,72(5,5)	8	76,28(2,0)		
4	75,59(1,0)	9	83,72(5,5)		
5	88,55(9,0)				
R_i	28,5		19,5		7,0
$H=0,4$; $H_T \geqslant 3,96$; $p=0,1$					

Примечание. В скобках даны ранги.

Последовательность сканирования сельскохозяйственного поля, метод обработки и распознавания. Выбор рационального метода сканирования в каждом

конкретном случае весьма важен. Он определяет информационные свойства системы. Если бы было возможно просмотреть все выборочные единицы, то есть располагать наибольшим количеством информации о влагозапасах всего поля, тогда нетрудно было бы принять решение. Однако практически нет возможности получить информацию о влагозапасах всех выборочных единиц, поэтому необходимо проверить гипотезу нормальности из тех, которые участвовали в исследованиях. В конечном результате необходим такой контроль поля, который сигнализировал бы об общем состоянии всех выборочных единиц. В зависимости от того, какая информация представляет интерес, выбирают соответствующий алгоритм обработки и распознавания.

Все рассматриваемое сельскохозяйственное поле разбивают при помощи квадратной сетки на большое число элементов с таким расчетом, чтобы площадь каждого квадрата представляла собой однородную совокупность в отношении запаса влаги на репрезентативной глубине.

Пользуясь равномерно распределенными случайными числами, разыгранными на ЭВМ, из общей генеральной совокупности выборочных единиц для просмотра поля весовым способом берут три выборки разных объемов (рис. 4). Выборки рекомендуют проводить во влажном, умеренно-влажном и засушливом периодах. Случайная выборка в нашем случае применяется исходя из того, что систематическая выборка, применяемая на дренированных систематическим гончарным дренажем массивах, ведет к систематическим ошибкам. Осуществление случайной выборки исключает возможность возникновения систематических ошибок и гарантирует полную беспристрастность отбора. Кроме того, случайная выборка обеспечивает соблюдение следующих условий: число выборочных единиц, принадлежащих к одному виду почв, должно быть пропорционально занимаемой площади данного вида по сравнению со всей площадью исследуемого массива, а принадлежащих к одной категории поверхностного слоя геолого-литологических отложений — пропорционально занимаемой площади данного отложения по сравнению с площадью исследуемого участка; необходимо соответствие вертикального расположения выборочных единиц полной характеристике данного участка в этом отношении. Расположение выборочных единиц на северных и южных склонах должно

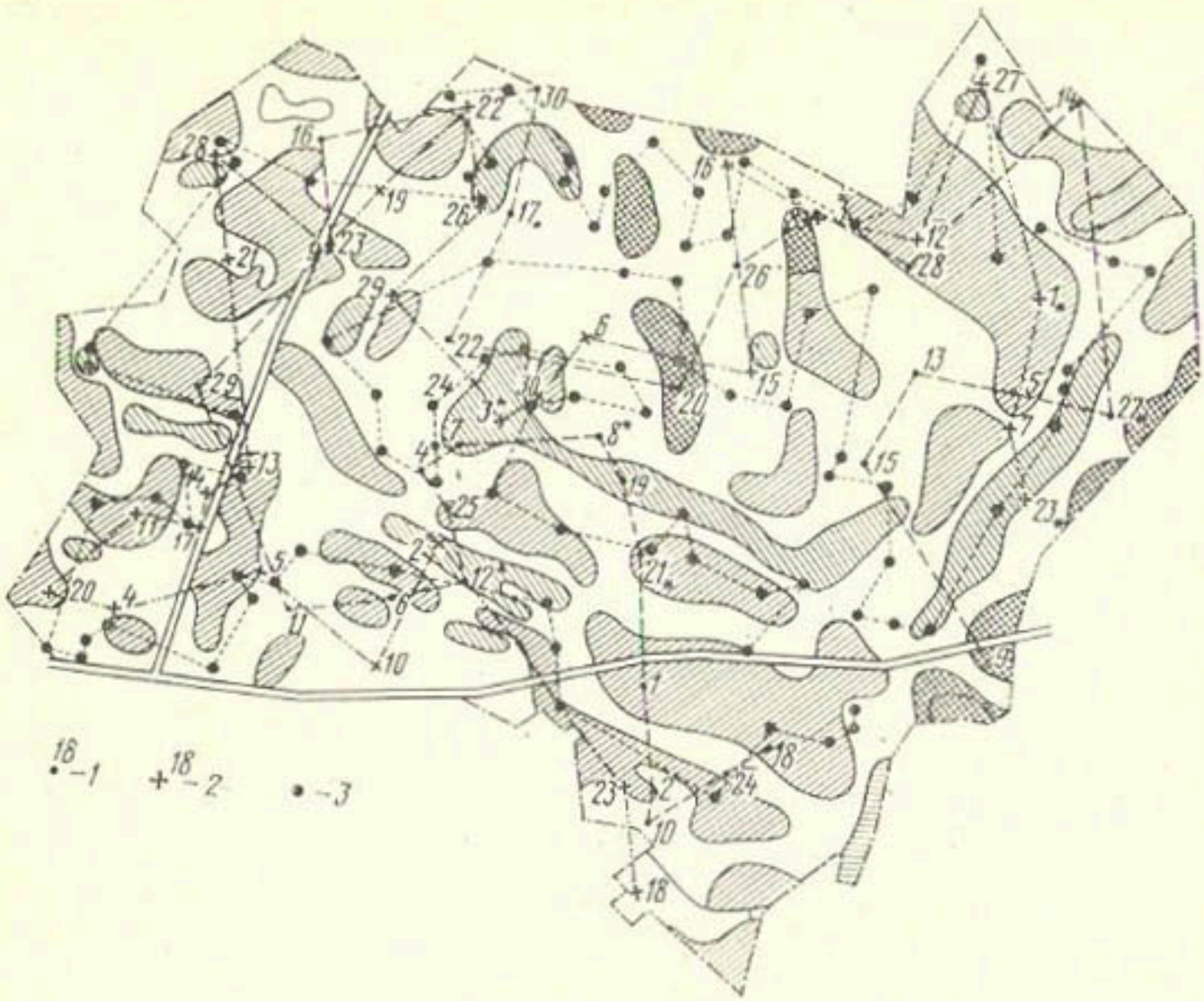


Рис. 4. Почвенная карта дренажной системы и расположение выборочных единиц по трем схемам образцов:

1, 2, 3 — схемы взятия почвенных образцов; $Д^{оп}$ — дерново-глееватые оподзоленные почвы; $ДГ^{оп}$ — дерново-глеевые оподзоленные почвы; $П_1^g$ — дерново-слабоподзолистые почвы; $Д_к^{оп}$ и $Д_{кэ}$ — дерново-карбонатные оподзоленные и эродированные почвы; $П_э$ Г — дерново-подзолистые глееватые почвы.

быть пропорционально занимаемым площадям, а по сравнению с расположением дрен должно захватывать максимальное число вариантов.

Обработку информации по данным съемок влажности почвы различного объема проводили по предложенному автором алгоритму [2]. Построены зависимости точности определения запасов влаги на репрезентативной глубине от среднеквадратического отклонения при заданной вероятности. По имеющейся информации классифицируют влажность почвы рассматриваемого сельскохозяйственного поля, то есть процесс распознавания определяет выборочные единицы, характеризующие максимальные, средние и минимальные влагозапасы. Весь процесс исследования в конечном результате необ-

ходимо свести к трем выборочным единицам, в которых на репрезентативных глубинах предлагается установить датчики, постоянно фиксирующие и передающие в ЦВМ информацию о влагозапасах.

Представление результатов просмотра и формирование сигнала воздействия. Через определенные отрезки времени автоматически включается система управления, производится «опрос» датчиков и регистрируются их показания. ЦВМ по соответствующей программе проводит анализ входных данных и определяет сложившуюся на сельскохозяйственном поле ситуацию. Кроме того, информация от датчиков должна быть преобразована для ввода в ЦВМ.

После определения текущего режима устанавливается необходимость изменения режима и рассчитывается время, на которое включаются дождевальные аппараты. Программы изменения режимов предусматривают различное сочетание работы дождевальных аппаратов (всей системы, одного ряда, переключения на новый ряд и т. п.).

С экономической точки зрения применение цифровых машин для управления оправдано лишь тогда, когда на них возложено решение нескольких задач, то есть обслуживание нескольких оросительных систем, расчеты переноса сроков в зависимости от осадков и температуры воздуха, расчет режима орошения по метеорологическим данным.

Таким образом, основным управляющим элементом в автоматизированных осушительно-увлажнительных системах должно быть устройство, автоматически регистрирующее динамику влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы. Расположение на сельскохозяйственном поле упомянутых устройств осуществляют по предложенной автором методике путем последовательного сканирования. Эта методика может служить основанием для подсистемы получения информации о состоянии влагозапасов корнеобитаемого слоя почвы на площадях 100...200 га.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оуэн Д. Б. Сборник статистических таблиц. — М., 1966, с. 407...419. 2. Госфонд алгоритмов и программ. Инвентарный номер П002654 — М., 1978.

УДК 626.8:631.432.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ

Р. И. УРБОНАС, кандидат технических наук

Литовская сельскохозяйственная академия

I. Один из основных критериев оценки осушительного действия мелиоративных мероприятий, в частности дренажа, — почвенная влажность. В то же время почвенная влажность — фактор, который непосредственно влияет на рост и развитие растений, поэтому исследования ее очень важны для науки и практики.

Основной метод определения почвенной влажности — весовой, основанный на взвешивании почвенных образцов в натуральном и высушенном состоянии. Косвенные методы с применением разных датчиков менее точны, и, как правило, проверяют их с помощью весового метода. Поэтому в научных исследованиях предпочтительнее весовой метод; но, с другой стороны, он очень трудоемкий и долгий, особенно взятие почвенных образцов. Чтобы упростить его и упорядочить точность определения почвенной влажности, автором проведены специальные исследования с последующей статистической обработкой полученных результатов.

На дренированных площадях почвенные образцы для исследований почвенной влажности обычно берут в середине между дренами, но это не совсем верно, потому что в середине междренья кривая депрессии расположена ближе к поверхности и влажность почвы больше, чем в других местах междренья. Поэтому точнее делать скважины для взятия образцов на расстоянии в $^1/_4 E$ (E — расстояния между дренами), тогда значение влажности будет более осредненное по отношению ко всему дренированному участку и в одном междренье можно сделать вдвое больше опытных скважин. По исследованиям Е. М. Андрияускайте, на поверхностных слоях (до 60 см) суглинистых почв в середине между дренами влажность бывает на 9...16 % больше, чем на расстоянии в $^1/_4 E$. Для уменьшения эффекта расслоения исследуемой почвенной толщи скважины делают на расстоянии не менее 0,5 м одна от другой и после взятия почвенных образцов тщательно засыпают.

Обычно площади мелиоративных опытных участков бывают небольшими, пересеченными дренажными или другими линиями для отвода избыточной воды. Поэтому важную роль приобретает установление характерных (типичных) почвенных профилей еще при устройстве дренажа. С ними должен быть знаком наблюдатель за почвенной влажностью, чтобы он мог вовремя забраковать пробы с нехарактерных почвенных профилей в поле и заменить их другими. Характерные почвенные профили необходимо подробно описать в книжке полевых исследований для наблюдателя. Бракованию подлежат образцы, взятые на участках с пестрыми слоистыми почвами или на спланированных искусственно, так как такой нехарактерный профиль имеет свои физические и гидрологические характеристики, а их при пересчетах влажности не учитывают и это искажает данные на 5...15 %. Исследуя почвенную влажность, следует обратить внимание и на микрорельеф участка. Пробы лучше брать на ровном месте, потому что ошибка в определении высоты на 10...20 см увеличивает ошибки влажности на 2...10 %.

Начиная исследования, необходимо в установленных местах отбора проб провести многократное измерение почвенной влажности с 10...15-кратной повторностью.

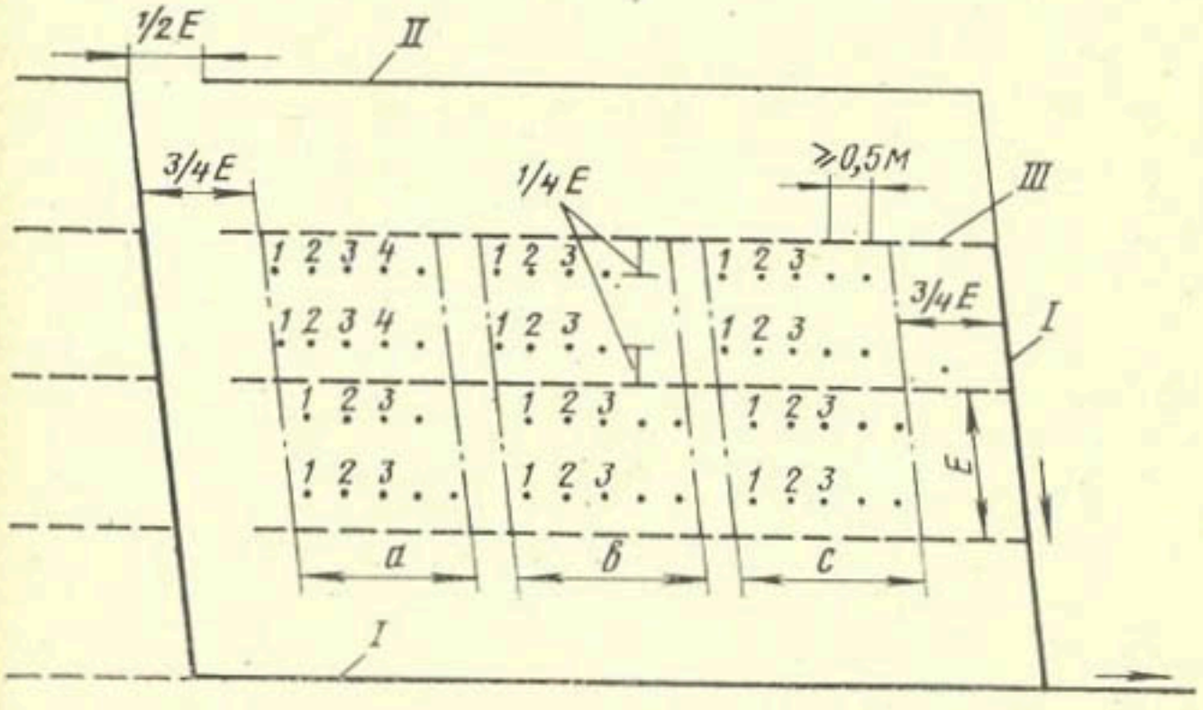


Рис. 1. Опытная дренажная система для исследования почвенной влажности:

E — расстояния между дренами; *a*, *b*, *c* — зоны измерения влажности почвы; *1*, *2*, *3* ... — места отбора почвенных проб; I — коллектор; II — осушитель; III — дрена.

Как взять пробы с 12-кратной повторностью, показано на рисунке 1, но могут быть и другие схемы отбора почвенных проб. Исходя из цели исследования и имеющихся трудовых ресурсов, принимают нужную точность определения, а по данным первичных измерений уста-

1. Данные исследований почвенной влажности и их статистические показатели на полях учебного хозяйства Литовской сельскохозяйственной академии (26.04.65.)

Глубина отбора проб почвы, см	Механический состав	Генетический горизонт	Статистические показатели			
			число измерений n	среднее арифметическое M	среднее квадратическое отклонение σ	средняя ошибка среднего арифметического m
0...20	Суглинок легкий	$A_п$	12	26,2	1,75	0,506
20...40	Суглинок легкий	B	12	21,8	1,35	0,390
40...60	Глина легкая	D	12	22,6	1,25	0,361
60...80	Глина легкая	D	12	22,2	0,74	0,215
80...100	Глина средняя	D	12	20,7	0,93	0,268
80...100	Глина средняя	D	20	21,0	0,85	0,191

Продолжение

Глубина отбора проб почвы, см	Механический состав	Генетический горизонт	Статистические показатели			
			коэффициент вариации V, %	точность определения P, %	необходимое число изменений при заданной вероятности	
					$n_{X=80\%}$	$n_{X=90\%}$
0...20	Суглинок легкий	$A_п$	6,68	1,93	3	4
20...40	Суглинок легкий	B	6,22	1,80	3	4
40...60	Глина легкая	D	5,53	1,60	3	3
60...80	Глина легкая	D	3,35	0,97	2	3
80...100	Глина средняя	D	4,47	1,30	2	3
80...100	Глина средняя	D	4,07	0,91	2	3

Примечания. 1. Необходимое число измерений при задачной вероятности 80 или 90 % и точности 10 % определено по А. А. Роде (1969).
2. Влажность почвы в % массы сухой почвы.

навливают необходимую кратность (повторность) определения почвенной влажности для исследуемого участка. Среднее квадратичное отклонение и коэффициент вариации уменьшаются с глубиной почвенного профиля (табл. 1), это отмечает и А. А. Роде. Такое явление объясняется более интенсивным воздействием на поверхностные слои почвы осадков, корней растений, микроорганизмов и др., здесь также больше слоистость грунтов. Для выравнивания точности определения почвенной влажности по всему профилю предложено увеличить число измерений в верхних слоях 0...60 см и уменьшить в нижних (более 60 см). Это также даст экономию трудовых ресурсов. Если трудовые ресурсы для проведения исследований ограниченны, то вместо 10-сантиметрового интервала отбора почвенных проб можно использовать 20-сантиметровый интервал, что уменьшает объем работ, а точность определения влажности как в отдельных слоях почвы, так и их суммарные значения не превышают ±5 мм (табл. 2). При отборе проб необходимо тщательно перемешать весь грунт исследуемого слоя, а в слоистых почвах нельзя смешивать генетические горизонты в одном интервале отбора.

II. Оценить эффективность мелиоративных мероприятий, в частности дренажа, очень сложно. Методы оценки можно разделить на 4 группы: агротехническую, агроэкономическую, агрогидрологическую, агроэкономгидрологическую.

2. Сравнение данных влажности почвы при 10- и 20-сантиметровом интервале отбора почвенных проб (учебное хозяйство Литовской сельскохозяйственной академии)

Глубина отбора проб почвы, см	Генетический горизонт	Число измерений	Запасы влаги, мм		
			интервал 10 см	интервал 20 см	разность ±
0...20	$A_п$	4	56,4	59,3	—2,9
20...40	*B*	4	61,6	58,1	+3,5
40...60	*D*	4	67,2	71,1	—3 9
60...80	*D*	4	63,5	64,5	—1,0
80...100	*D*	4	64,6	64,8	—0,2
0...60	—	—	185,2	188,5	—3,3
60...100	—	—	128,1	129,3	—1,2
0...100	—	—	313,3	317,8	—4,5

Примечание. Измерения влажности проведены 3 раза в разное время года.

Основной критерий всех групп методов оценки — урожай сельскохозяйственных культур.

В первой группе методов мелиоративные мероприятия оцениваются (сравниваются) по разности урожая D:

$$D_1=f(a_1)+f(b), D_2=f(a_2)+f(b),$$

$$D_1-D_2=D=f(a_1)-f(a_2),$$

где D_1 и D_2 — урожай сельскохозяйственных культур на фоне мелиоративных мероприятий, соответственно a_1 и a_2; b — действие других факторов на рост и развитие сельскохозяйственных культур.

Здесь очень важна чистота изоляций факторов функции $f(b)$. Часто этого трудно достигнуть из-за пестроты грунтов, разного рельефа, ливневых осадков, особенно когда исследования проводят на больших площадях. В остальных группах мелиоративные мероприятия оценивают в основном по экономическим и гидрологическим показателям, но главной исходной точкой всегда служит урожайность сельскохозяйственных культур.

Основная задача мелиоративных мероприятий — регулирование водного режима почв с целью получения максимального урожая сельскохозяйственных культур. Но на урожай, кроме водного режима почв, влияет множество других, не менее важных факторов (климатические условия, плодородие почв, удобрения, агротехника, семена и др.), которые часто лимитируют его объем и качество. Так как возможно искажение действия мелиоративных мероприятий, то иногда целесообразно оценивать их по основной задаче, то есть по оптимальным параметрам водного режима почв, которые установлены для конкретных климатических условий. Но водный режим почв наиболее объективно характеризуется режимом влажности как суммарным показателем всех элементов водного баланса. Мелиоративные мероприятия непосредственно влияют на режим влажности почв, а последний — на рост и развитие сельскохозяйственных культур. Режим влажности как показатель оценки мелиоративных мероприятий, в частности дренажа, можно использовать разными способами. В статье представлен обобщенный способ коэффициентов продолжительности влажности почвы (B). Отдельный ва-

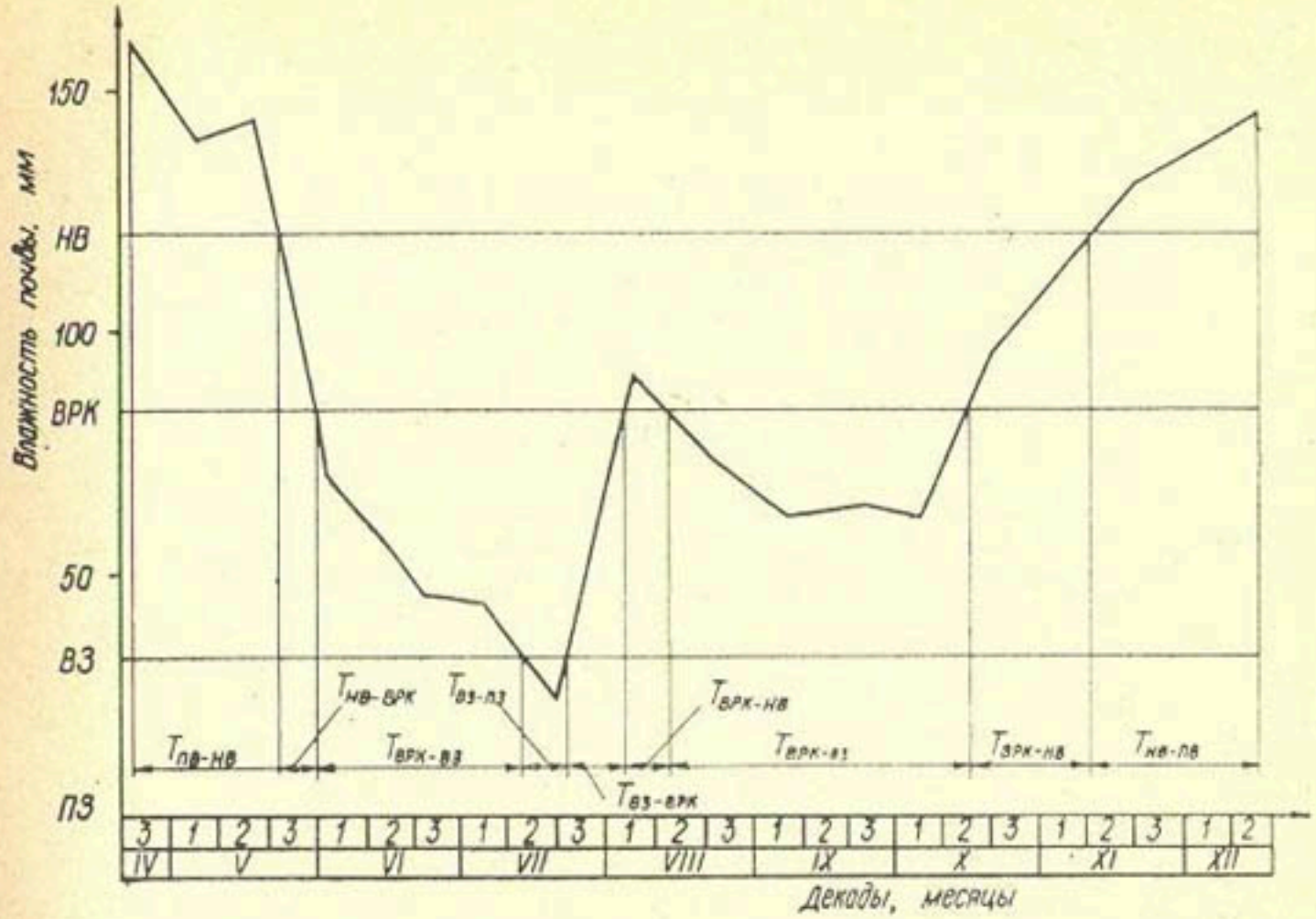


Рис. 2. Динамика общих запасов влаги на 5-м опытном участке дренажа учебного хозяйства Литовской СХА (слой почвы 0...40 см).

риант такой оценки был предложен Р. И. Урбонасом и Р. И. Жекевичюсом в 1972 г.

Общеизвестно, что для большинства сельскохозяйственных культур оптимальная влажность почвы находится в пределах между наименьшей влагоемкостью (НВ) и влажностью разрыва капилляров (ВРК). Влажность выше НВ — избыточная, ниже ВРК — недостаточная. Исходя из этих принципов, на каждом графике исследования почвенной влажности можно найти промежутки времени, когда она находится в определенном интервале, то есть между определенными агрогидрологическими константами почвы (рис. 2). Таким образом, на годовом, сезонном или среднемноголетнем графике исследования влажности почвы определяют:

$T_{ПВ...НВ}$ — продолжительность в сутках, когда влажность находится в пределах между полной и наименьшей влагоемкостью.

$T_{НВ...ВРК}$ — продолжительность в сутках, когда влажность находится в пределах меж-

ду наименьшей влагоемкостью и влажностью разрыва капилляров.

$T_{ВРК...ВЗ}$ — продолжительность в сутках, когда влажность находится в пределах между влажностью разрыва капилляров и влажностью завядания.

$T_{В...ПЗ}$ — продолжительность в сутках, когда влажность находится в пределах между влажностью завядания и полной засухой.

Оптимальные условия влажности для роста и развития сельскохозяйственных культур заключены в пределах между НВ и ВРК, поэтому промежуток времени $T_{НВ...ВРК}$ служит основным критерием, а другие промежутки — дополнительными критериями оценки. Например, если необходимо оценить действие осушительных мелиоративных мероприятий, то дополнительным критерием будет $T_{ПВ...НВ}$, потому что они непосредственно влияют на эту продолжительность влажности почвы, и чем эффективнее, тем $T_{ПВ...НВ}$ короче. Для оросительных или увлажнительных мелиоративных мероприятий дополнительным критерием будет $T_{ВРК...ВЗ}$ и $T_{ВЗ...ПЗ}$, потому что их прямая задача — обеспечить растения недостающим количеством влаги, которую почва теряет из-за сильного испарения, и чем они эффективнее, чем $T_{ВРК...ВЗ}$ и $T_{ВЗ...ПЗ}$ короче.

Промежутков времени или продолжительности влажности почвы одного рода (например, $T_{ПВ...НВ}$) в исследуемом периоде может быть несколько, поэтому, чтобы получить общую продолжительность, их необходимо суммировать ($\Sigma T_{ПВ...НВ}$). Имея продолжительности влажности почвы между определенными агрогидрологическими константами и общую продолжительность исследуемого периода (T), можно найти следующие коэффициенты влажности почвы:

$B_и=\Sigma T_{ЗВ...НВ}/T$ — коэффициент избыточной влажности почвы.

$B_о=\Sigma T_{НВ...ВРК}/T$ — коэффициент оптимальной влажности почвы.

$B_н=\Sigma T_{ВРК...ВЗ}/T$ — коэффициент недостаточной влажности почвы

$B_з=\Sigma T_{ВЗ...ПЗ}/T$ — коэффициент засухи почвы.

Для всего исследуемого периода сумма этих коэффициентов равна единице: $B_и+B_о+B_н+B_з=1$. В конкретном исследуемом периоде отдельные коэффициенты

могут быть равны нулю, но сумма всегда остается постоянной $\Sigma B = 1$.

На рисунке 2 приведен график исследования влажности 0...40-сантиметрового слоя почвы одного из опытных участков дренажа. Исследуемый период составляет 234 сут. Коэффициенты влажности почвы равны:

$$B_{и} = (30+35)/234 = 0{,}278,\ B_{о} = (8+8+25)/234 = 0{,}175,$$
$$B_{и} = (43+13+63)/234 = 0{,}509,\ B_{з} = 9/234 = 0{,}038,\ \Sigma B = 1{,}0.$$

Если выразить эти коэффициенты в процентах, то более половины периода (51 %) влаги не хватало, а в середине июля был период (4 %) с влажностью ниже ВЗ. Влажность была избыточной 28 % исследуемого периода и только около 18 % периода — оптимальной.

Оценка мелиоративных мероприятий по всем этим коэффициентам не всегда очевидна, более удобен однозначный показатель. Поэтому, исходя из основных задач применяемых мелиоративных мероприятий и для их оценки, предложены разные комбинации коэффициентов:

на переувлажненных и периодически переувлажненных землях (осушительные мероприятия)

$$B_{ос} = 1 + B_{о} - B_{и},\ \text{или}\ B'_{ос} = 1 + B_{о} + B_{н} - B_{и};$$

на периодически переувлажненных землях (осушительно-увлажнительные мероприятия)

$$B_{оу} = 1 + B_{о} - B_{и} - B_{н},\ \text{или}\ B'_{оу} = 1 + B_{о} - B_{и} - B_{н} - B_{з};$$

на засушливых землях (оросительные мероприятия)

$$B_{ор} = 1 + B_{о} - B_{н},\ \text{или}\ B'_{ор} = 1 + B_{о} - B_{и} - B_{з}.$$

Единица в зависимости введена для того, чтобы не получались отрицательные значения. Все эти коэффициенты ($B_{со}$, $B_{оу}$, $B_{ор}$) изменяются в пределах 0...2. Чем больше значение коэффициентов, тем мелиоративные мероприятия эффективнее.

В качестве примера для оценки мелиоративных мероприятий приведена опытная система дренажа площадью 10 га (учебное хозяйство Литовской сельскохозяйственной академии). Почвы суглинистые, система разбита на 10 опытных участков с разной степенью дренирования, характеристики характерных из них приведены в таблице 3.

3. Характеристики опытных участков дренажа

Номер опытного участка	Глубина заложения дрен h, м	Расстояние между дренами E, м	Степень дренирования $I=2h/E$
1	1,4	10	0,280
4	1,4	16	0,175
5	1,1	16	0,138
6	0,8	16	0,100
7	1,4	22	0,127
10	Недренированный		0

Примечание. Степень дренирования (I) означает средний уклон депрессионной кривой, когда уровень грунтовых вод в середине между дренами расположен у поверхности.

Для оценки эффективности дренажа целесообразно использовать активный слой почвы, то есть слой глубиной 40 и 50 см, который наиболее ощутимо влияет на рост и развитие сельскохозяйственных культур. В опытах исследован слой почвы 0...40 см.

Характерные агрогидрологические константы этого слоя на разных опытных участках приведены в таблице 4.

4. Основные агрогидрологические константы опытных участков слоя почвы 0...40 см

Номер опытного участка	Агрогидрологические константы, мм			
	ПВ	НВ	ВРК	ВЗ
1	183	134	94	25
4	176	139	97	34
5	198	120	84	33
6	193	130	91	22
7	198	134	94	15
10	202	123	86	17

Расчетный период — 28.04...18.08, то есть период роста и созревания яровых зерновых культур в Литовской ССР.

График зависимости коэффициента оценки осушительных мелиораций B_{oc} от степени дренирования I показан на рисунке 3. На графике приведены зависимости трех наиболее характерных лет: 1964 г. — засушливый, 1966 г. — средний, 1974 г. — влажный. Усовершенствованный гидротермический коэффициент Селянинова

(под ГТК понимается отношение суммы осадков к сумме средних декадных температур за определенный период) для расчетного периода 1964 г. равен 0,79, для 1966 г.—1,44, а для 1974 г.—2,30. Амплитуда колебаний B_{oc} между недренированным и интенсивно дренированным участками в 1964 г. составляет 0,22, в 1966 г.—0,54, а в 1974 г.—1,25.

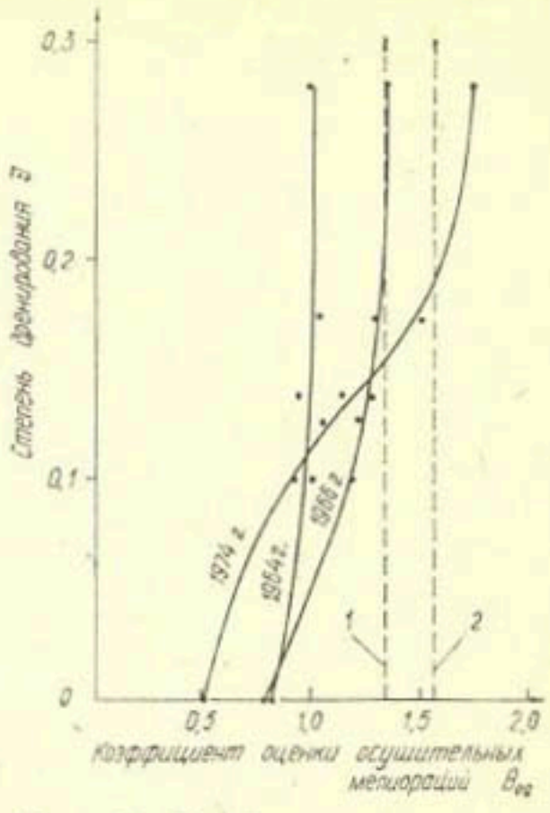


Рис. 3. График зависимости коэффициента оценки осушительных мелиораций B_{oc} от степени дренирования:

1 — уровень B_{oc} за расчетный период по среднемноголетним данным Каунасской агрометеорологической станции; *2* — уровень B_{oc}, который обеспечил оптимальные условия для получения высоких урожаев яровых зерновых культур, свыше 4 т/га (оптимальный год выбран по методике 1976 г.).

Оптимальные условия во влажные годы могут создать только интенсивный дренаж со степенью дренирования свыше 0,18 (1 и 4 опытные участки). Приблизительную оценку действия дренажа можно сделать и по значениям B_{oc}, полученным из средних многолетних данных агрометеостанции. В средний или влажный год участки дренажа, на которых коэффициенты влажности B_{oc} примерно равны B_{oc} среднему или превышают его, можно считать действующими нормально. Исключение — засушливый год, когда и на интенсивно осушенных участках значение B_{oc} заметно меньше B_{oc} среднего. В засушливый период дренаж как мелиоративное мероприятие малоэффективен, для создания нормальных условий необходимо применять дополнительное увлажнение.

Выводы. 1. Предложено несколько приемов усовершенствования методики полевых исследований почвенной влажности, которые позволяют уменьшить потребность в трудовых ресурсах при исследованиях и уточнить исследования.

2. Предложен метод оценки мелиоративных мероприятий по коэффициентам продолжительности почвы.

УДК 631.62 : 556.16.047 (474.5)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ИНТЕНСИВНОСТИ ОСУШЕНИЯ ЗАКРЫТЫМ ДРЕНАЖЕМ

Р. А. ТУМАС, кандидат технических наук
Литовская сельскохозяйственная академия

Эффективность дренажа зависит от создаваемого им водного режима, который обусловливается природными условиями и интенсивностью дренирования. В настоящее время нет четких критериев для оценки интенсивности дренирования. Широко применяют экспертный метод.

Сущность его — в следующем. Сооружают опытные системы дренажа — полевые стационары. Многолетние данные исследований (поверхностный и дренажный стоки, динамика уровней грунтовых вод, режим влажности почвы и др.) систематизируют, анализируют, подвергают статистической обработке. Опытный исследователь, располагая такими данными, судит об эффективности работы дренажа в данных условиях. При оценке эффективности действия дренажа элементы субъективности не исключены, так как трудно представить его работу (прогнозировать) в иных климатических условиях.

Многообразие и сложность действия дренажа вызывают необходимость применения метода математического моделирования. Простой и достаточно точный метод получения математических моделей работы дренажа — воднобалансовый. Водный баланс дренированной почвы можно описать известным уравнением А. Н. Костякова:

$$\varphi\delta dh = (R-q)\,dt, \qquad (1)$$
$$R = H - E - P \pm G,$$

где dh — изменение напора грунтовых вод в середине между дренами (мм) в период dt; φ — коэффициент депрессии; δ — коэффициент водоотдачи почвы; q — дренажный сток, мм/сут; H — атмосферные осадки; мм/сут; E — суммарное испарение, мм/сут; P — поверхностный сток, мм/сут; G — влагообмен с почвенными слоями, расположенными ниже уровня дрен, мм/сут; R — интенсивность питания грунтовых вод, мм/сут.

Интенсивность питания грунтовых вод R здесь отражает частный случай атмосферного водного питания при отсутствии поверхностного и подземного притока (систематический закрытый дренаж) и показывает долю атмосферных осадков, просачивающихся в дрены.

Для решения уравнения (1) необходимо представить стоковую функцию (связь между притоком в дрены и напором грунтовых вод). Из теории фильтрации известно, что приток в дрены, помимо напора грунтовых вод, зависит от ряда факторов: коэффициента фильтрации почвы, глубины залегания водоупора ниже плоскости дрен, интенсивности дренирования и др. Выражая приток в дрены формулой С. Ф. Аверьянова, получают:

$$q=\frac{4k\alpha}{B^2}h^2+\frac{8kT\alpha}{B^2}h, \qquad (2)$$

где k — коэффициент фильтрации почвы, м/сут; B — расстояние между дренами, м; T — глубина водоупора ниже плоскости дрен, м; α — коэффициент висячести.

При решении уравнения (1) с учетом (2) получают:

$$h=h_1+(h_0-h_1)\frac{h+h_1+2T}{h_0+h_1+2T}\exp\left[-\frac{8kt\alpha}{B^2\varphi\delta}(h_1+T)\right], \qquad (3)$$

$$h_1=T\left(\sqrt{1+\frac{RB^2}{4kT^2\alpha}}-1\right).$$

При решении уравнения (3) принято, что φ, δ, R — константы и при $t=0$, $h=h_0$.

Получено сложное уравнение, связывающее гидравлические факторы действия дренажа (k, T, δ, φ) с гидрологическими (R) в условиях неустановившегося водного режима. Это уравнение легко решить при помощи вычислительной техники. Как принято в оптимизационных задачах, уравнение можно решить, располагая входом R и выходом h. Следовательно, имея ежесуточные данные наблюдений за напорами грунтовых вод в середине между дренами и интенсивностью питания грунтовых вод (h_0, h_1, R_1; h_2, R_2, ... h_t, R_t), можно определить параметры k, T, φ, δ, α, B. Однако оказалось, что такой путь обобщения опытных данных неприемлем. Такое число параметров не дает возможности исследователю оценить эффективность работы дренажа в том или другом полевом стационаре. Анализ результатов с точки зрения каждого параметра сложен

и с трудом обозрим. В связи с этим автор использовал метод аппроксимации. Уравнение (2) аппроксимировали линейно:

$$q=\varphi\delta\beta h, \qquad (4)$$

где β — коэффициент интенсивности дренажа, 1/сут.

При решении уравнения (1) с учетом (4) получают:

$$h_t=h_{t-1}\exp(-\beta)+\frac{R_t}{\varphi\delta\beta}[1-\exp(-\beta)], \qquad (5)$$

где h_t, h_{t-1} — напор в расчетные и предшествовавшие сутки, мм.

Аналогичный результат, только другим путем, получен С. Ф. Аверьяновым, где коэффициент $\tau=1/\beta$ сут назван стабилизацией потока.

Коэффициенты интенсивности определяют методом наименьших квадратов на ЭВМ (табл. 1). Расчеты удобно проводить в периоды, когда суммарное испарение ничтожно (поздней осенью $E\cong 0$ и на суглинках

1. Результаты оптимизации линейной модели напоров грунтовых вод

Наименование опытных участков и варианты систем дренажа	Коэффициент интенсивности дренажа β, 1/сут	Число данных	Расчеты за период
Йонишкелис, Пасвальский район,			
опытный участок № 1			
14×1,00	0,24	90	10...12.
»	0,26	91	10...12.
средний	0,25		
опытный участок № 2			
14×0,90	0,35	87	10...12.
»	0,32	79	10...12.
средний	0,34		
Шнипшляй, Клайпедский район,			
опытный участок № 1			
18×1,0	0,47	50	11...12.
»	0,41	51	10...12.
средний	0,44		
опытный участок № 2			
18×1,0	0,41	54	11...12.
»	0,60	76	09...11.
»	0,58	96	09...12.
средний	0,53		

Примечание. 14×1,10 — расстояние между дренами и глубина заложения дрен, м.

$G \cong 0$). Для получения оптимального коэффициента β с относительной погрешностью до 10 % необходимо в расчетах использовать не менее 150 пар данных, которые могут быть разбиты на 5...6 массивов по 25...30 данных. Лучше всего, чтобы эти массивы представляли отдельные годы исследований. Для оценки и прогнозирования действия закрытого дренажа необходимо увязать коэффициенты интенсивности дренажа с расстояниями между дренами. Из равенства формул (2) и (4) получают равенство:

$$\beta_1/\beta_2 = B_2^2/B_1^2, \qquad (6)$$

где индексами обозначены сравниваемые варианты дренажа и их коэффициенты интенсивности.

При выводе формулы (6) принято, что почвенные условия сравниваемых вариантов одинаковые ($\varphi_1 = \varphi_2$, $\delta_1 = \delta_2$ и т. д.). Коэффициент интенсивности дренажа β служит параметром линейной математической модели уровней грунтовых вод дренированной почвы. Несмотря на сравнительно грубую аппроксимацию стоковой функции (линейной), оптимизация дала стабильные результаты.

Располагая такими данными, можно сравнивать действие дренажа в аналогичных почвенных условиях. Автором предложена методика получения поправочных климатических коэффициентов к расстояниям между дренами, если сравниваемые варианты дренажа расположены в различных климатических условиях.

Исследования показали, что для описания формирования дренажного стока стоковая функция должна быть аппроксимирована нелинейной. Наиболее приемлемой оказалась экспонентная модель (Тумас, 1979):

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{q_{t-1}} \exp(-\tau R_t) + \frac{1}{R_t}[1 - \exp(-\tau R_t)], \qquad (7)$$

где q_t, q_{t-1} — дренажный сток в расчетные и предшествовавшие сутки, мм/сут; τ — коэффициент интенсивности, 1/(мм·сут).

Формирование стока на дренированных участках проходит сложно. Весной талые воды образуют значительный поверхностный и дренажный стоки, причем поверхностная составляющая суммарного стока значительна. В теплый период года, в условиях талой почвы, соотношение составляющих суммарного стока резко меняется. Исследования показывают, что процент отведенного

слоя суммарного стока по поверхности зависит от водосборной площади. На больших дренажных системах (150...400 га) дождевая вода аккумулируется неравномерно, и это способствует более редкому образованию поверхностного стока в нижнем створе водотоков. Причем данные исследований указывают на прерывистый характер поверхностного стока. Все это дает основание считать его как поверхностное задержание:

$$P_t = P_m[1 - \exp(-H_t \cdot a/P_m)], \qquad (8)$$

$$R_t = H_t - P_t ,$$

где P_m — максимальный поверхностный сток, мм; H_t, P_t — в расчетные сутки ожидаемые осадки и поверхностный сток соответственно, мм; a — эмпирический коэффициент.

В поисках минимума критерия качества расчеты производили на ЭВМ:

$$K = \sum_{i=1}^{n} \int_{0}^{t} [q_\Phi(t) - q_\text{р}(t)]^2 \, dt, \qquad (9)$$

где t — продолжительность i-го паводка, сут; N — число паводков; q_Φ — фактический дренажный сток, мм; q_0 — расчетный (по формуле 7) дренажный сток, мм.

Поскольку задача многоэкстремальная, вначале проводили случайный поиск по стандартной подпрограмме ЭВМ ЕС 1020, вычисляющей случайно распределенные числа. Поиски локального минимума осуществляли квазиньютоновским методом. Модуль оценивали критерием применимости и качества Z и обеспеченностью допустимой погрешности Δ:

$$\Delta = \pm 0{,}674\,\sigma, \qquad (10)$$

$$Z = \frac{S}{\sigma} = \sqrt{\frac{\Sigma(q_\Phi - q_\text{р})^2}{N-m}} \Big/ \sqrt{\frac{\Sigma(q_\Phi - q_\Phi)^2}{N-1}}, \qquad (11)$$

где q_Φ, $\overline{q_\Phi}$ — значение и норма фактического размера дренажного стока, мм; $q_\text{р}$ — расчетный дренажный сток; мм; N — число членов ряда; m — число параметров модели; Z — критерий применимости и качества модели.

Показатели качества методики при числе ряда $N \geqslant 25$ следующие:

хорошая — $Z \leqslant 0{,}50$ и $\Delta \geqslant 82$ %,

удовлетворительная — $Z = 0{,}51 \ldots 0{,}80$ и $\Delta = 86 \ldots 60$ %.

Оптимизация — это поиск таких параметров модели (τ, a), чтобы расчетный гидрограф был наиболее близок к фактическому. В идеальном случае значения $Z=1{,}0$, $\Delta=100$ %.

Программа расчетов составлена так, чтобы одновременно по полученным параметрам за все паводки проводился контрольный расчет для отдельных (табл. 2).

2. Результаты оптимизации экспонентной модели дренажного стока

Варианты дренажа	Год исследования	N	τ, 1/(мм·сут)	P_m, мм	a	Z	Δ, %
Виденяй, Варенский район							
1. 22×1,1	1972...1974	164	0,11	31,0	0,014	0,64	80,1
2. 22×1,1	1972...1974	170	0,10	24,8	0,0045	0,54	84,1
3. 22×1,1	1972...1974	136	0,08	28,1	0,007	0,58	84,6
	1972	40	0,08	28,1	0,007	0,58	79,5
	1973	94	0,08	28,1	0,007	0,56	81,7
	1974	38	0,08	28,1	0,007	0,70	89,2
Все три системы							
22×1,10	1972...1973	380	0,09	31,0	0,014	0,66	83,0

Расчеты проведены по данным исследований по дренажному стоку и осадкам за 1972, 1973 и 1974 гг. на суглинистых почвах. Результаты оптимизации по дренажному стоку трех одинаковых вариантов дренажа с расстояниями между дренами 22 м (глубина дрен — 1,1 м, площадь — 2...3 га) представлены в таблице 2. В таблице коэффициенты интенсивности дренажа τ для отдельных вариантов между собой различаются незначительно. Для последнего, третьего варианта приведены статистические показатели для каждого года, синтетический гидрограф отличается от фактического в пределах допустимых значений (формулы 10 и 11). Результаты можно оценить как удовлетворительные. Причем такая же оценка получена и для результатов расчета по данным исследований за отдельные годы. В конце таблицы 2 даны сводные результаты расчетов по данным исследований дренажного стока всех трех дренажных систем. Результаты статистических расчетов показывают ($Z=0{,}66$, $\Delta=83$ %), что эти показатели не

выходят за рамки удовлетворительной оценки, но все-таки хуже. Это означает, что осушительное действие анализируемых вариантов неодинаково. Это естественно, так как тождественных условий в природе не может быть. Коэффициент интенсивности τ в данном случае — числовой критерий для оценки и сравнения действия отдельных вариантов закрытого дренажа по данным периодических измерений дренажного стока и осадков.

Выводы. Оценку действия закрытого дренажа рекомендуется проводить по двум коэффициентам интенсивности, которые получают расчетами по данным исследований за уровнями грунтовых вод (β, 1/сут) и дренажному стоку (τ, 1/(мм·сут).

Для получения коэффициентов интенсивности необходимо располагать периодическими данными измерений по уровням грунтовых вод и дренажному стоку и проводить оптимизационные расчеты по составленным моделям (5) и (7).

УДК 631.6:626.874

ПРОБЛЕМЫ МЕТОДИКИ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИЧИН ОТКАЗА ДЕЙСТВИЯ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА

К. Ф. АЛЕКАНД, кандидат технических наук
У. У. УРИ

Эстонская сельскохозяйственная академия

Для изучения технических причин отказа дренажа в конкретных природных условиях и при конкретной технологии строительства в 1974 году организована специальная рабочая группа при Государственном проектно-исследовательском институте «Эстмелиопроект». В работе группы принимают участие и ученые кафедры гидромелиорации Эстонской сельскохозяйственной академии. За прошедшие 7 лет комплексные полевые исследования проведены на мелиоративных объектах общей площадью 7,5 тыс. га, на которых суммарная площадь неудовлетворительно осушенных участков составляла 2,5 тыс. га. Осушение проведено гончарным дренажем. Уже на первом году исследований выяснили, что многие общепризнанные методы исследования, успешно применяемые в стационарах, при полевых условиях не

оправдывают себя, а для изучения некоторых явлений соответствующая методика вообще отсутствует.

Основная особенность прикладных исследований, которую необходимо учитывать при выборе или разработке методики, заключается в следующем. Объектом исследования является мелиоративный объект в целом. Поэтому выбирать участки с одинаковыми условиями для повторных опытов нельзя. Наблюдениями должны быть охвачены всевозможные комбинации природных факторов, варианты проектных решений и технологий строительных работ. Исходя из этого ясно, что изучать какое-то одиночное, изолированное явление или зависимость, например влияние ширины щели в стыках на интенсивность заиления труб, не имеет смысла. Подход к исследованию должен быть только системой, то есть причины отказа дренажа нужно рассматривать в зависимости от конструкции дрен и природных условий.

Поскольку при прикладных исследованиях необходимы, кроме научных обобщений, еще и конкретные предложения по реконструкции дренажных систем, а сроки очень сжаты (один год), то возможность проведения длительных режимных наблюдений отпадает. Поэтому к методике исследований предъявляются следующие требования: затраты времени на получение необходимой информации должны быть минимальными, измерительная аппаратура портативной и точность отдельных определений должна соответствовать требованиям практического проектирования. При планировании таких исследований нужно учитывать, что для обобщения результатов необходимо обязательное определение всех природных факторов, фиксация всех конструктивных параметров и технических состояний дренажных систем. Такое обобщение возможно только при наличии достаточного и статистически достоверного объема данных.

Первоочередной вопрос, требующий решения при полевых наблюдениях на построенных дренажных системах, — оценка достигнутой интенсивности осушения. Такая оценка является альтернативной: интенсивность осушения можеть быть удовлетворительной или неудовлетворительной. Основной критерий — удовлетворение потребностей сельскохозяйственного производства: возможность проведения полевых работ в оптимальные сроки. Техническим показателем критерия целесообразно считать скорость понижения уровня грунтовых вод, или

точнее, время отвода избыточных вод из слоя почвы, от поверхности земли до нормы осушения. Это время в конкретном году зависит от метеорологических условий перед проведением изыскания, то есть их вероятности. Во избежание длительных режимных наблюдений для определения вероятности воднобалансовых элементов во время исследований приходится исходить из эталонной скорости понижения грунтовых вод. Эту скорость определяют весной, в предпосевной период, на участке объекта или поля, которое специалистами данного хозяйства признано лучшим в отношении водного режима. Предполагают, что, во-первых, скорость понижения уровня грунтовых вод на эталонных участках в расчетном году соответствует расчетной и, во-вторых, что при полном регулировании поверхностного стока понижение уровней начинается по всему мелиоративному объекту одновременно. Необходимой, то есть расчетной, принимают скорость, которая обеспечивает понижение уровня грунтовых вод до глубины 0,5 м за 15 сут.

Необходимо также решить вопрос о допустимых отклонениях интенсивности осушения, то есть необходимой точности. Если расчетный режим грунтовых вод полностью удовлетворяет требованиям хозяйства, то осушение с некоторой заниженной степенью интенсивности следует считать неудовлетворительным. Показателем допустимого отклонения может служить время задержки понижения уровня грунтовых вод до нормы осушения $\Delta t_н$. По действующим нормам проектирования допускается для зерновых $\Delta t_н = 2{,}5$ сут и $\Delta t_{0,5} = 1{,}5$ сут, для многолетних трав — соответственно 4 и 3 сут. Проведенный анализ показал, что эти требования необоснованны. Вычисленный по формулам неустановившейся фильтрации [3] ход понижения уровней грунтовых вод (1) показывает, что, например, при глубине грунтовых вод на эталонном участке $z_э = 0{,}5$ м и $\Delta t_{0,5} = 1{,}5$ сут осушение следует считать неудовлетворительным уже в тех местах, где уровень грунтовых вод находится на глубине $z \leqslant 0{,}47$ м, то есть допускается отклонение глубин Δz только до 0,03 м. Очевидно, что такое отклонение для технологии сельскохозяйственного производства не имеет значения.

Исходя из перспективной технологии и организации труда в хозяйствах, предполагают, что продолжительность периода весенних полевых работ можно умень-

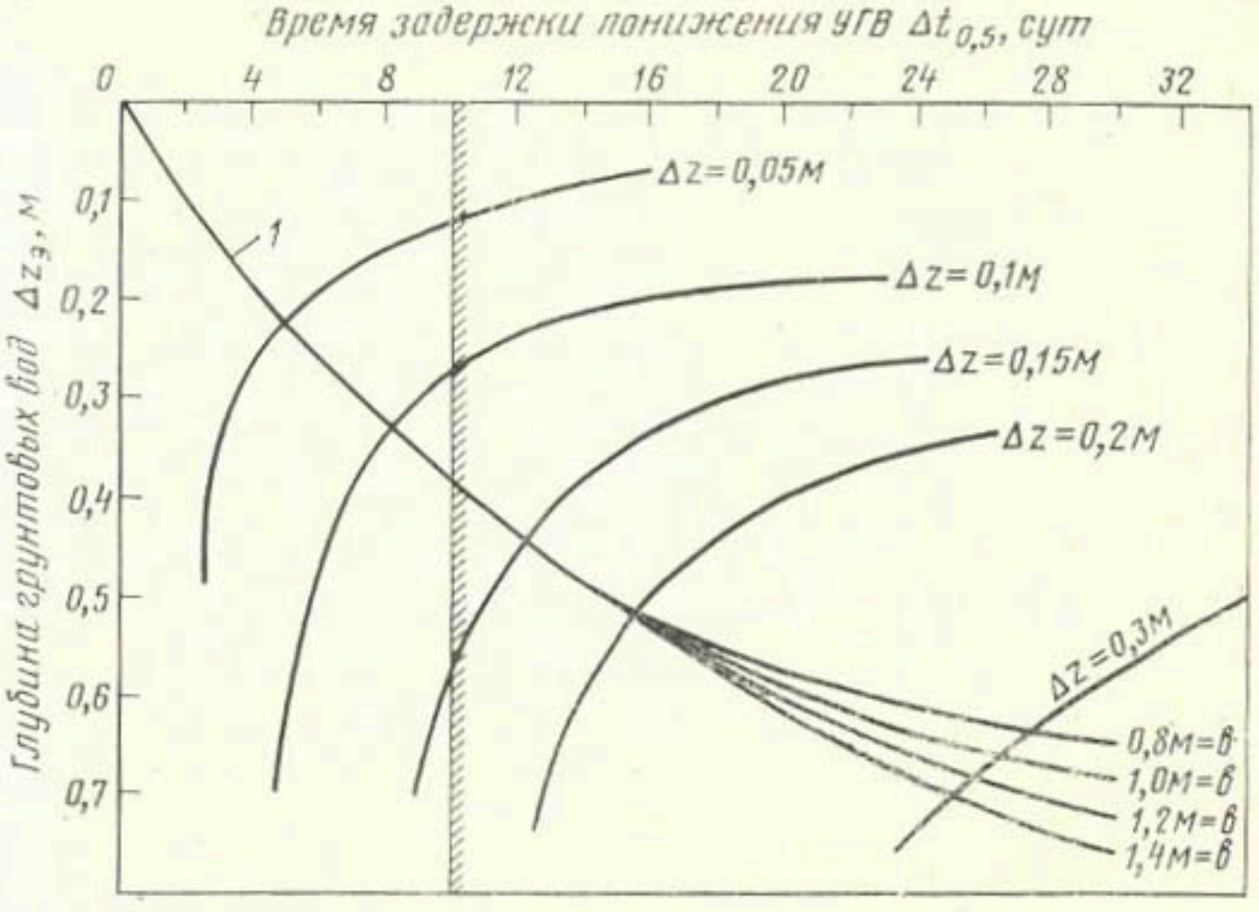


Рис. 1. Ход понижения уровня грунтовых вод в середине между дренами при расчетном режиме и зависимость $\Delta z = f(z_э, \Delta t_{0,5})$:

1—расчетный режим; Δz—отклонение глубин уровней грунтовых вод, м; $\Delta z_э$ — глубина уровня грунтовых вод на эталонном участке, м; $\Delta t_{0,5}$ — время задержки понижения уровня грунтовых вод до нормы осушения, равной 0,5 м, сут.

шить до 10...15 сут, а время понижения уровней грунтовых вод до нормы осушения, обеспечивающей достаточную проходимость сельскохозяйственных машин на разных полях, может различаться также до 10... 15 сут. Это позволяет проводить полевые работы на всех полях в агротехнически оптимальные сроки. Но следует еще проверять, допустимо ли такое систематическое отклонение в агротехнических сроках на одном поле, то есть надо использовать какой-то другой критерий гомогенности водного режима. Предварительные наблюдения показали, что минеральные грунты в определенной мере проходимы для сельскохозяйственной техники уже при глубине уровня грунтовых вод 0,30...0,35 м от поверхности земли. Значит, при глубине $z_э = 0,5$ м допустимо $\Delta z = 0,15...0,20$ м. Для понижения уровня грунтовых вод (см. рис. 1) от 30...35 см до 0,5 м необходимо 11...16 сут, то есть приблизительно такое же отклонение от расчетных сроков, какое допускали на разных

полях. Итак, можно с некоторым запасом считать, что при оценке интенсивности осушения время $\Delta t_{0,5}=10$ сут служит общим критерием точности.

После уточнения границ неудовлетворительно осушенных участков на мелиоративном объекте целесообразно определить комплекс причин недоосушения на них для детального планирования дальнейших наблюдений. При отказе дренажа больше внимания уделяют изучению технического состояния дренажных линий, а при недостаточной проектной интенсивности — проверке исходных для проектирования данных. Для установления комплекса причин на основе результатов измерения глубин грунтовых вод над дреной и в середине между дренами вычисляют коэффициент действия дренажа R, который представляет собой отношение удельного притока к реальным и идеальным (без сопротивления фильтра) дренам. С некоторыми допусками это отношение можно выразить через действующие напоры:

$$R=q_{\text{р}}/q_{\text{и}}=(h_1^2-h_2)/h_1^2, \qquad (1)$$

где h_1 — напор между дренами, м; h_2 — напор над дренами, м.

Комплексы причин недостаточного осушения

Коэффициент действия дренажа	Интенсивность осушения, м	
	$\Delta z>\Delta z_{\text{доп}}$	$\Delta z\leqslant\Delta z_{\text{доп}}$
$R<0,7$	Отказ	Отказ компенсируется высокой проектной интенсивностью
$R\geqslant 0,7$	Недостаточная проектная интенсивность	Дренаж качественный

Нормально действующим считают дренаж при коэффициенте $R\geqslant 0,7$. Комплексы причин недостаточного осушения приведены в таблице.

Исследования показали, что недостаточная проектная интенсивность в основном обусловлена ошибками при оценке водопроницаемости грунтов и притока грунтовых вод в орошаемый слой. Определение характеристик водопроницаемости грунтов — объект многих методологических исследований. Основные вопросы при этом — методика и технология измерений, необходимый объем

определений при заданном уровне достоверности и значения расчетных характеристик.

При проектировании осушительных систем исходят обычно из среднеарифметических значений коэффициентов фильтрации для данного типа грунта, которые получают из нормативных материалов. Это обусловлено тем, что современная методика полевых определений нетехнологична. В ходе исследования причин недостаточной интенсивности осушения выяснили, что метод восстановления уровней в скважине (метод Эркина) не дает достаточно достоверных результатов, в частности при наличии напорных грунтовых вод. Контрольные измерения проводили по методу заряженного тела, баланса гравитационных вод и групповой откачки. Но, к сожалению, и эти методы для массовых измерений также нетехнологичны.

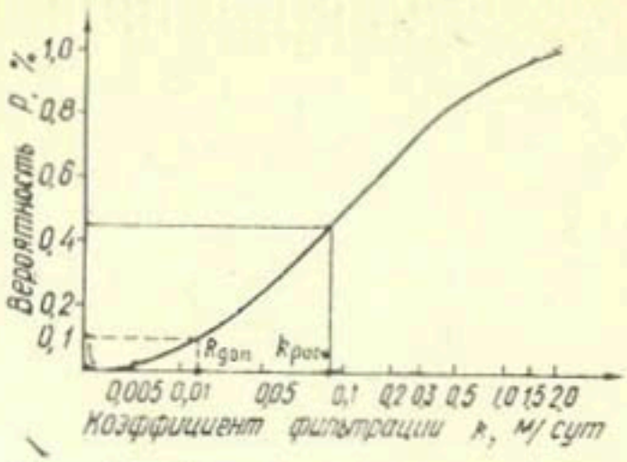


Рис. 2. Интегральное распределение коэффициентов фильтрации средних минеральных грунтов.

Для определения необходимой точности и расчетного значения коэффициента фильтрации проведен следующий анализ. Совместное интегральное распределение коэффициентов фильтрации в средних минеральных грунтах (супесь, легкий и средний суглинок) представлено на рисунке 2. Анализ кривых соответствующих коэффициентов фильтрации позволил объединить их кривые распределения. Эмпирическая кривая получена на основе 144 измерений, теоретическая — при помощи семейства Чонсона.

Рассеивание отдельных значений значительно. Если взять одно из них за расчетное, то часть минеральных грунтов будет переосушена, а часть недоосушена. Если выборка для характеристики совокупности достаточная, то распределение коэффициентов фильтрации характеризует и распределение осушаемых грунтов по площади. Следовательно, по интегральной кривой коэффициентов фильтрации можно определить и отношение площадей переосушенных и недоосушенных почв. Это отношение зависит от вероятности расчетного коэффициента фильтрации. Вероятность, при которой сумма затрат на пере-

осушение и убыток от недоосушения минимальная, называют оптимальной.

При конкретном анализе, исходя из формулы неустановившейся фильтрации,

$$z = z_0[f_0(\tau)], \qquad (2)$$

$$\tau = at/l^2,$$

$$a = km/\mu$$

где z — глубина уровня грунтовых вод в середине между дренами (на расстоянии l от дрены) за время t, м; z_0 — глубина уровня грунтовых вод над дренами, м; a — уровнепроводимость, м²/сут; k — коэффициент фильтрации, м/сут; m — мощность расчетного слоя; μ — коэффициент водоотдачи; $f_0(\tau)$ — специальная функция, определяемая по графику [2].

С учетом требования, что при глубине $z_0 = 1{,}0$ м нормы осушения $z = 0{,}5$ м достигают за 15 сут, по формуле (2) получают необходимое значение $\tau_1 = 0{,}38$. Как показывает опыт, весенние работы можно начинать, если в отдельных местах на поле $z = 0{,}3$ м, то есть получают необходимое $\tau_2 = 0{,}24$. Используя эти значения, определяют допустимые пределы коэффициента фильтрации. Учитывая, что для минеральных грунтов значение

$$\mu = 0{,}056\sqrt{k}\sqrt[3]{z}, \qquad (3)$$

можно найти отношение

$$\tau_1/\tau_2 = \sqrt{k_1}\, m_1 \sqrt[3]{z_2}/\sqrt{k_2}\, m_2 \sqrt[3]{z_1},$$

откуда коэффициент

$$k_2 = k_1(\tau_2\, m_1 \sqrt[3]{z_2}/\tau_1\, m_2 \sqrt[3]{z_1})^2. \qquad (4)$$

Подставляя в полученные значения τ соответствующие значения m и z и учитывая, что k_1 соответствует расчетному режиму, а k_2 — допустимому предельному значению, получают

$$k_{доп} = 0{,}145 k_{расч}.$$

Расчетное значение k определяют в зависимости от распределения коэффициента фильтрации (рис. 2). Для определения дополнительных расходов на переосушение использовали среднюю стоимость дренажа — 480 р/га. Убыток от недоосушения вычислен исходя из полной потери урожая в течение времени от приема систем в

эксплуатацию до их реконструкции со средним чистым доходом от мелиорации 205 р/га. Сумма этих перерасходов при разных сроках реконструкции неудовлетворительно действующих систем и в зависимости от вероятности $k_{доп}$ показана на рисунке 3. Практически неудовлетворительно действующие системы реконструируют за 2 года после приема их в эксплуатацию. В этом случае $k_{доп}$ целесообразно принимать с вероятностью 10 % и соответственно $k_{расч}$ — с вероятностью 47 %. Следовательно, в условиях, где действительные значения коэффициентов фильтрации меньше 10%-ной обеспеченности, причиной неудовлетворительного осушения является современная практика проектирования дренажа и технология полевых изысканий.

Вышеполученные конкретные результаты не претендуют на обширное обобщение, но представленный анализ может быть методической основой для определения оптимальных расчетных коэффициентов фильтрации или интенсивности притока и их допускаемых пределов отклонения. При исследованиях, например, наблюдали случаи, когда коэффициент фильтрации, принятый при проектировании расчетным, отличался от оптимального в сотни раз.

Недостаточную проектную интенсивность также обусловливает неточный прогноз интенсивности подпитывания осушаемого слоя напорными подземными грунтовыми водами. При детальном гидрологическом изыскании модуль притока напорных вод определяют пьезометрическим методом. Этим методом легко определить напор подземных вод, а коэффициенты фильтрации покровного слоя, необходимые для вычисления значения притока, — труднее. На практике их принимают как средние для данного грунта по литературным источникам. Это может привести к грубым ошибкам. К сожалению, полученные модули притока редко проверяют запасами подземных вод

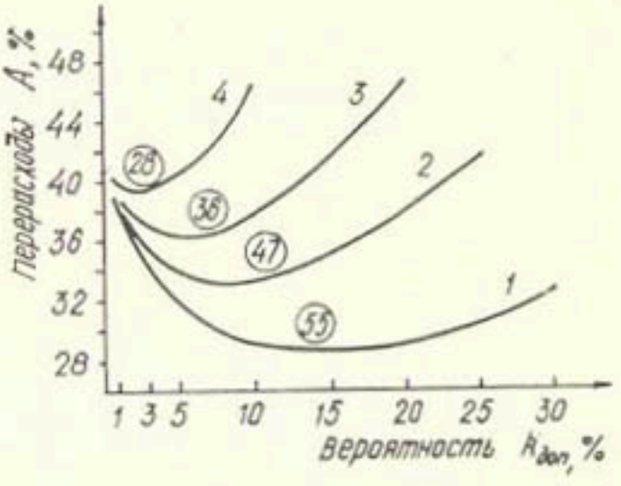


Рис. 3. Зависимости перерасходов A от вероятности $k_{доп}$ и года конструкции (1...4) систем:

55, 47, 36, 28 — оптимальная вероятность $k_{расч}$; *1, 2, 3, 4* — год реконструкции

в напорном горизонте, поэтому возможна переоценка модуля подземного питания. В исследованиях для определения модуля притока грунтовых вод использовали метод баланса гравитационных вод при помощи усовершенствованного испарителя ГГИ-100 [1]. Дно цилиндра монолита испарителя водонепроницаемое, и поэтому изменение уровня воды в монолите обусловлено только климатическими факторами. В грунте вне цилиндра на изменение уровня воды оказывает еще влияние и приток или отток грунтовых вод. Значение их определяют по формуле:

$$q_{\text{пр}} = \mu (\Delta h_t' - \Delta h_t)/\Delta t, \qquad (5)$$

где $q_{\text{пр}}$ — модуль притока в осушаемый слой, м/сут; $\Delta h'_t$ — изменение уровня грунтовых вод в монолите за время Δt, м.

Коэффициент водоотдачи μ в слое $\Delta h_t'$ определяют в том же монолите. Для этого восстанавливают первоначальный уровень воды и прикрывают цилиндр сверху пластикатной пленкой для прекращения испарения. Через измерительную трубку высасывают потом определенное количество воды из монолита и производят замер достигнутого уровня. По этим данным можно вычислить значение водоотдачи.

Метод баланса гравитационных вод целесообразно применять совместно с пьезометрическим методом. Одновременное определение значения $q_{\text{гр}}$ по балансу напора грунтовых вод ΔH пьезометрическим методом позволяет вычислить неизвестное значение $k_{\text{ср}}$ по формуле:

$$k_{\text{ср}} = q_{\text{гр}} \Delta L / \Delta H_{\text{ср}}, \qquad (6)$$

где

$$\Delta H_{\text{ср}} = (\Delta H + \Delta H_t)/2 \; ; \qquad (7)$$

и тем самым удлинить ряд наблюдений уже пьезометрическим методом. Схема установки показана на рисунке 4.

В исследованиях получены десятикратные отклонения действительных значений притока от расчетных, используемых при проектировании дренажных систем.

Вышеописанная методика исследования позволяет выяснить только секундарные технические причины отказа действия дренажа: малая водоприемная способность дренажных стыков, заиление труб и др. Но установить факторы, влияющие на эти явления, пока полностью не удалось, скорее наоборот, наблюдения, выведен-

ные путем лабораторных опытов или на основе теоретической логики, опровергли многие прежние представления о механизме этих процессов. Например, в полностью одинаковых почвенных условиях и при одинаковом качестве укладки труб водоприемная способность дренажных стыков пятиметрового отрезка дрен может колебаться в пределах 0...1,6 л/мин; корреляционный анализ не дал достоверной зависимости заиления труб от укладки дренажных линий, от ширины щелей в стыках труб и др. Установлена только зависимость отказов от вида грунта: в торфяных грунтах опасности механического заиления труб практически нет; основная причина отказа — малая водоприемная способность стыков. В тяжелых глинистых грунтах заиление труб маловероятно и водоприемная способность даже при необложенных фильтром стыков удовлетворительная. Основная причина малой эффективности действия дренажа в этих грунтах — неподходящая засыпка траншей. Самые неустойчивые по характеру причин отказов — песчаные и легкие минеральные грунты.

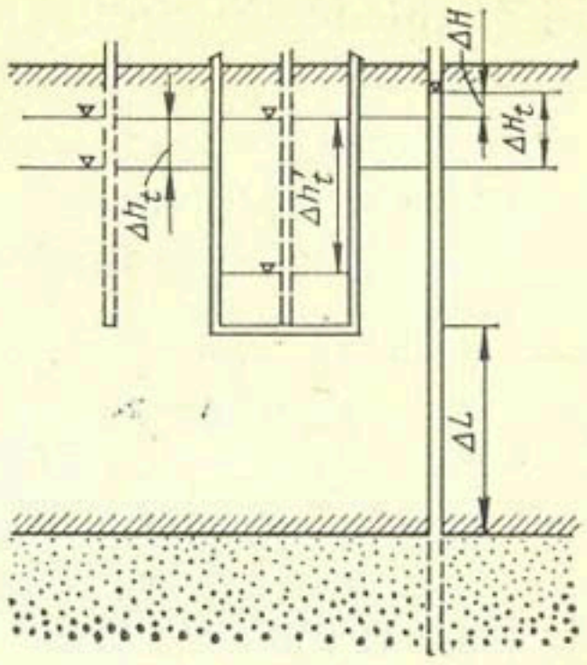


Рис. 4. Схема установки испарителя и пьезометров при определении притока напорных грунтовых вод.

Все это свидетельствует о необходимости дальнейшего усовершенствования методики системных исследований действия дренажа в природных условиях.

УДК 556.04:631.62

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КРУПНЫХ ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ В ЛИТОВСКОЙ ССР

А. И. САКАЛАУСКАС, кандидат технических наук

Литовский республиканский институт проектирования водного хозяйства

В условиях республики дренаж — самый рациональный и эффективный способ осушения переувлажненных и заболоченных сельскохозяйственных земель. Он способствует регулированию водно-воздушного и теплового режимов почвы, созданию крупных земельных массивов, позволяющих беспрепятственно использовать на полевых работах сложную сельскохозяйственную технику. Еще большему укрупнению земельных массивов способствует использование для строительства дренажных коллекторов труб большого диаметра (более 250 мм). Применение железобетонных, бетонных или асбоцементных труб диаметром более 250 мм позволяет создать большие (до нескольких сотен гектаров) дренажные системы, на территории которых отсутствуют открытые проводящие каналы.

В Литовской ССР крупные дренажные системы с применением упомянутых труб диаметром до 1600 мм проектируют и строят уже с 1965 года. За этот период они построены на площади более 34 тыс. га. Общая протяженность коллекторов достигает 2873,1 км. Однако практика показала, что при проектировании, строительстве и эксплуатации больших дренажных систем, особенно на площадях с холмистым рельефом и глубокими замкнутыми понижениями, возникает ряд новых, до сих пор недостаточно изученных вопросов как технического, так и экономического порядка.

При проектировании таких систем особое внимание необходимо уделить организации поверхностного стока. Результаты долголетних наблюдений автора и других исследователей показывают, что в природно-климатических условиях Литовской ССР в отдельные периоды года на мелиорируемых землях формируются значительные потоки поверхностных вод (весной во время снего-

таяния или летом после сильных ливневых дождей). В отдельные годы (например, 1979 и весна 1980 г). поверхностный сток от суммарного на опытном участке в Каунасском районе составил 40...60 %. Поверхностный сток на водосборе площадью 17,3 га — 179,6 мм, а на водосборе 408,8 га — 95,3 мм, соответственно годовой суммарный составил 289,4 и 218,6 мм. Максимальные модули поверхностного стока за 1979 года соответственно были 4 и 4,5 л/(с·га), а за весенний период 1980 г. — 2,08 и 2,63 л/(с·га). Продолжительность поверхностного стока в среднем 18...20 сут, а за 1979 год она была равна 33 сут. Максимальные расходы поверхностных вод на самой крупной в Литве дренажной системе № 10 Опытного хозяйства Литовской МИС в Каунасском районе во время весенних и летних паводков достигали 1,8 м³ (1977 и 1979 гг.).

Таким образом, эффективность больших дренажных систем в основном зависит от рациональной организации поверхностного стока на их территории. Отвод поверхностных вод с дренируемых площадей обычно производят по естественным тальвегам, искусственным ложбинам, каналам или дренажной сетью при помощи колодцев-поглотителей. Сброс поверхностных вод через колодцы-поглотители в дренажную сеть наиболее прогрессивный, так как здесь исключена или в значительной степени уменьшена опасность водной эрозии почвы, особенно на пахотных землях больших дренажных систем. Поэтому цель работы института — не только обобщить опыт проектных и строительных организаций данной области, но и изучить гидрологический режим больших дренажных систем, собрать необходимые данные для определения расчетных гидрологических характеристик. Для этого в 1967 году были организованы специальные полевые гидрологические исследования. Их проводят и сейчас на трех объектах в Каунасском (Опытное хозяйство Литовской МИС), Капсукском (колхоз «Павасарис») и Вилкавишкском (совхоз «Шапалай») районах Литовской ССР. На пяти больших дренажных системах, общая площадь которых составляет 640 га, проводят исследования по дренажному, поверхностному и суммарному стоку. Кроме того, изучают конструкции сооружений для отвода поверхностных вод и вопросы водной эрозии почв. Схема основного опытного участка, расположенного в Опытном хозяйстве Литовской МИС Ка-

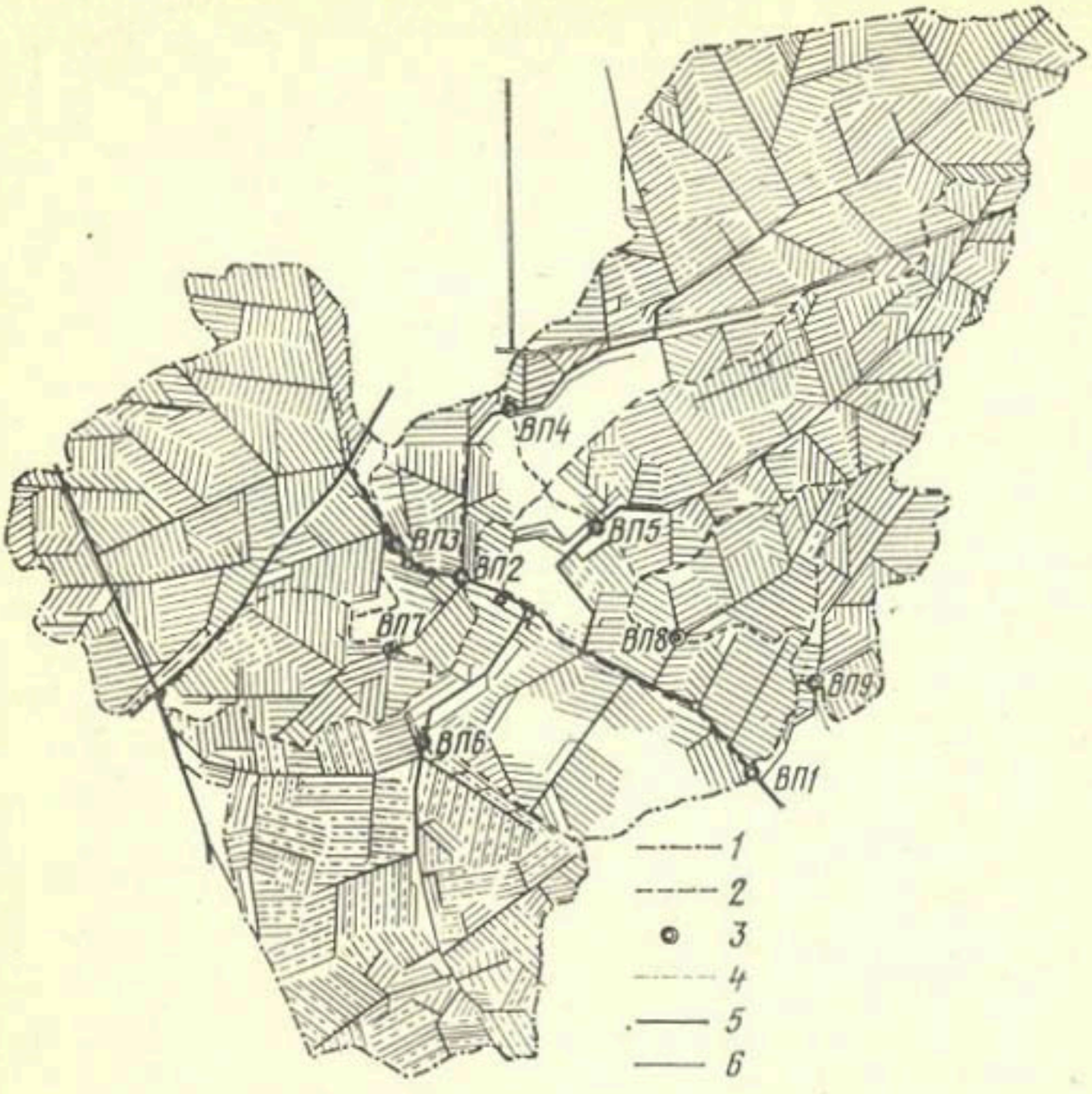


Рис. 1. Месторасположение водомерных постов на территории дренажной системы № 10 опытного хозяйства Литовской МИС Каунасского района:

1 — граница дренажной системы; *2* — граница водозаборной площади водомерного поста; *3* — водомерный пост; *4* — ложбинные борозды; *5* — дренажный коллектор большого диаметра (300 . . . 600 мм); *6* — дренажный коллектор из гончарных труб (75 . . . 200 мм); *7* — дрены.

унасского района, показана на рисунке 1. Характеристика всех опытных дренажных систем показана в таблице.

Водомерные посты (ВП) оборудованы тонкостенными водосливами треугольного или трапецеидального сечения. Конструкция и размеры водомерных постов подобраны в зависимости от водосборной площади систем. ВП № 1 и 2 — камерного типа, остальные — колодезного (диаметр железобетонных колец 1 . . .2 м). Рядом с колодцами или камерами для измерения дренажного стока расположены специальные водосливы для измерения поверхностного стока. Для автоматической регистрации

Характеристика опытных дренажных систем

Номер дренажной системы	Номер водомерного поста	Площадь, га		Периметр водосбора, м	Средняя ширина водосбора, м	Длина магистрального дренажного коллектора, м	Средний уклон поверхности земли, %	Преобладающие расстояния между дренами, м	Средняя глубина дрен, м
		водосбора	дренажной системы						
10	2	195,5	188,4	9060	745	2630	3,2	18...26	1,1...1,2
»	3	71,9	71,9	3770	733	980	3,7	18...30	»
»	4	85,8	80,5	4720	477	1800	2,4	20...26	»
»	5	51,1	49,8	3880	419	1220	1,5	16...20	»
»	6	78,0	78,0	3860	975	800	2,1	36...40	»
»	7	17,3	17,3	1950	288	600	3,4	24...26	»
»	8	13,6	13,6	1680	203	670	1,9	20...24	»
»	1	408,8	376,0	11 160	1240	3300	3,1	18...26	»
9	9	13,2	13,2	1760	205	644	1,6	16...18	»
3	10	103,4	90,8	4860	665	1550	3,9	16...26	»
13	11	83,7	83,7	7260	300	2800	2,1	18...20	»
10	12	75,7	75,7	4140	500	1520	1,1	18...20	»

уровней воды во всех постах установлены самописцы типа «Валдай». Конструкции водомерных постов позволяют измерять дренажный и поверхностный сток раздельно с большой дренажной системы, водосбор которой превышает 4 км^2, и с отдельных ее частей (13,2... 195,5 га). Кроме того, расположение водомерных постов в различных местах одной системы дает возможность получить более достоверные гидрологические характеристики в зависимости от ряда факторов (уклон поверхности, размер водосбора, экспозиция системы, почвогрунты и др.). Имея раздельные характеристики по дренажному и поверхностному стоку, легко получить данные по суммарному. При проектировании водомерных постов для измерения экстремальных характеристик по дренажному и поверхностному стоку должны быть учтены условия, исключающие подтопление водослива из нижнего бьефа во время паводка. На водомерных постах дренажной системы № 10 указанный перепад колеблется в пределах 0,5...1,2 м. Кроме того, в камерах или колодцах необходимы устройства (обычно задвижки) для опорожнения их от воды (чтобы очистить камеры от наносов, мешающих измерению стока). Месторасположение водомерных постов нужно подобрать так, чтобы ниже водослива был как можно больший

уклон поверхности. В противном случае водослив во время паводка будет подтоплен. Нижний бьеф водосливов укрепляют для защиты от подмыва.

Дренажная система № 10 соприкасается с системой № 3, в устьях которой сооружен ВП № 10, и системой № 9. На них измеряют только суммарный сток, так как поверхностную воду впускают через поглотители в дренажную сеть.

Ввиду того что на территории дренажной системы измеряют дренажный и поверхностный сток раздельно, отвод поверхностного стока с указанной системой предусмотрен по ложбинным бороздам (откосы 1:8), идущим вдоль коллекторов по самым низким местам долины. Параметры водосливов и ложбин определены гидравлическими расчетами. Водосливы для измерения поверхностного стока и магистральные коллекторы систем, где измеряют суммарный сток, рассчитывают на расход не менее однопроцентной обеспеченности. В противном случае невозможно измерить экстремальные характеристики стока. Указанная концентрация водомерных постов на одном дренированном массиве позволяет значительно снизить их эксплуатационные расходы. Десять водомерных постов, расположенных на территории более 5 км^2, обслуживают только два наблюдателя. Они наблюдают за 18-ю самописцами типа «Валдай», атмосферными осадками при помощи осадкомера Третьякова, промерзанием и оттаиванием почвогрунтов при помощи мерзлотомеров Данилина, а также измеряют температуру дренажной воды. На таком опытном участке по лимниграммам не только легко проводить анализ формирования поверхностного и дренажного стока, но и легко контролировать достоверность полученных результатов. Кроме того, удобно организовать воднобалансовые и другие (загрязнение поверхностых и дренажных вод, по выщелачиванию химических элементов и др.) исследования.

Опыт организации гидрологических исследований на территории дренажных систем Опытного хозяйства Литовской МИС может служить примером для проведения подобных исследований и в других республиках.

УДК 626.86:631.62

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В НЕДОСТАТОЧНО ИЗУЧЕННЫХ РЕГИОНАХ

И. С. НИКИТИН, кандидат технических наук
С. А. ПЕТУХОВ

Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

Расчетную обеспеченность осушения при проектировании систем площадью менее 2 тыс. га назначают согласно ВТР-П-8—76 в пределах 5...10 % в зависимости от сельскохозяйственного использования земель и расчетного периода, причем теоретическое обоснование норматива нигде не приведено. При больших площадях осушения рекомендуют обосновывать расчетную обеспеченность технико-экономическими расчетами, хотя методика их в существующих руководствах не указана. В настоящее время существует пять методик таких расчетов для условий Белорусской ССР, Прибалтики, Центрального и Северо-Западного районов Нечерноземной зоны РСФСР [1, 2, 3, 4]. Они предполагают привлечение достаточно подробного материала по водному и гидрологическому режимам осушаемых объектов, а также по их сельскохозяйственному использованию. В условиях Сибири и Дальнего Востока таких материалов недостаточно, и, кроме того, эти регионы по своим природно-климатическим условиям значительно отличаются от западных районов страны. Необходимо применение новых решений с привлечением современных инженерных расчетов [6].

Решение основано на генетико-статистическом методе. Суть его в том, что на основании коротких рядов полевых наблюдений на пунктах-аналогах за факторами водного, теплового и питательного режимов устанавливают зависимость их от условий формирования. Затем, применяя основные теоремы теории вероятности, выполняют расчеты по определению стока, уровня грунтовых вод, запаса влаги в почве, температурного, питательного режимов и урожайности за многолетний период. Это позволяет перейти от обеспеченности по стоку к расчетной обеспеченности режима работы осуши-

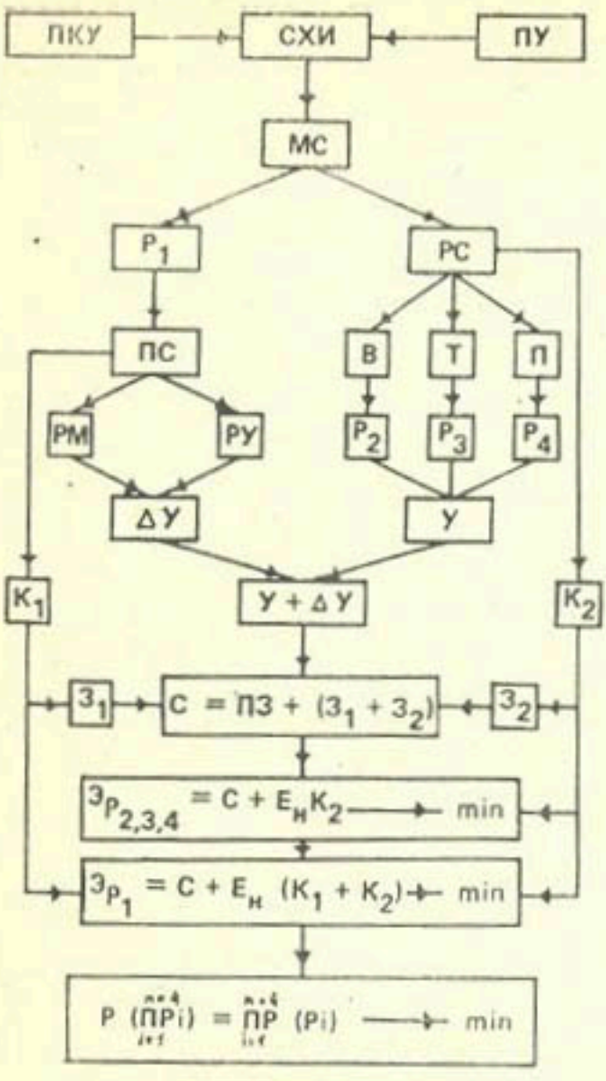


Рис. 1. Принципиальная схема выбора расчетной обеспеченности осушительных систем.

тельной системы в целом, чтобы интенсифицировать сельскохозяйственное использование мелиорируемых земель [5]. Под этим показателем принимают процент лет из многолетнего периода, в течение которых система не обеспечивает целесообразные технико-экономические параметры водного, теплового и питательного режимов осушаемых земель для проектируемого севооборота при минимуме приведенных затрат и нормативном коэффициенте экономической эффективности капитальных вложений.

Показатель обеспеченности режима работы осушительной системы находят на основании повариантного проектирования (рис. 1). По природно-климатическим (ПКУ) и производственным условиям (ПУ) устанавливают вид сельскохозяйственного использования (СХИ) осушаемых земель. Мелиоративная система (МС) должна обеспечить наиболее благоприятный режим, которого требуют возделываемые культуры. Он складывается из двух основных моментов: действия проводящей сети (ПС) по своевременному отводу избыточных вод и действия регулирующей сети (РС) на водный, тепловой и другие режимы. По вариантам обеспеченности стока (P_1) для проводящей сети определяют расчетные модули стока (РМ) и уровня воды в каналах. Они создают возможность своевременного проведения сельскохозяйственных работ в период половодий и паводков, а также обеспечивают безнапорную работу впадающей сети в межень. Несоответствие их потребностям ведет к задержке сева, сокращению периода вегетации и потерям урожая [ΔY]. Для каждого варианта обеспечен-

ности [P_1], например 2, 5, 10, 15, 25, 40, 50 %, подсчитывают стоимость проводящей сети, гидротехнических сооружений на ней и культуртехнических работ по всей системе. Назначают варианты регулирующей сети, которые создают водный [В], тепловой [Т] и питательный [П] режимы, соответственно характеризуемые обеспеченностями P_2, P_3 и P_4. По суммарному размеру урожая [$Y+\Delta Y$], а также эксплуатационным затратам находят себестоимость сельскохозяйственной продукции [C_i] для каждого из сочетаний создаваемого режима. Каждый вариант регулирующей сети характеризуется размером капитальных вложений [K_2 и K_1]. Сумма K_1+K_2, себестоимость продукции, нормативный коэффициент экономической обеспеченности определяют приведенные затраты [$Э_i$] каждого рассматриваемого варианта.

Расчетную обеспеченность регулирующей сети находят по формуле приведенных затрат [9]:

$$Э_{P_{2,3,4}} = C + E_н K_2 \longrightarrow \min,$$

где $Э_{г_{2,3,4}}$ — приведенные затраты, р/га; С — себестоимость сельскохозяйственной продукции, р/т; K_2 — капитальные вложения на строительство регулирующей сети, р/га; $E_н$ — нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности.

Для этого рассчитывают водный и соответствующий ему температурный режимы при разных обеспеченностях осадками вегетационного периода. Определяют по установленной зависимости урожайность и себестоимость продукции и затем минимум приведенных затрат, который укажет расчетную обеспеченность P_2 и соответствующую ей обеспеченность теплового режима P_3. Таким же путем предполагают искать значение P_4.

Расчетную обеспеченность проводящей сети находят по стоку основного расчетного периода также через минимум приведенных затрат. Капитальные вложения K_1 включают стоимость проводящей сети и культуртехнических работ.

$$Э_{P_1} = C + E_н(K_1 + K_2) \longrightarrow \min.$$

В результате расчетов находят четыре расчетные обеспеченности, которые определяют режим работы осушительной системы, причем по значению их произведения оценивают варианты проектируемой системы, мак-

симум указывает на технико-экономически целесообразный параметр регулирующей сети.

Осуществление предлагаемой схемы расчета комплексного показателя обеспеченности режима работы осушительной системы требует ряда инженерных вычислений, которые пока в практике проектирования применяют мало. В условиях Западной Сибири, когда наблюдений недостаточно, путь решения поставленной задачи может быть следующий.

Расчетный модуль стока водоприемников и проводящей сети при наличии данных находят по способам БелНИИМиВХ [7], а при недостатке или отсутствии данных о стоке используют СН 435—72. Режим уровней грунтовых вод находят согласно расчетам С. Ф. Аверьянова с привлечением вероятностных расчетов. В результате можно определить обеспеченность режима грунтовых вод при разных вариантах регулирующей сети. Режим влажности корнеобитаемой зоны устанавливают на основе результатов решения уравнения водного баланса с применением воднобалансовых коэффициентов [8]. Температурный режим осушаемых торфяников вычисляют по методу теплового баланса с использованием теплобалансовых коэффициентов и определением вероятностей температуры почвы [9]. Питательный режим осушаемых земель в инженерных расчетах пока не определяют. Можно предполагать, что разработка способа определения элементов этого режима сельскохозяйственных культур по коротким интервалам времени возможна на основе составления питательного баланса. Решение этого уравнения даст расчетные показатели и их вероятность для использования при инженерных расчетах.

Определить обеспеченность урожайности сельскохозяйственных культур можно на основе установления зависимости урожая от основных формирующих его факторов. Применение композиционного метода в этом случае позволяет, имея исходные данные, определить размер урожая для любого года в многолетии и тем самым найти вероятность расчетного. Себестоимость получаемой продукции, пока не накоплен фактический материал, находят по технологическим картам возделывания сельскохозяйственных культур на осушаемых землях. Например, для условий БССР Г. М. Лычем установле-

на устойчивая связь между урожаем и его себестоимостью [10].

Пример расчета. Гидрометрические данные по осушаемому болоту Черное на севере Омской области для расчета и построения гидрографов стока отсутствуют. В качестве аналога принята р. Большой Лев с периодом наблюдений 21 год. Расчеты гидрографов стока выполнены по СНиП 435—72 с использованием параметров аналога. В результате получены расчетные расходы весеннего половодья обеспеченностью 10, 15, 25, 30, 40 %. Институтом Омскгипроводхоз подсчитаны капитальные вложения на строительство проводящей сети по принятым вариантам стока. В зависимости от обеспеченности они меняются в пределах 500...394 р/га. Стоимость культуртехнических работ составляет 264 р/га. Стоимость строительства открытой регулирующей сети с расстоянием между каналами 100...200 м колеблется в пределах 60...30 р/га, а закрытого дренажа при расстоянии между дренами 20 м и глубине их заложения 1,2 м — 174 р/га. На основании расчетов определены значения уровней грунтовых вод, запасов влаги в 0,3-метровом слое торфа и температуры почвы 0,2-метрово-

1. Уровни грунтовых вод (м) за вегетационный период (01.05...01.07) при следующей обеспеченности

Расстояния между дренами и каналами, м	Обеспеченность, %						
	2	10	25	50	75	90	98
20 (дренаж)	0,40	0,53	0,58	0,64	0,72	0,80	0,85
100 (каналы)	0,30	0,44	0,46	0,53	0,62	0,70	0,79
150 (каналы)	0,32	0,39	0,45	0,49	0,58	0,61	0,71
200 (каналы)	0,26	0,39	0,44	0,49	0,55	0,64	0,72

2. Запасы влаги (мм) в 0,3-метровом слое торфа за вегетационный период при следующей обеспеченности

Расстояния между дренами и каналами, м	Обеспеченность, %						
	2	10	25	50	75	90	98
20 (дренаж)	205	197	192	184	176	171	166
100 (каналы)	207	200	196	188	180	174	155
150 (каналы)	214	206	197	193	182	178	175
200 (каналы)	220	208	204	197	190	185	182

3. Температура (°С) 0,2-метрового слоя торфа за вегетационный период при следующей обеспеченности

Расстояния между дренами или каналами, м	Обеспеченность, %						
	2	10	25	50	75	90	98
20 (дренаж)	10,2	10,0	9,5	9,2	8,8	8,6	8,3
100 (каналы)	10,5	10,2	9,7	9,4	9,0	8,7	8,4
150 (каналы)	10,6	10,3	9,9	9,5	9,1	8,9	8,7
200 (каналы)	10,6	10,2	9,9	9,6	9,3	9,0	8,7

го корнеобитаемого слоя для вегетационного периода многолетних трав. Результаты приведены в таблицах 1, 2, 3.

На основе этих показаний вычислена урожайность многолетних трав по эмпирическому уравнению следующего вида:

$$Y = 10{,}01\,W - 0{,}0121\,W^2 - 0{,}0081\,W\Sigma t_n + 0{,}0011\,(\Sigma t_n)^2 - 909,$$

где Y — урожайность многолетних трав на сено, т/га; W — средняя за вегетацию влажность 0,3-метрового слоя торфа, мм: Σt_n — сумма температур почвы 0,2-метрового слоя торфа, °С.

Уравнение получено на ЭВМ МИНСК-32 по программе, составленной Л. Г. Поповым. Зависимость действительна при интервале влагозапасов 179...242 мм, сумме температур торфа 565...750 °С, урожайности 1,98...5,92 т/га. Коэффициент множественной корреляции равен 0,867. Связь между расчетным и фактическим урожаем существенна при 0,99%-ном уровне вероятности.

Взаимосвязь между себестоимостью и урожайностью определена методом парной корреляции:

$$C = 0{,}06 + (105 \cdot 6/Y),$$

4. Расчетная обеспеченность режима работы осушительной системы в условиях подтаежной зоны Западной Сибири, %

Расстояния между дренами или каналами, м	Максимум весеннего стока (P_1)	Запас влаги в 0,3 м слое торфа (P_2)	Температура торфа в 0,2 м слое (P_3)	Общая ($P = P_1P_2P_3$)
20 (дренаж)	22	15	21	0,7
100 (каналы)	24	21	15	0,8
150 (каналы)	28	25	26	1,8
200 (каналы)	30	28	74	6,2
250 (каналы)	30	32	61	5,8

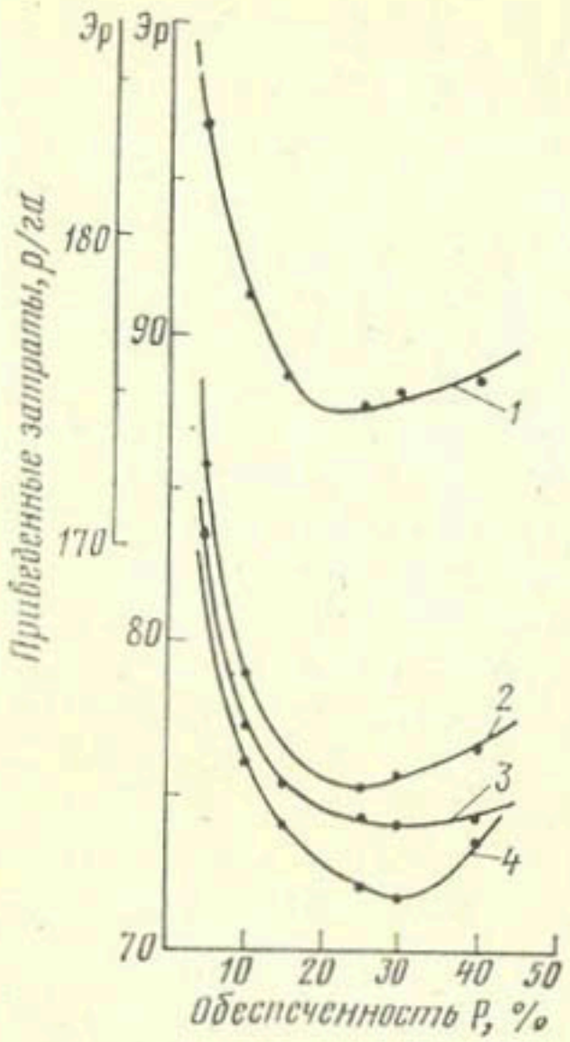


Рис. 2. График для определения расчетной обеспеченности максимальных расходов весеннего половодья при разных способах осушения:

1 — дренаж с расстоянием между дренами 20 м; *2, 3, 4* — открытая сеть с расстояниями между каналами соответственно 100, 150, 200 м.

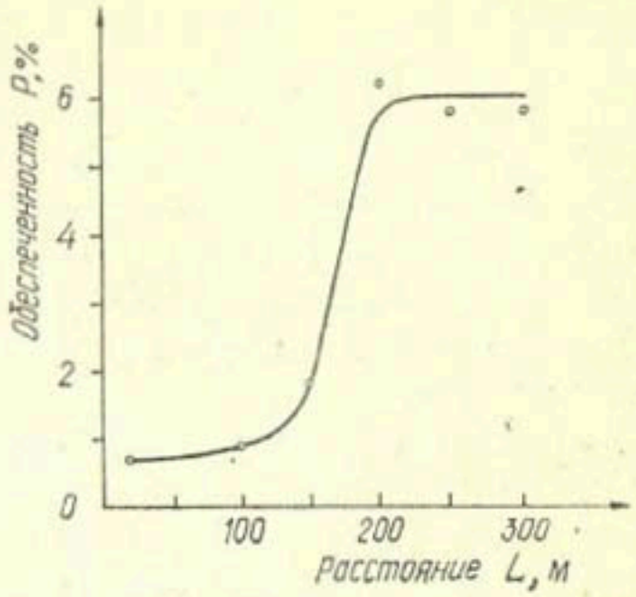


Рис. 3. Выбор параметров регулирующей сети при возделывании многолетних трав.

где С — себестоимость, р/т; *У* — урожайность многолетних трав, т/га.

Расчет себестоимости выполнен по технологическим картам с использованием региональных расценок на производство многолетних трав. Урожайность многолетних трав по вариантам обеспеченности и регулирующей сети меняется в пределах 20...50 т/га, а себестоимость — в пределах 0,22...0,51 р/т. Как показывают отчеты совхоза «Большеуковский» Большеуковского района за 1974...1975 гг., фактическая себестоимость находится в пределах 0,33...0,42 р/т при урожайности 1,8...2,5 т/га. Приведенные затраты вычислены при нормативном коэффициенте экономической эффективности $E_н = 0{,}1$. Результаты расчетов показаны в таблице 4 и на рисунках 2 и 3.

Минимум приведенных затрат по системе в целом при разных вариантах регулирующей сети соответствует расчетной обеспеченности максимума весеннего стока в пределах 22...30 %. Минимум приведенных затрат по вариантам регулирующей сети соответствует расчет-

ной обеспеченности запаса влаги в торфе в пределах 15...28 % и температуре почвы — 15...74 %.

Расчеты параметров регулирующей сети на основе приведенных затрат по водному и тепловому режимам показывают, что для рассматриваемых условий при одноукосном возделывании многолетних трав наибольшее предпочтение следует отдавать осушению открытой сетью с расстоянием 150 м и глубиной заложения 1,2 м. Только в этом случае общая обеспеченность достигает минимума.

Таким образом, разработанный способ выбора расчетной обеспеченности осушительных систем позволяет получать ее в результате технико-экономического сравнения вариантов. Все это дает возможность оценить создаваемый при разных вариантах сети водно-тепловой режим осушаемых почв, учесть региональные особенности объектов осушения и, несомненно, приведет к улучшению качества проектных решений в осушительных мелиорациях.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шебеко В. Ф., Лыч Г. М., Закржевский П. И. и др. Технико-экономическое обоснование обеспеченности максимальных расходов весеннего половодья при расчете осушительных каналов и водоприемников. — В кн.: Мелиорация переувлажненных земель, т. XX. — Минск: Урожай, 1972, с. 312. 2. Свиклис П. Б. О расчетной обеспеченности максимальных расходов водоприемников и водопроводящих каналов на территории Латвийской ССР. — В кн.: Гидротехника и мелиорация Латвийской ССР, т. XV, Елгава, 1970, с. 3...34. 3. Чейчис И. И. Определение расчетной обеспеченности максимальных расходов. — Режим осушения и методика полевых научных исследований. — М.: Колос, 1971, с. 117...133. 4. Шебеко В. Ф., Брагилевская Э. А. Указания по построению расчетных гидрографов весеннего половодья рек БССР. — Минск, 1978, с. 3—21. 5. Лыч Г. М., Бусел И. П., Кулеш С. В., Мышко Р. А. Технологические карты по возделыванию культур на осушаемых торфяниках. — Минск: Урожай, с. 126.

УДК 631.6:626.86.

ВЫБОР ГИПОТЕЗЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТВОДА ГРУНТОВЫХ ВОД ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПОЛЕВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА

П. С. ПХАКАДЗЕ, кандидат технических наук

Грузинский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

Новые проблемы, стоящие перед мелиорацией, невозможно решить без дифференцированного учета почвенно-мелиоративных, гидрогеологических, гидрологических и других особенностей мелиорируемых земель.

Характер выпадения и продолжительность атмосферных осадков во многих районах осушения различны. Малая проницаемость подпахотных горизонтов и высокое положение капиллярной каймы в зонах с обильными и продолжительными осадками поддерживают в течение длительных периодов предельное насыщение корнеобитаемой толщи и требуют особого подхода при решении вопросов инженерных мероприятий. Зоны с обильными и продолжительными осадками широко распространены. Но несмотря на широкое распространение и принципиальные отличия мелиоративных условий, до настоящего времени вопросы мелиорации в этих зонах решали по рекомендациям, разработанным для других зон.

Главное направление технического прогресса сегодня — повышение удельного веса закрытого дренажа, однако при определении его оптимальных параметров следует придерживаться принципа дифференцированного подхода. Оценка типичности опытных участков и обоснование их размеров для решения актуальных вопросов осушительной мелиорации, особенно в районах межгорных депрессий и пойменных равнин устьевых участков крупных водных артерий, сложны, и практически их решают условно, игнорируя ряд определяющих факторов. Каждая научная тема должна целеустремленно сочетать теоретический поиск, являющийся основой для успешного решения задач, вытекающих из

потребностей производства, и полевые эксперименты, являющиеся первой проверкой правильности принятой гипотезы и теоретических решений.

Следовательно, основа мелиоративных исследований — гипотеза, которая определяет изучаемые процессы, расчетные схемы явлений и выбор объектов для полевых исследований с учетом требований типичности условий данной мелиоративной зоны и материалов теоретических исследований.

Хорошим примером, подтверждающим необходимость дифференцированного подхода к выбору гипотезы и расчетной схемы для решения вопросов мелиорации, служит избыточно увлажненная Колхидская низменность. Наиболее продолжительные осадки выпадают в зимние и осенние месяцы. Летом повторяемость осадков продолжительностью более суток незначительна. Поэтому от длительного затопления чаще страдают многолетние насаждения, но это не исключает возможность затоплений и в летние месяцы, так как выпадение осадков с интервалами 1...6 ч в любой сезон года может охватить 6...7 сут, а в отдельных случаях — до 20 сут. При таком длительном затоплении корнеобитаемой толщи единственным поставщиком кислорода к корневым ситемам будет лишь фильтрационный поток. Реальность снабжения корневых систем кислородом при правильном подборе интенсивности отвода грунтовых вод определяют, во-первых, обогащенность дождевой воды воздухом и, во-вторых, то, что в силу закона Дальтона при растворении в воде воздуха соотношение между составляющими его газами изменяется в сторону увеличения содержания кислорода и углекислого газа. В частности, при 0 °С растворенная в воде смесь газов воздуха содержит (по объему) 34,9 % кислорода, 62 % азота и недеятельных газов и 2,2 % углекислого газа (содержания в обыкновенном воздухе соответственно 21; 78,96 и 0,04 %).

Следовательно, в зонах с продолжительными осадками основная задача устройства закрытого дренажа сведена к определению его параметров, обеспечивающих в критические периоды необходимую интенсивность отвода грунтовых вод, гарантирующую снабжение корневых систем кислородом по всей глубине расположения их основной массы. Эту глубину в дальнейшем будем называть нормой интенсивного осушения.

Сложные задачи по определению междренных расстояний для объектов с различными гидрогеологическими и мелиоративными обстановками обычно решают методами математической физики. Эти методы дают возможность получить прямое решение задачи при напорной фильтрации. В случае же свободного (безнапорного) движения грунтовых вод, когда контур области движения задан лишь в некоторой его части, необходим ряд дополнительных условий, которые приводят к особым трудностям, применению разных допущений, схематизации и использованию сложного математического аппарата, а получаемые результаты, особенно при расчете сельскохозяйственного дренажа, практически малоприемлемы.

Другие приемы решения задач неустановившейся фильтрации требуют линеаризации основного дифференциального уравнения планово-плоской фильтрации. Эти решения, полученные путем использования того или иного способа линеаризации, до настоящего времени в осушительной мелиорации не нашли практического применения, так как не отражают реальных гидрогеологических условий работы дренажа.

Схема расчета, предложенная А. Н. Костяковым, в которой рассмотрено более или менее стабильное положение депрессионной кривой, наиболее реально отражает условия работы сельскохозяйственного дренажа. Основной критерий расчета — создание условий, при которых интенсивность оттока инфильтрационных вод была бы не менее интенсивности их притока в зону грунтовых. При решении задачи принимают, что переменное (и немалое) значение $\beta = \text{const}$.

Принципиальных отличий по сравнению с отечественным опытом нет и в зарубежной практике осушения. Там в определении междренных расстояний намечаются три основные тенденции: выбор на основании опыта эксплуатации аналогичных систем (США), назначение в зависимости от механического состава осушаемых почвогрунтов (немецкие и польские инструкции) и расчеты по различным формулам в зависимости от коэффициента фильтрации почвогрунта (Голландия, США и др.). Однако принятые методы расчета настолько приближенные, что для их уточнения широко используют лабораторные и полевые опыты.

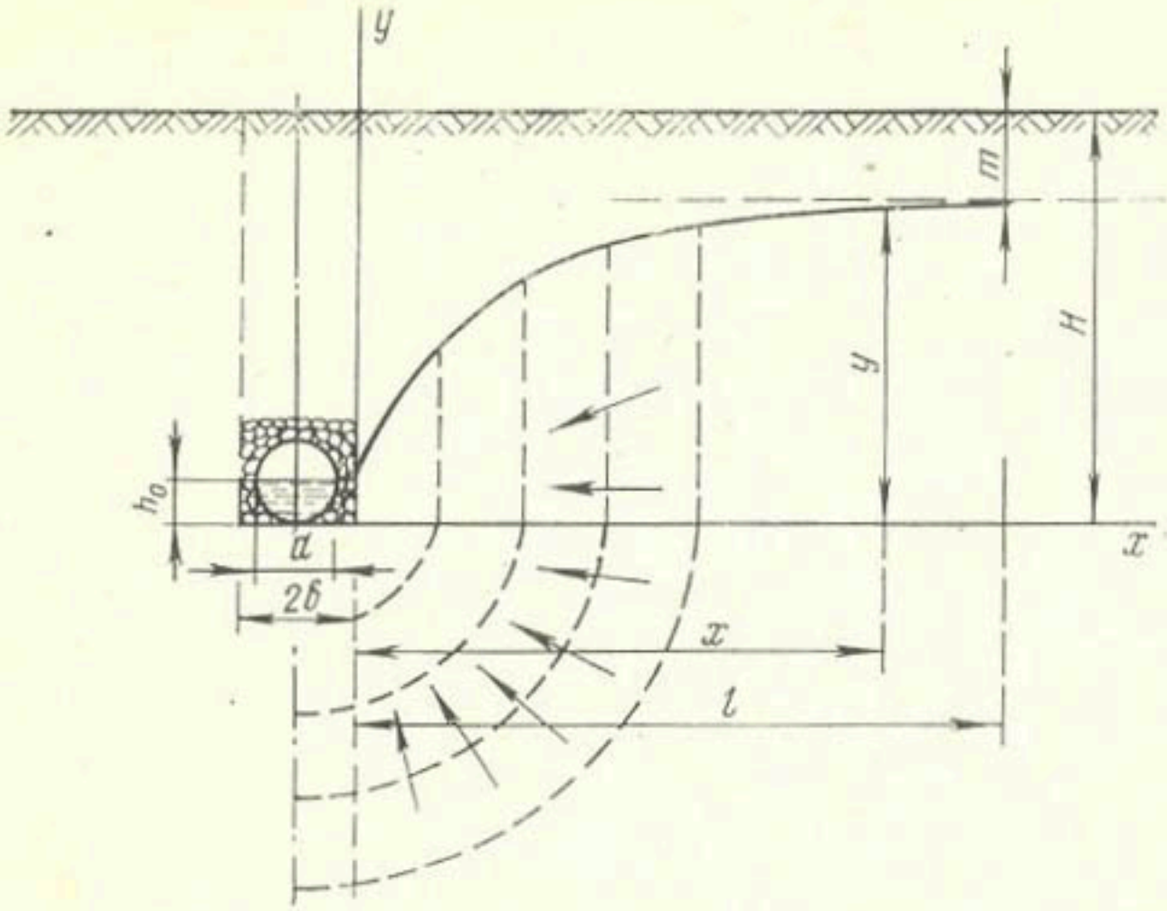


Рис. 1. Схема расчета закрытого дренажа в зонах с продолжительными осадками.

Расхождение между расчетными и экспериментальными значениями междренных расстояний вынудили авторов уточнять полученные расчетные зависимости вводом разных констант, определение которых обычно требует теоретического обобщения большого цикла режимных наблюдений и лабораторных экспериментов.

Учитывая изложенное, ГрузНИИГиМ дает решение в некоторой степени видоизмененной схемы А. Н. Костякова и обосновывает метод расчета основных параметров закрытого дренажа. Решение содержит лишь основные параметры, непосредственно определяющие междренное расстояние. Междренное расстояние рассчитывают по зависимости (рис. 1):

$$Al_{\text{п}}\left(h_0+\frac{al}{K}+b+m_1 l\right)+Bl_{\text{п}}\left(h_0+\frac{al}{K}+b+m_2 l\right)+$$

$$+l_{\text{п}}\left(h+\frac{al}{K}+b\right)=0. \qquad (1)$$

Здесь параметра A, B, a, m_1 и m_2 определяют из условий:

$$A=(\pi+n)/-2n;\quad B=(\pi-n)/2n;$$
$$m_1=-1/4(\pi-n);\quad m_2=-1/4(\pi+n);$$

$$a=1/2\pi\cdot K \text{ и } n=\sqrt{\pi^2-16P/K}, \qquad (2)$$

где $2(l+b)$ — междренное расстояние, м; $2b$ — ширина фильтрующей засыпки (диаметр дренажных трубок), м; K — коэффициент фильтрации, м/сут; h — падение депрессионной линии по длине, м; P — расчетная интенсивность отвода (обновления) грунтовых вод, м/сут; h_0 — глубина воды в дрене, м; π — отношение длины окружности к ее диаметру.

$$K>K_{кр}=1{,}6\,P. \qquad (3)$$

Формула (1) включает единственный общепринятый коэффициент K. Вычисления выполнены на ЭВМ. Определены расстояния для различных значений коэффициента фильтрации. Сопоставления их с междренными расстояниями, практикуемыми в СССР и за рубежом, подтвердили полную приемлемость формулы для практических расчетов (рис. 2). Это подтверждают также экспериментальные данные, полученные на опытных участках «Абаша» и «Хорга».

Перечень принятых и наиболее распространенных расчетных зависимостей (рис. 2) убеждает, что в настоящее время для различных зон существует ряд важнейших решений, которые можно успешно использовать для определения основных параметров дренажа при проектировании и обоснования полевых экспериментов. Однако входящие в расчетные зависимости параметры необходимо подбирать с учетом принятой гипотезы и расчетной схемы. Предложенная зависимость (1) содержит единственный параметр (P), подлежащий подбору. Значение его определяют, используя одну из трех гипотез, учитывающих в основном всевозможные расчетные схемы осушения: первая — не допускает подъем грунтовых вод выше нормы осушения; вторая — требует в определенный промежуток времени снизить поднявшийся в результате выпадения осадков уровень грунтовых вод до нормы осушения; третья — учитывает специфику зон с продолжительными осадками и допускает содержание сельскохозяйственных культур в условиях длительного затопления.

Если используют первую гипотезу, то принимают, что количество воды, поступившей в дрену, равно количеству воды, просачивающейся с поверхности почвы. Тогда расчетную интенсивность отвода грунтовых вод следует

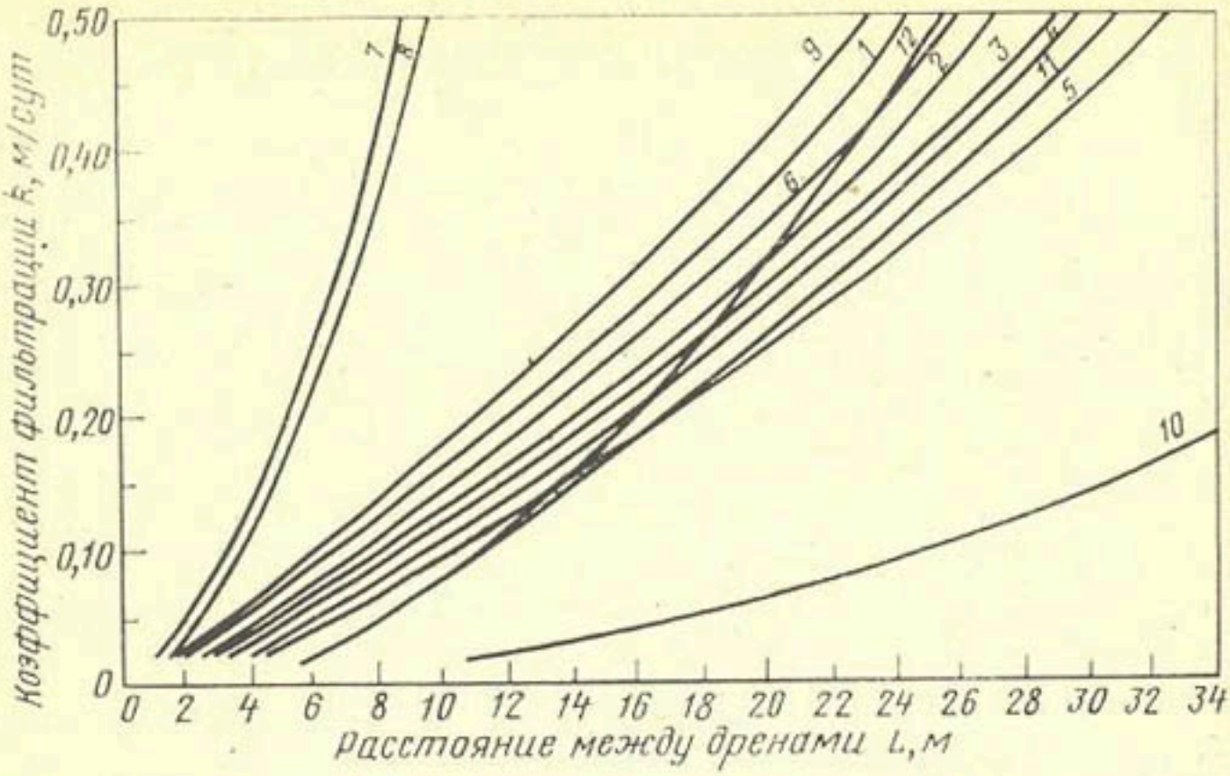


Рис. 2. Расчетные значения междренных расстояний, рекомендуемые различными авторами:

1 — по формуле А. Н. Костякова при $T=\infty$; *2* — по формуле В. В. Ведерникова при $T=\infty$; *3* — по формуле С. Ф. Аверьянова при $T=\infty$; *4* — по формуле А. И. Ивицкого при $T=\infty$; *5* — по формуле С. В. Хоогхаудта при $T>0{,}25\ L$; *6* — по формуле С. Ф. Аверьянова при $T=20$ м; *7* — по формуле Кене при $T=0$; *8* — по формуле Роте при $T=0$; *9* — по формуле Н. У. Хаммеда при $T=\infty$; *10* — по формуле В. В. Доннана при $T_1=T-H$; *11* — по формуле П. С. Пхакадзе при $T=\infty$; *12* — по формуле П. С. Пхакадзе при $T=\infty$ с учетом $P=0{,}02K+0.0076$.

определять с учетом кривой инфильтрации или лизиметрических данных.

С учетом второй гипотезы расчетную среднюю интенсивность отвода грунтовых вод определяют по формуле:

$$P=\mu\Delta H, \qquad (4)$$

где μ — коэффициент водоотдачи осушаемого грунта; ΔH — расчетное значение суточного снижения уровня грунтовых вод, м/сут.

Третья гипотеза основана на снабжении корневых систем кислородом, поставляемым фильтрационным потоком. Анализ материалов изучения гидрологического действия дренажа позволил установить необходимость в зонах с продолжительными осадками непрерывного роста расчетной интенсивности отвода грунтовых вод P по мере увеличения коэффициента фильтрации. Последнее обусловлено увеличением доли расхода воды, просачиваемой в непосредственной близости к дрене и над ней, при увеличении междренных расстояний. Не-

учет этого может привести к недопустимо малым скоростям просачивания в середине междрений.

Установлена функциональная связь между коэффициентом фильтрации и интенсивностью отвода (обновления) грунтовых вод применительно к зонам с продолжительными осадками:

$$P=0{,}02K+0{,}076. \quad (5)$$

Аналогичная эмпирическая связь существует между интенсивностью отвода грунтовых вод и глубиной закладки дрен, так как рост последней также способствует увеличению междренных расстояний.

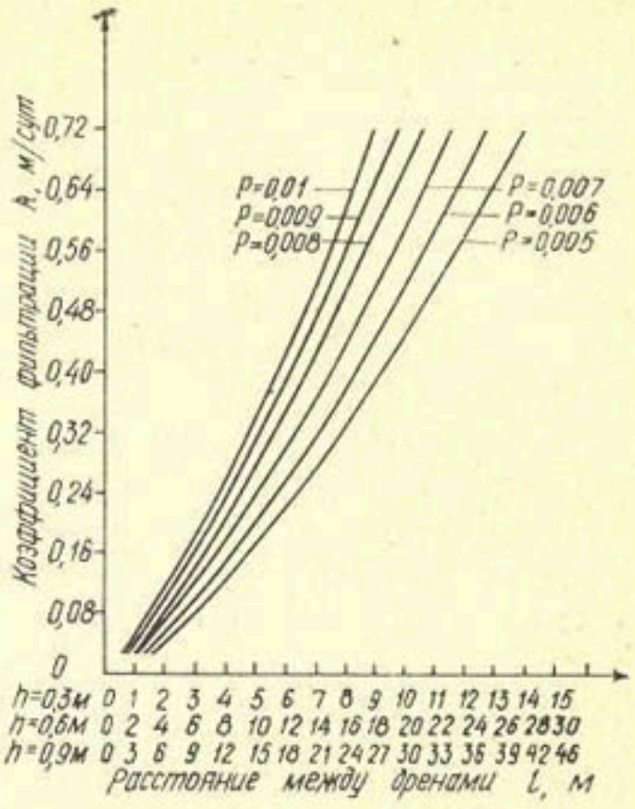


Рис 3. Изменение параметра l в зависимости от коэффициента фильтрации K и интенсивности питания P в формуле $L=2(l+b)$.

Расчетные значения междренных расстояний, определенные по зависимости (1) с учетом первой и второй гипотезы, приведены на рисунке 3. Для одинаковых значений K и P междренные расстояния растут пропорционально росту перепада напора:

$$l_i=h_i\,l_0/h_0\,, \quad (6)$$

где l_i и l_0 — междренные расстояния, соответствующие перепадам напора h_i и h_0, м.

Расчетный перепад напора следует определять из следующих условий (рис. 1):

а) для первой и третьей гипотезы

$$h=H-h_0-m; \quad (7)$$

б) для второй гипотезы

$$h=h_{ср}=H-h_0-0{,}5\,m, \quad (8)$$

где H — глубина закладки дрен, м; m — норма интенсивного осушения, м.

В маловодопроницаемых грунтах зон с продолжительными осадками необходимо дополнительно опреде-

лять оптимальные глубины закладки дрен и оптимальные нормы интенсивного осушения, выбирать конструкции дренажа с учетом усиления интенсивности отвода (обновления) грунтовых вод, особенно в середине междрений, и др. Из необходимости увеличения расчетной интенсивности отвода грунтовых вод при увеличении коэффициента фильтрации и глубины закладки дрен непосредственно вытекает то, что в зонах с продолжительными осадками увеличение глубины закладки дрен не может быть поводом ощутимого увеличения междренных расстояний. Поэтому осушение более глубоких слоев, стабильность и большие объемы стока при глубоком дренаже, приводящие к высокому эффекту в других районах, в зонах с продолжительными осадками и ограниченными нормами осушения не гарантируют эффективную работу сельскохозяйственного дренажа из-за необходимости интенсивного отвода грунтовых вод при выпадении и после прекращения осадков, чем характеризуется дренаж средней глубины: $H=1{,}1\ldots1{,}3$ м. Возможность ограничения нормы интенсивного осушения обусловлена тем, что во-первых, основная масса корневых систем большинства культурных растений расположена в первом полуметре, а во-вторых, запас продуктивной воды в слое 0...50 см с учетом капиллярной подачи с уровня грунтовых вод в большинстве случаев обеспечивает нормальное развитие культур на протяжении 20 сут и более засушливого периода, редкого в субтропических зонах. Поэтому в зонах с продолжительными осадками нет необходимости создавать оптимальные условия для сельскохозяйственных культур в глубоких слоях почвы, а за норму интенсивного осушения следует принять толщу, в которой расположена основная масса корневых систем, — 0,2...0,25 м для однолетних культур и 0,5 м для многолетних. Особую роль приобретает засыпка нижней части дренажных траншей материалом повышенной водопроницаемости (фильтрующая засыпка). Это один из важнейших конструктивных элементов, усиливающих дренирующую способность и равномерность осушения малопроницаемых грунтов. Анализ гидрологического режима почвогрунтов в типичных районах Колхидской низменности полностью подтверждает высокую эффективность дренажа с фильтрующей засыпкой и необходимость ее устройства при значении коэффициента фильтрации $K<0{,}05$ м/сут. Устройство

фильтрующей засыпки исключает многие явления, отрицательно влияющие на нормальную работу дренажа:

увеличивает диаметр дрены и, следовательно, интенсивность отвода (обновления) грунтовых вод;

гарантирует сохранение падения напора в плоскости дрен и тем самым поступление воды от всей области движения при наличии полного подпора над дреной;

устраняет создаваемое вокруг дренажных трубок потенциальное движение с большим гидравлическим уклоном;

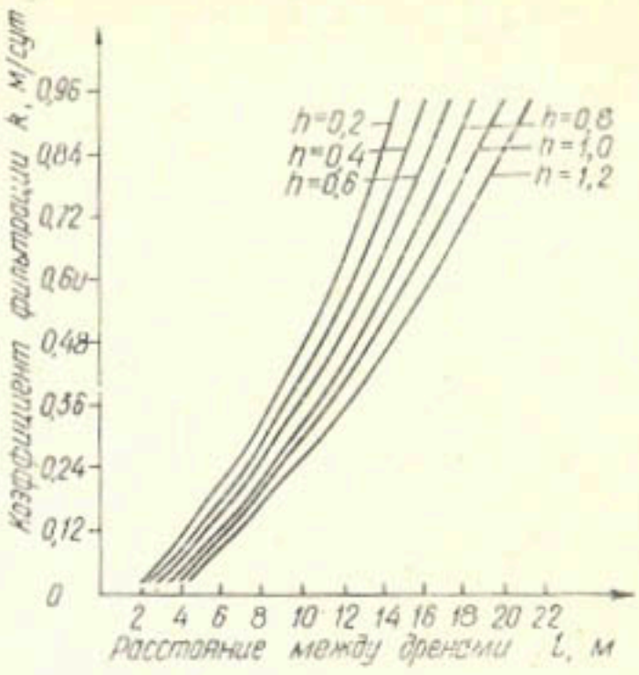


Рис. 4. Изменение параметра l в зависимости от коэффициента фильтрации K и перепада напора h с учетом интенсивности $P=0{,}02K+0{,}0076$.

способствует быстрой разгрузке грунтовых вод над дреной и создает более благоприятное общее течение фильтрационного потока, сопровождающегося ослаблением суффозии в грунтах, характеризующихся малой фильтрационной устойчивостью и снижением механического заиления дренажных линий. Не снижая важность других перечисленных положительных сторон, гарантированное поступление воды от всей области движения в достаточной мере определяет необходимость устройства фильтрующей засыпки в малопроницаемых грунтах, особенно в зонах с продолжительными осадками.

Графики (рис. 4), построенные по зависимости (1) с учетом специфических особенностей зон с продолжительными осадками, и сопоставление их с аналогичными для других зон (рис. 3) доказывают правильность и целесообразность дифференцированного подхода к определению междренных расстояний в различных зонах осушения.

УДК 631.62

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ПОЧВОГРУНТОВ

Э. А. БИШОФ, кандидат технических наук
Ю. П. ЖЕГАЛЕВ

Северный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

И. М. НЕСТЕРЕНКО, кандидат технических наук

Институт биологии Карельского филиала АН СССР

Развитие мелиорации земель в северных и северо-восточных районах Нечерноземной зоны РСФСР, а также в Сибири и на Дальнем Востоке требует детального изучения теплового режима осушаемых почвогрунтов и, в частности, глубины их сезонного промерзания для обоснования конструкций мелиоративных систем.

Выпускаемый в настоящее время мерзлометр Данилина для этих целей малопригоден из-за невысокой точности измерений и необходимости устройства специальных мостков для обеспечения сохранности снегового покрова, а определение глубины промерзания бурением сопряжено с большими затратами труда. В связи с этим возникает необходимость в разработке простых, достаточно точных и надежных в эксплуатации мерзлотомеров.

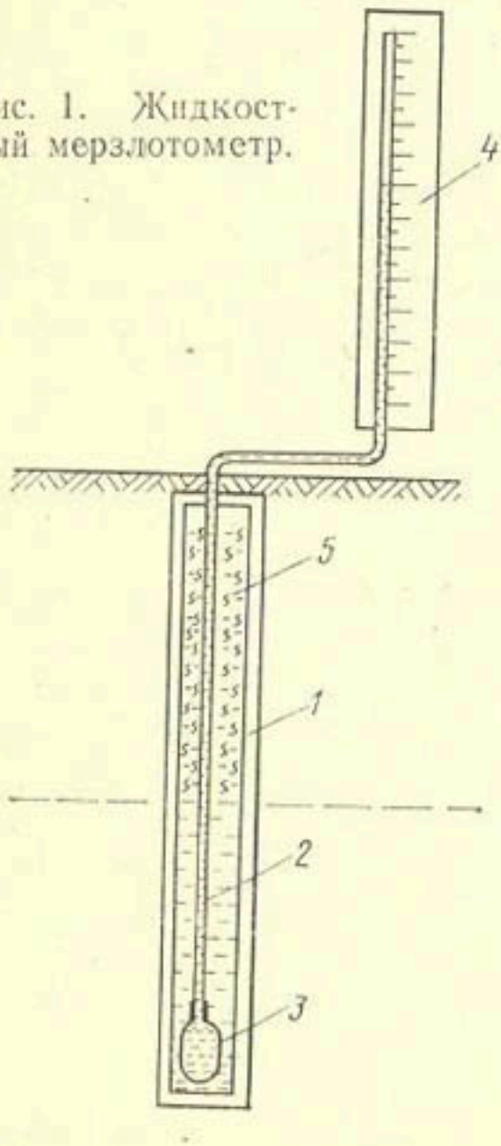


Рис. 1. Жидкостный мерзлотометр.

Действие первого мерзлотомера (рис. 1), разработанного лабораторией СевНИИГиМ и отделом гидрологии Карельского филиала АН СССР, основано на явлении увеличения объема воды при замерзании на 8,3 % от исходного. Он состоит из помещаемой в скважину, закрытой с обоих концов трубы 1, внутри расположена трубка 2, нижний конец кото-

рой соединен с легкодеформируемым резиновым или пластмассовым баллоном 3, а верхний пропущен через заглушку в трубе и соединен с указателем глубины промерзания 4, представляющим собой прозрачную трубку, снабженную шкалой. Труба 1 заполнена водой, а трубка 2, баллон 3 и указатель 4 — незамерзающей жидкостью. С появлением слоя мерзлоты в почве соответствующий ему столб воды в трубе 1 превратится в лед, что вызовет вытеснение незамерзающей жидкости из баллона 3 и подъем ее уровня в указателе 4, по шкале которого производят отсчет глубины промерзания. Труба 1 и трубка 2 должны иметь длину, превышающую максимальную глубину промерзания почвогрунтов в той местности, где проводят измерения, на 20...30 см, и быть изготовлены из малотеплопроводного материала, например пластмассы. В качестве незамерзающей жидкости можно использовать антифриз, тормозную жидкость и др., желательно с минимальным коэффициентом объемного температурного расширения. Заполнять трубу 1 можно как дистиллированной водой (мерзлотомер покажет глубину проникновения в почву изотермы 0°С), так и водой, взятой из водомерной скважины на исследуемом участке (мерзлотомер даст показания, близкие к глубине промерзания почвы).

Для изготовления мерзлотомера наиболее применимы пластмассовые трубы с внутренним диаметром 15...25 мм и трубки наружным диаметром 4...6 мм. Внутренний диаметр прозрачной трубки указателя определяют расчетом:

а) вычисляют площадь поперечного сечения внутренней полости мерзлотомера:

$$F_1 = \pi (d_1^2 - d_2^2)/4,$$

где d_1 — внутренний диаметр трубы, см; d_2 — наружный диаметр трубки с незамерзающей жидкостью, см;

б) при максимальной глубине промерзания определяют значение приращения объема замерзшей воды:

$$\Delta V = 0{,}083 F_1 H_{max}, \text{ см}^3;$$

в) рассчитывают значение внутреннего диаметра прозрачной трубки указателя:

$$d_3 = \sqrt{4\Delta V / \pi H_{max} \delta}, \text{ см},$$

где δ — модуль шкалы указателя, $\delta = l_{шк}/H_{max}$, который принимают, исходя из желаемой длины шкалы $l_{шк}$.

Если подобрать трубку для указателя с нужным диаметром невозможно, то необходимо вычислить реальную длину шкалы:

$$l_{шк} = 4\Delta V/\pi d_3^2, \text{ см}$$

и реальное значение модуля шкалы:

$$\delta = 4\Delta V/\pi d_3^2 H_{max}, \text{ см}.$$

Указатель мерзлотомера может быть совмещен со снегомерной рейкой, устанавливаемой неподалеку от мерзлотомера. В этом случае модуль и длину шкалы следует выбирать с таким расчетом, чтобы наблюдатель мог легко взять отсчет, находясь на расстоянии 1,5...2 м от указателя, во избежание нарушения снегового покрова. Мерзлотомер был испытан в 1978... 1981 гг. в ОПХ СевНИИГиМ и на агрометеорологической станции Апатиты Мурманской области. Максимальные погрешности по сравнению с контрольными замерами глубины промерзания бурением составили 3...5 см.

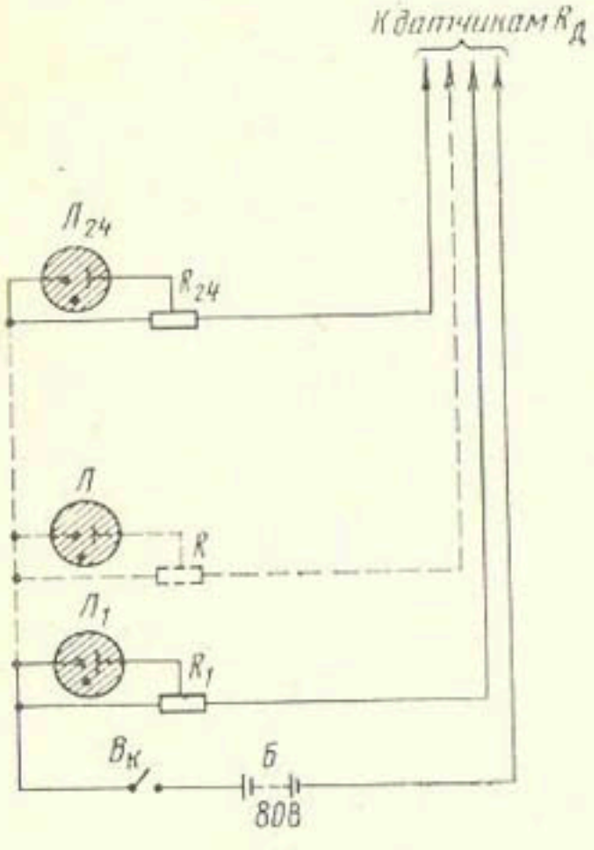


Рис. 2. Схема указателя глубины промерзания электрического мерзлотомера:

$Л_1 \ldots Л_{24}$ — неоновые лампочки; $R_1 \ldots R_{24}$ — переменные сопротивления, 200 кОм; Б — батарея; $В_к$ — выключатель.

Принцип действия второго мерзлотомера основан на общеизвестном свойстве почвогрунтов резко уменьшать электропроводность при промерзании. В качестве датчиков используют электроды из нержавеющей стали, а в качестве измерителя — указатель с неоновыми лампочками, схема которого приведена (рис. 2). В схеме в общую цепь включены батарея Б, датчики $R_д$ и неоновые лампочки, шунтированные переменными сопротивлениями R_1, R_2, R_3 и др. Сопротивления шунта и датчика образуют делитель напряжения, благодаря чему при малых значе-

ниях R_g (талый грунт) на каждую лампочку подается напряжение больше напряжения зажигания и она загорается. При увеличении сопротивления (мерзлый грунт) напряжение на лампочках будет меньше напряжения зажигания и они гаснут. Поскольку значение электропроводности и его изменение при промерзании в различных почвогрунтах различны, шунтирующее сопротивление принято переменным для того, чтобы можно было установить начало зажигания в зависимости от электропроводности талого грунта. Датчики монтируют парами в гнездах на пластмассовой трубе. Теплопроводность материала трубы должна быть ниже теплопроводности почвы, с тем чтобы вблизи мерзлотомера не создавался искусственный тепловой режим. Расстояния между электродами в каждой паре — 0,5 ... 1,0 см, а расстояния между парами выбирают в зависимости от необходимой точности измерений глубины промерзания и ее максимально возможного значения. Ко всем электродам с внутренней стороны трубы припаивают тонкие провода, изолированные друг от друга и от внешней среды. Провода выводят в разъем верхней части трубы.

После установки мерзлотомера в грунт необходимо отрегулировать указатель. Для этого подбором значений шунтирующих сопротивлений определяют момент зажигания неоновой лампочки в талом грунте. Мерзлотомер устанавливают в заранее пробуренную скважину меньшего диаметра с таким расчетом, чтобы электроды плотно прилегали к грунту.

Глубину промерзания определяют следующим образом: наблюдатель присоединяет указатель к разъему мерзлотомера, за счет этого каждая лампочка указателя включается в цепь с соответствующей ей парой электродов. Загоревшиеся лампочки покажут зону талого грунта, а негорящие — зону мерзлоты.

Мерзлотомер испытывали в течение двух лет на Убинской ОМС Минводхоза РСФСР. Он показал хорошую точность и надежность в работе.

УДК 628.367

О НЕКОТОРЫХ ТРУДНОСТЯХ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

И. В. МИНАЕВ, кандидат технических наук

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт мелиорации и водного хозяйства

Проведенный эксперимент в общем случае позволяет получить массив чисел. Результат эксперимента в виде строки, таблицы (или таблиц) чисел может дать неполное представление об изучаемом явлении, связи между явлениями или параметрами, обычно требуется дальнейшая обработка данных. Только иногда конечный результат эксперимента — несколько чисел, расположенных в определенном порядке, которые не требуют дальнейшей обработки и интерпретации. Из этого, однако, не следует, что опыт прост, а результат тривиален, иногда весь смысл опыта заключается в методике его проведения, а конечный результат в виде ответов да и нет. Тем не менее природные связи, особенно те, которые изучают методом полевого опыта, лизиметрическим, в лотках и т. д., весьма сложны и более частый результат — некоторое число данных или по вариантности, или по времени, или по какому-либо другому признаку. Если не привлекать в качестве примеров опыты, проводимые в различных сферах науки, а ограничиваться результатами полевых и лабораторных мелиоративных исследований, то можно выделить несколько случаев, достаточно типичных, которые лежат в основе затруднений, встречающихся при интерпретации опытных данных: большой разброс точек в окрестности предполагаемой кривой связи между изучаемыми признаками; большой пробел между двумя соседними замерами; недостаток точек, которые позволили бы достоверно установить характер криволинейной связи (например, угадываемые, но недоказуемые частные максимумы и минимумы кривой); характер возрастания или убывания функции неясен из-за небольшого числа опытов (точек на графике) в рассматриваемом диапазоне изменения признака; необходимость интерполяции между точками и экстраполяции по признаку убывания или возрастания.

Очевидно, что существуют и другие случаи. Объем информации и число случаев увеличиваются при рассмотрении нескольких переменных. Рассмотрим, однако, парную зависимость аргумента и функции.

При большом разбросе точек существуют два пути анализа. Первый — перестройка графика, изменяя масштаб по вертикали. Такое сжатие позволяет иногда уловить общую тенденцию, но не более. Второй путь — привлечение материалов иных опытов, с учетом условий их проведения. Для некоторых природных явлений весьма быстро выявляют закон больших чисел и, несмотря на большой разброс точек, отчетливо прослеживают закономерность. Из таблиц вывести заключения в такой ситуации практически невозможно, график же позволяет видеть тенденции в парной зависимости. В некоторых случаях следует повести поиск обобщающих величин (аналогичных числу Фруда, Рейнольдса и др.) и в зависимости от их значений находить интересующую зависимость.

При большом пробеле между соседними замерами или между двумя сериями опытов исследователь убеждается в неправильности предположения, которое было заложено при составлении методики проведения опыта. Естественное поведение исследователя — продолжение опыта с целью заполнения пробела. Иногда это невозможно (годовой цикл опыта, его уникальность, экономические соображения и др.). Тогда следует восстановить недостающие данные математической обработкой имеющихся.

При обработке результатов исследований рассматривают два участка вегетационного сезона автономно, с помощью одной и той же функции. Если функция удовлетворительно аппроксимирует исходные данные первого (I) и второго (II) участков, а коэффициенты различаются не намного, а главное, имеют одни и те же знаки, то можно полагать, что эта функция будет аппроксимирующей.

В качестве аппроксимирующей предполагают функцию:

$$y = a(1+x)^b e^{cx} \cdot \qquad (1)$$

При $x=0$ $y=a$, то есть коэффициент $K=y\neq 0$, а при $c<0$ и $b>0$ графиком функции будет кривая с точкой максимума.

1. Значения $\ln y_i$, $\ln(1+x_i)$, A

x_i ...	1	2	3	4
y_i ...	0,105	0,190	0,280	0,360
$\ln y_i$ ...	−2,2538	−1,6607	−1,2730	1,0220
$\ln(1+x_i)$ ...	0,69315	1,0986	1,3863	1,6094
$y_{1i}=\ln y_i - b\ln(+x_i)$ ...	3,6054	−3,8030	−3,9763	−4,1603
$A=\ln a$ ...	−3,4263	−3,4448	−3,4390	−3,4439

Парные данные (x, y) на исследуемом участке 1 приведены в таблице 1. Для вычисления коэффициентов a, b, c функции (1) прологарифмируем ее

$$\ln y_i=\ln a+b\ln(1+x_i)+cx_i,\quad i=1,\ 2,\ 3,\ 4, \qquad (2)$$

и образуем следующее равенство:

$$\ln y_i-b\ln(1+x_i)=cx_i+A,\quad i=1,\ 2,\ 3,\ 4, \qquad (3)$$

где $A=\ln a$ — число.

В правой части равенства (3) расположена функция прямой линии

$$y_1=A+cx. \qquad (4)$$

Используя три равностоящие ординаты прямой линии, можно образовать конечную разность, равную нулю [1]. Так, для трех равностоящих ($x_2-x_1=x_3-x_2=\Delta x$, где Δx — шаг изменения переменной x_i) ординат конечная разность, или нулевая комбинация ординат [2], имеет вид $y_1-2y_2+y_3=0$. Но ординаты могут быть и неравноотстоящими, то есть с переменным шагом Δx, тогда нулевые комбинации ординат будут зависеть от x_i. В Приложении II приведены нулевые комбинации ординат (РНКО) для функций прямой линии на ординатах от трех до девяти. В частности, на четырех ординатах РНКО имеет вид:

$$\Delta^{(2)}_{1\ldots4}y_{1i}X_{1i}=2y_{11}X_{11}-y_{12}X_{12}-y_{13}X_{13}+y_{14}X_{14}=0, \qquad (5)$$

где $X_{11}=X_{12}=(x_4-x_3)$; $X_{13}=(-2x_1+x_2+x_4)$; $X_{14}=(-2x_1+x_2+x_3)$.

Пусть $x_1=1$; $x_2=2$; $x_3=3$; $x_4=4$, тогда $X_{11}=X_{12}=1$; $X_{13}=4$; $X_{14}=3$, отсюда РНКО станет НКО (то есть для равноотстоящих ординат):

$$\Delta^{(2)}_{1\ldots4}y_{1i}=2y_{11}-y_{12}-4y_{13}+3y_{14}=0. \qquad (6)$$

Используем НКО (6) для вычисления коэффициентов функции (1). Так как левая часть уравнения (3) равна правой, то можно, кроме равенства (4), записать следующее:

$$y_{1i}=\ln y_i-b\ln(1+x_i). \qquad (7)$$

Заменим все значения y_{1i}, $i=1, 2, 3, 4$ в уравнении (6) правой частью равенства (7):

$$2[\ln y_1-b\ln(1+x_1)]-[\ln y_2-b\ln(1+x_2)]-$$
$$-4\cdot[\ln y_3-b\ln(1+x_3)]+3[\ln y_4-b\ln(1+x_4)]=0. \qquad (8)$$

Из равенства (8) находим выражение для коэффициента b:

$$b=\frac{2\ln y_1-\ln y_2-4\ln y_3+3\ln y_4}{2\ln(1+x_1)-\ln(1+x_2)-4\ln(1+x_3)-3\ln(1+x_4)}\cdot \qquad (9)$$

Значения $\ln y_i$ и $\ln(1+x_i)$ приведены в таблице 1. По ним и формуле (9) вычислено значение $b=1{,}95$. Далее вычисляют значения y_{1i} из равенства (7) (пятая строка табл. 1). Равенство (3) преобразовывают в следующее:

$$y_{1i}=cx_i=A. \qquad (10)$$

В правой части уравнения (7) расположено число, то есть функция, график которой — прямая, параллельная оси x. Для такой функции РНКО приведены в Приложении 1, в частности на четырех ординатах РНКО имеют следующий вид:

$$\Delta^{(1)}_{1\ldots4}\,y_{0i}X_{0i}=y_{01}X_{01}+y_{02}X_{02}-y_{03}X_{03}-y_{04}X_{04}=0, \qquad (11)$$

где $X_{01}=(x_3+x_2)=3-2=1$, $X_{02}=X_{03}=(x_{04}-x_1)(4-1)=3$

$$X_{04}=(x_3-x_2)=3-2=1.$$

Отсюда получаем НКО, так как значения x равноотстоящие:

$$\Delta^{(1)}_{1\ldots4}y_{0i}=y_{01}+3y_{02}-3y_{03}-y_{04}=0. \qquad (12)$$

Так как в уравнении (10) $A=y_{0i}$ — ординаты прямой, параллельной оси x, то вместо y_{0i}, $i=1, 2, 3, 4$, подставляем левую часть равенства (10):

$$(y_{11}-cx_1)+3(y_{12}-cx_2)-3(y_{13}-cx_3)-y_{14}-cx_4)=0,$$

откуда находим формулу для определения коэффициента c:

$$c=\frac{y_{11}+3y_{12}-3y_{13}-y_{14}}{x_1+3x_2-3x_3-x_4}. \qquad (13)$$

Подставляя в формулу (13) значения y_{1i} и x_i, $i=1, 2, 3, 4$, вычислим значение коэффициента c:

$$c=\frac{-3{,}6054-3\cdot 3{,}803+3{,}9763\cdot 3+4{,}1603}{1+3\cdot 2-3\cdot 3-4}=-0{,}1791.$$

Из равенства (10) находим значение $A=\ln a$. Среднее значение $\ln a=-3{,}4385$, откуда следует, что $a=e^{-3{,}4385}=0{,}0321$. Итак, аппроксимирующей функцией будет

$$y=0{,}0321\,(1+x)^{1{,}95}e^{-0{,}1791\cdot x}. \qquad (14)$$

Аналогично вычисляют значения коэффициентов функции (1), но поскольку пропущен один узел интерполяции [I] ($x_{12}=11$), то используют РНКО, то есть нулевые комбинации ординат, зависящие от x (табл. 2).

2. Значения y_i и соответствующие значения преобразований для вычисления коэффициентов функции (1)

Номер узла интерполяции	1	2	3	4	5
x_i	10	12	13	14	15
y_i	0,61	0,61	0,59	0,57	0,55
$\ln y_i$	−0,4943	0,4943	−0,5276	0,5621	−0,5978
$\ln(1+x_i)$	2,3978	2,5650	2,6391	2,7081	2,7726
$y_{1i}=\ln y_i-b\ln(1+x_i)$	−4,3309	−4,5982	−4,7501	−4,8950	−5,0340
$A=\ln a$	−3,1309	−3,1582	−3,1901	−3,2150	−3,2340

На пяти ординатах РНКО имеет вид:

$$\Delta^{(2)}_{1\ldots5}y_{1i}=3y_{11}X_{11}-y_{12}X_{12}-y_{13}X_{13}+y_{14}X_{14}+y_{15}X_{15}=0,$$

где $X_{11}=X_{12}=X_{13}=(x_5-x_4)=(15-14)=1$;

$$X_{14}=(3x_1-x_2-x_3-x_5)=(3\cdot 10-12-13-15)=-10;$$

$$X_{15}=(-3x_1+x_2+x_3+x_4)=(-3\cdot 10+12+13+14)=9;$$

$$b=\frac{3(-0{,}4943)-(-0{,}4943)-(-0{,}5276)-10(-0{,}5621)+9(-0{,}5978)}{3\cdot 2{,}3978-2{,}5650-2{,}6391-10\cdot 2{,}7081+9\cdot 2{,}7726}=$$

Остальные коэффициенты функции (1) имеют следующие значения: $c=-0{,}12$, $a=0{,}04135$.

Сравнивая коэффициенты функции (1), видим, что знаки при всех коэффициентах совпадают, а сами значения достаточно близки по величине абсолютной. Поэтому для аппроксимации ординат принимаем функцию (1). Значения, необходимые для вычисления коэффициентов функции (1), приведены в таблице 3. Поскольку в таблице девять узлов интерполяции, то используют РНКО на девяти ординатах. Получены следующие значения коэффициентов функции (1):

$$y=0{,}0332\,(1+x)^{1{,}886}e^{-0{,}161\cdot x}. \qquad (15)$$

В последних трех строках таблицы 3 приведены значения x_i и y_i, где y_i вычислены по формуле (15). Сравнивая с исходными данными, видим, что совпадение значений хорошее и недостающие данные можно вычислить по формуле (15).

3. Определение значений для вычисления коэффициентов функции (1)

x_i ...	1	2	3	4	10
y_i ...	0,105	0,19	0,28	0,36	0,61
$\ln y_i$ ...	−2,2538	−1,6607	−1,2730	−1,0220	−0,4943
$\ln(1+x_i)$ ...	0,6932	1,0986	1,3863	1,6094	2,3979
y_i по (15) ...	0,104	0,191	0,279	0,363	0611
x_i ...	5	6	7	8	9
y_i по (15) ...	0,436	0,496	0,543	0,577	0,60

Продолжение

x_i ...	12	13	14	15
y_i ...	0,61	0,59	0,57	0,55
$\ln y_i$ ...	−0,4943	−0,5263	−0,5621	−0,5978
$\ln(1+x_i)$ ...	2,5650	2,6391	2,7081	2,7726
y_i по (15) ...	0,607	0,594	0,576	0,554
x_i ...	11	—	—	—
y_i по (15) ...	0,613	—	—	—

Аппроксимация ординат гидрографа дренажного стока возможна гиперболической зависимостью $y=ax^{-n}$, однако эта простая зависимость весьма редко дает хорошие результаты. Более гибкие — дробно-рациональные функции, в частности функции вида:

$$y=\frac{a_2x^2+a_1x+a_0}{bx+1}. \qquad (16)$$

Приведем функцию (16) к виду:

$$ybx+y=a_2x^2+a_1x+a_0\cdot \qquad (17)$$

В левой части равенства (17) расположен один коэффициент b, а в правой — квадратичная функция, для которой НКО третьего порядка приведены в Приложении III.

Девять значений x_i и y_i приведены в таблице 4. НКО 3-го порядка имеют вид

$$\Delta^{(3)}_{1:::9}=6y_{21}-y_{22}-y_{23}-y_{24}-y_{25}-y_{26}-113y_{27}+ \\ +203y_{28}-91y_{29}=0. \qquad (18)$$

Вместо y_{2i} в НКО (18) подставим левую часть равенства (17) и найдем значение коэффициента b:

$$b=\frac{-(6\cdot 2{,}2-1{,}6-1{,}18-0{,}87-0{,}64-0{,}47-113\cdot 0{,}34+}{(6\cdot 2{,}2\cdot 0-1{,}6\cdot 1-1{,}18\cdot 2-0{,}87\cdot 3-0{,}64\cdot 4-0{,}47\cdot 5-} \\ \frac{203\cdot 0{,}25-91\cdot 0{,}81)}{113\cdot 0{,}34\cdot 6+203\cdot 0{,}25\cdot 7-91\cdot 0{,}18\cdot 8)}=0{,}2466.$$

4. Значения x_i, y_i и вычисленные ординаты функций (16′) и (20′)

4. Значения x_i, y_i и вычисленные ординаты функций (16[1]) и (20[1])

x_i ...	0	1	2	3	4	5	6	6	8
y_i ...	2,2	1,61	1,18	0,87	0,64	0,47	0,34	0,25	0,18
y_i по (16[1]) ...	2,2	1,556	1,136	0,843	0,631	0,472	0,352	0,259	0,187
y_{0i} по (20[1]) ...	2,2	1,616	1,186	0,871	0,640	0,470	0,345	0,253	0,186

Равенство (17) преобразуем следующим образом: обозначаем левую часть y_0, то есть $y_0=ybx+y$, затем образуем равенство

$$y_0-a_2x^2=a_1x+a_0\cdot \qquad (19)$$

В первой части (19) находится уравнение прямой линии, и все равенство строится аналогично (3), где в правой части также расположено уравнение прямой, поэтому коэффициент a_2 в (19) вычисляют также, как аналогичный коэффициент в (3), но используют НКО на девяти ординатах.

Положив в уравнении (16) $x=0$, получим $a_0=y_{\text{макс}}=2{,}2$, впрочем a_0 можно вычислить и с помощью НКО.

При $a_0=2{,}2$ и $b=0{,}2466$ остальные коэффициенты функции (16) равны

$$y=\frac{0{,}00775x^2-0{,}2676x+2{,}2}{0{,}2466x+1} \qquad (16')$$

В третьей строке таблицы 4 приведены значения функции (16′) на отрезке 0...8.

Хотя дробно-рациональные функции и, в частности вида (16), достаточно гибки для аппроксимации, однако в данном случае они имеют существенный недостаток. При некотором разбросе точек (рис. 2) вычисленные коэффициенты могут оказаться такими, что график функции (16) будет пересекать ось абсцисс и заходить в область отрицательных значений y. Но по физической сущности отрицательные значения y не имеют смысла, поскольку рассматривают модули дренажного стока. В связи с этим следует найти функцию не общего, а индивидуального вида для полученных данных эксперимента. Функция

$$y_0=ae^{b_1x} \qquad (20)$$

имеет график только в положительной области y. При $x=0$ $y_{\text{макс}}=2{,}2$.

Приведем функцию (20) к виду

$$\ln y_0=\ln a-b_1x \qquad (21)$$

и образуем равенство

$$\ln y_{0i}-b_1x_i=\ln a,\ i=1, 2, \ldots, 9. \qquad (22)$$

Равенство (22) аналогично (10) и поэтому коэффициент b_1 в уравнении (22) вычисляют аналогично коэффициенту c в уравнении (10), но с использованием НКО на девяти ординатах. Вычисленное значение коэффициента b_1 функции (20) равно $b_1=-0{,}309$. С числовыми значениями коэффициентов функция (20) имеет вид:

$$y_0=2{,}2e^{-0{,}309x}. \qquad (20')$$

В четвертой строке таблицы 4 приведены значения y_{0i}, вычисленные по зависимости (20′).

Следует отметить, что значения y_{0i}, вычисленные по зависимости (20′), более точно аппроксимируют исходные данные, корреляционное отношение практически равно единице (0,999). Тем не менее обе функции — и (16′), и (20′) — могут быть использованы для опреде-

ления объема сбрасываемой воды, определения промежуточных значений (интерполяция) или иных целей, так как для такого рода замеров точность относительна. Однако если определять интенсивность уменьшения модуля дренажного стока от времени, то необходимо брать производную по времени $t(t=x)$, и тогда функция (20′) предпочтительней, так как на отрезке 0...2 функция (16′) имеет существенное отличие в производных по сравнению с (20′), более точно аппроксимирующей исходные данные.

Наиболее сложные случаи математической обработки данных те, которые образуют график с частными максимумами и минимумами, но они часто и наиболее интересны, поскольку, как правило, определяют или периодичность явления, или колебательное затухание (возрастание). Подбор периодических функций в этих случаях более сложен, но с точки зрения техники вычисления коэффициентов они не отличаются от рассмотренных выше случаев.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

РНКО первого порядка для функции

$$y_0 = a = \text{const}$$

$$\Delta^{(1)}_{1\ldots3} y_{0i} X_{0i} = y_{01} X_{01} - y_{02} X_{02} - y_{03} X_{03} = 0,$$

где $X_{01} = (-2x_1 + x_2 + x_3)$; $X_{02} = (x_3 - x_1)$; $X_{03} = (x_2 - x_1)$.

$$\Delta^{(1)}_{1\ldots4} y_{0i} X_{0i} = y_{01} X_{01} + y_{02} X_{02} - y_{03} X_{03} - y_{04} X_{04} = 0,$$

где $X_{01} = X_{04} = (x_3 - x_2)$; $X_{02} = X_{03} = (x_4 - x_1)$.

$$\Delta^{(1)}_{1\ldots5} y_{0i} X_{0i} = y_{01} X_{01} - y_{02} X_{02} - y_{03} X_{03} + y_{04} X_{04} + y_{05} X_{05} = 0,$$

где $X_{01} = (-2x_1 + x_2 + x_3)$; $X_{02} = (x_5 - x_1)$; $X_{03} = (x_4 - x_1)$; $X_{04} = (x_5 - x_3)$; $X_{05} = (x_4 - x_2)$.

$$\Delta^{(1)}_{1\ldots6} y_{0i} X_{0i} = y_{01} X_{01} - y_{02} X_{02} - y_{03} X_{03} - y_{04} X_{04} + y_{05} X_{05} + y_{06} X_{06} = 0,$$

где $X_{01} = (-2x_1 + x_2 + x_3)$; $X_{02} = (x_3 - x_1)$; $X_{03} = (x_6 - x_4 + x_2 - x_1)$;

$$X_{04} = X_{06} = (x_5 - x_3); \quad X_{05} = (x_6 - x_4).$$

$$\Delta^{(1)}_{1\ldots7} y_{0i} X_{0i} = y_{01} X_{01} - y_{02} X_{02} + y_{03} X_{03} - y_{04} X_{04} - y_{05} X_{05} - y_{06} X_{06} - y_{07} X_{07} = 0,$$

где $X_{01}=(x_7-x_3)$; $X_{02}=(x_3+x_4-x_5-x_6)$; $X_{03}=(x_1-x_2+x_4+x_6)$;

$X_{04}=(x_2-x_3+x_5-x_7)$; $X_{05}=(x_4-x_2)$; $X_{06}=(-x_2-x_3+2x_7)$;

$$X_{07}=(-x_1-x_4+2x_6).$$

$$\Delta^{(1)}_{1\ldots8}\, y_{0i}X_{0i}=y_{01}X_{01}+y_{02}X_{02}+y_{03}X_{03}+y_{04}X_{04}+y_{05}X_{05}+y_{06}X_{06}-$$
$$-y_{07}X_{07}-y_{08}X_{08}=0,$$

где $X_{01}=(x_8-x_3)$; $X_{02}=(x_7-x_4)$; $X_{03}=(x_4-x_1)$; $X_{04}=(x_3-x_2)$;

$X_{05}=(x_8-x_6)$; $X_{06}=(x_7-x_5)$; $X_{07}=(-x_2-x_6+2x_8)$;

$$X_{08}=(-x_1-x_5+2x_7).$$

$$\Delta^{(1)}_{1\ldots9}\, y_{0i}X_{0i}=y_{01}X_{01}-y_{02}X_{02}+y_{03}X_{03}-y_{04}X_{04}-y_{05}X_{05}+y_{06}X_{06}+$$
$$+y_{07}X_{07}-y_{08}X_{08}-y_{09}X_{09}=0,$$

где $X_{01}=(x_9-x_3)$; $X_{02}=(x_3+x_4-x_5-x_8)$; $X_{03}=(-x_1-x_2+2x_4)$;

$X_{04}=(x_2-2x_3+x_5)$; $X_{05}=(x_4-x_2)$; $X_{06}=(x_9-x_7)$; $X_{07}=(x_8-x_6)$;

$X_{08}=(-x_2-x_7+2x_9)$; $X_{09}=(-x_1-x_6+2x_8)$.

Для любого числа ординат

$$\frac{y_{02}-y_{01}}{x_2-x_1}+\frac{y_{04}-y_{03}}{x_4-x_3}+\ldots+\frac{y_{0n}-y_{0n-1}}{x_n-x_{n-1}}=0.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ II

РНКО второго порядка для линейной функции

$$y_1=a_1x+a_0$$

$$\Delta^{(2)}_{1\ldots3}\, y_{1i}X_{1i}=y_{11}X_{11}-y_{12}X_{12}+y_{13}X_{13}=0,$$

где $X_{11}=(x_3-x_2)$; $X_{12}=(x_3-x_1)$; $X_{13}=(x_2-x_1)$.

$$\Delta^{(2)}_{1\ldots4}\, y_{1i}X_{1i}=2y_{11}X_{11}-y_{12}X_{12}-y_{13}X_{13}+y_{14}X_{14}=0,$$

где $X_{11}=X_{12}=(x_4-x_3)$; $X_{13}=(-2x_1+x_2+x_4)$;

$$X_{14}=(-2x_1+x_2+x_3).$$

$$\Delta^{(2)}_{1\ldots5}\, y_{1i}X_{1i} = y_{11}X_{11} - y_{12}X_{12} - y_{13}X_{13} - y_{14}X_{14} + y_{15}X_{15} = 0,$$

где $X_{11} = (-2x_3 - x_4 + 3x_5)$; $X_{12} = (x_5 - x_3)$; $X_{13} = (-2x_1 + x_2 + x_5)$;

$$X_{14} = (x_5 - x_1); \quad X_{15} = (-3x_1 + x_2 + x_3 + x_4).$$

$$\Delta^{(2)}_{1\ldots6}\, y_{1i}X_{1i} = y_{11}X_{11} - y_{12}X_{12} - y_{13}X_{13} + y_{14}X_{14} - y_{15}X_{15} + y_{16}X_{16} = 0,$$

где $X_{11} = (-2x_3 + 2x_4 - 4x_5 + 4x_6)$; $X_{12} = (-x_3 + x_4 - x_5 + x_6)$;

$X_{13} = (-2x_1 + x_2 + x_4 - x_5 + x_6)$; $X_{14} = (-2x_1 + x_2 + x_3 + x_5 - x_6)$;

$X_{15} = (-4x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_6)$; $X_{16} = (-4x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5)$.

$$\Delta^{(2)}_{1\ldots7}\, y_{1i}X_{1i} = y_{11}X_{11} - y_{12}X_{12} - y_{13}X_{13} - y_{14}X_{14} + y_{15}X_{15} - y_{16}X_{16} + y_{17}X_{17} = 0,$$

где $X_{11} = (-3x_4 + 3x_5 - 5x_6 + 5x_7)$; $X_{12} = (-x_4 + x_5 - x_6 + x_7)$;

$X_{13} = (-x_4 + x_5 - x_6 + x_7)$; $X_{14} = (-3x_1 + x_2 + x_3 + x_5 - x_6 + x_7)$;

$X_{15} = (-3x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_6 - x_7)$; $X_{16} = (-5x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_7)$;

$$X_{17} = (-5x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6).$$

$$\Delta^{(2)}_{1\ldots8}\, y_{1i}X_{1i} = y_{11}X_{11} - y_{12}X_{12} - y_{13}X_{13} - y_{14}X_{14} - y_{15}X_{15} + y_{16}X_{16} - y_{17}X_{17} + y_{18}X_{18} = 0,$$

где $X_{11} = (-4x_5 + 4x_6 - 6x_7 + 6x_8)$; $X_{12} = (-x_5 + x_6 - x_7 + x_8)$;

$X_{13} = (-x_5 + x_6 - x_7 + x_8)$; $X_{14} = (-x_5 + x_6 - x_7 + x_8)$; $X_{15} = (-4x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_6 - x_7 + x_8)$; $X_{16} = (-4x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_7 - x_8)$;

$X_{17} = (-6x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_8)$; $X_{18} = (-6x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7)$.

$$\Delta^{(2)}_{1\ldots9} y_{1i}X_{1i} = y_{11}X_{11} - y_{12}X_{12} - y_{13}X_{13} - y_{14}X_{14} - y_{15}X_{15} - y_{16}X_{16} + y_{17}X_{17} - y_{18}X_{18} + y_{19}X_{19} = 0,$$

где $X_{11} = (-5x_6 + 5x_7 - 7x_8 - 7x_9)$; $X_{12} = (-x_6 + x_7 - x_8 + x_9)$;

$X_{13} = (-x_6 + x_7 - x_8 + x_9)$; $X_{14} = (-x_6 + x_7 - x_8 + x_9)$; $X_{15} = (-x_6 + x_7 - x_8 + x_9)$; $X_{16} = (-5x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_7 - x_8 +$

$+x_9)$; $X_{17}=(-5x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_8-x_9)$; $X_{18}=(-7x_1+$
$+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7+x_9)$; $X_{19}=(-7x_1+x_2+x_3+x_4+$
$+x_5+x_6+x_7+x_8)$.

ПРИЛОЖЕНИЕ III

НКО третьего порядка для функции

$$y_2=a_2x^2+a_1x+a_0$$

для равностоящих узлов интерполяции

$$x_2-x_1=x_3-x_2=\ldots=x_n-x_{n-1}=\Delta x=\text{const})$$

$$\Delta^{(3)}_{1\ldots4}\,y_{2i}=y_{21}-3y_{22}+3y_{23}-y_{24}=0.$$

$$\Delta^{(3)}_{1\ldots5}\,y_{2i}=2y_{21}-y_{22}-9y_{23}+13y_{24}-5y_{25}=0.$$

$$\Delta^{(3)}_{1\ldots6}\,y_{2i}=3y_{21}-y_{22}-y_{23}-21y_{24}+34y_{25}-14y_{26}=0.$$

$$\Delta^{(3)}_{1\ldots7}\,y_{2i}=4y_{21}-y_{22}-y_{23}-y_{24}-41y_{25}+70y_{26}-30y_{27}=0.$$

$$\Delta^{(3)}_{1\ldots8}\,y_{2i}=5y_{21}-y_{22}-y_{22}-y_{24}-y_{25}-71y_{26}+125y_{27}-55y_{28}=0.$$

$$\Delta^{(3)}_{1\ldots9}\,y_{2i}=6y_{21}-y_{22}-y_{23}-y_{24}-y_{25}-y_{26}-113y_{27}+203y_{28}-91y_{29}=0.$$

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демидович Б. П., Марон И. А. Основы вычислительной математики. — М.: Физматгиз, 1963, с. 659. 2. Минаев И. В. Формулы для вычисления коэффициентов некоторых функций, применяемых в мелиорации. — Минск.: Вышэйшая школа, 1976, с. 28 . . . 51.

УДК 631.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ И МОДЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕЛИОРАЦИЯХ

Б. Ф. НИКИТЕНКОВ, кандидат технических наук

Московский ордена Трудового Красного Знамени гидромелиоративный институт

Возросший в последние годы интерес к математическому описанию разнообразных процессов и явлений во всех областях прикладных наук способствует распрост-

ранению математических методов исследований в сельскохозяйственных мелиорациях. Переход от мелиораций чисто водных к комплексному регулированию многих факторов жизни растений требует иных соотношений между расчетными методами и натурными наблюдениями. Использование измерительных экспериментов для «доводки» новых мелиоративных объектов становится неприемлемым из-за значительного роста материальных затрат и времени. Организационные и технические трудности, связанные с большой разбросанностью мелиоративных объектов и разнообразием природно-климатических условий, выдвигают на первый план не только необходимость решения задач, связанных с повышением точности известных расчетов и значительным расширением круга вопросов, решаемых расчетными методами, а также обогащение арсенала расчетных методов.

В настоящее время, по-видимому, нет ни одной отрасли значений, где бы не пытались заниматься моделированием. Несмотря на все трудности, связанные с моделированием, интерес к этому методу всеобщий. В этой связи следует остановиться на ряде общеметодологических вопросов моделирования и модельных экспериментов.

Слово «модель» первоначально употребляли в значении образца или вещи, имеющей сходство с другим образцом или вещью. Именно это значение слова «модель» послужило основанием для использования этого термина в науке.

Под моделью в широком смысле понимается мысленно или практически созданная структура, воспроизводящая действительность в упрощенной схематизированной или идеализированной, а в ряде случаев и наглядной форме. Вопрос заключается лишь в том, насколько конкретные модели отражают объективные свойства моделируемого объекта, процесса, явления. В другом смысле понимается термин «модель», когда требуется изучить некоторую область явлений с помощью других, более изученных, привычных, наглядных. Примером этому может быть использование методов теории теплопроводности для получения некоторых решений задач фильтрации, методов электрогидродинамической и гидравлической аналогий в гидрогеологии и мелиора-

циях. Это понятие модели далеко отлично от понятия модели как теории или описания.

В любом случае под моделью понимается либо конкретный образ изучаемого объекта, либо другой объект, сходный с изучаемым. В этом смысле модель не теория, а то что описывается теорией.

Наиболее полное определение модели дано В. А. Штоффом: под моделью понимается такая мысленно представляемая и материально реализуемая система, которая, отображая или воспроизводя объект исследования, способна замещать его так, что ее изучение дает нам новую информацию об этом объекте. В таком определении модель имеет содержательный и познавательный характер.

Особо следует остановиться на понятии «математическая модель», играющем значительную роль в современных исследованиях. Как правило, в сельскохозяйственных мелиорациях термин «математическая модель» понимается как совокупность математического описания (то есть использование средств и методов математики) реальных объектов и методов использования этого описания для их исследования. Это понимание не отличается от данного выше общеметодологического определения модели. С другой стороны, тем же термином обозначается материальная модель, имитирующая процесс другой физической природы, но описываемая одними и теми же уравнениями. Экспериментальные установки моделирования, основанные на отмеченном принципе, называют аналоговыми. Однако суть аналогии — изоморфизм математического описания процессов, и поэтому они относятся к математическим моделям.

В зависимости от способов и средств построения моделей их можно разделить на два класса: материальные, вещественные и идеальные, мысленные, умозрительные. К первому классу относятся всевозможные модели, созданные человеком и воплощенные в различных материалах, полях и других материальных предметах, позволяющих имитировать и замещать реальные объекты научных или производственных экспериментов. Условно этот класс моделей можно разделить на две группы. Для первой группы характерна аналогия в динамике и описании процессов. Вторая группа характеризуется аналогией в функциональном назначении и структуре объектов и модели.

В сельскохозяйственных мелиорациях особую роль приобретают исследования комплексного характера, где важное значение имеет изучение структуры больших объектов и функциональных связей между отдельными подобъектами. В изучении структуры и функциональных связей в настоящее время широко используют методы теории систем и системного анализа, но теоретическое решение целого ряда вопросов еще невозможно. Как и в других случаях, здесь широко используют эксперимент и моделирование.

При моделировании таких объектов значение придают уже не физической и математической аналогиям, а главным образом структуре связей, их функциональным назначениям и функциям отдельных подобъектов. Здесь принципиально несущественна физическая природа связей и подобъекта, их размеры и т. п. Важной остается аналогия в строении и функционировании модели и оригинала.

Другой большой класс моделей — идеальные, мысленные. Главное гносеологическое отличие материальных и идеальных моделей то, что материальные модели существуют объективно и в этом смысле существуют независимо от человека, хотя и созданы им. Идеальные модели также результат умственной деятельности, но выражены они не в материалах, а лишь отражены на материалах в виде рисунков, чертежей, знаков объектов, в целом материальных. Тем не менее эти модели действуют благодаря мысленным операциям, которые совершает над ними человек в процессе их создания, преобразования и изучения. Работа этих моделей определяется работой человеческой мысли, воображением, фантазией, памятью и научным знанием.

Идеальные мысленные модели можно разделить на две группы: иконические — образные и знаковые. Также могут быть смешанные модели, сочетающие свойства первой и второй групп. К иконическим моделям относят модели замены атомов шарами; упругих сил пружинами; понятия траектории, вихря или вихревой трубки в гидро- и аэромеханике и т. д. Однако если все перечисленные объекты созданы материально, то есть молекула представлена материальными шарами и связи ее сделаны в виде стержней, то это уже будет материальная модель молекулы. Изображение ее на бумаге — иконическая модель.

Знак — основной элемент всякой знаковой системы, в том числе и специальных формализованных языков науки. При переходе к знаковым моделям уровень наглядности, образности существенно меняется, так как основные черты аналогии выражаются в определенных знаках, порой не столь понятных, как в иконических моделях. Примером могут служить многие математические и химические формулы, понятные только специалистам. В этом смысле знаковые модели необразны в прямом понимании этого слова, хотя они являются образом некоторого оригинала. В этой связи между знаковыми и иконическими моделями нет глубокого различия, и можно заметить, что группа знаковых моделей — по существу множество моделей, включающих и образные модели. Основное их различие лишь в уровне наглядности, но не в общности. К знаково-образным моделям обычно относят чертежи, топографические карты, структурные формулы и т. д.

Среди знаковых моделей особое по важности место занимают математические модели. По существу различие математической модели, описывающей объект на языке математики, от теории определяется их гносеологическими функциями. Если теория — система объективно истинного знания, то модель лишь путь для его получения.

Способы и методы построения математических моделей и теории практически совпадают, что указывает на главную особенность математических моделей — гипотетичность. Построение математических моделей ведется, как правило, исходя из гипотез, предположений и т. д. Если доказано, что математическая модель адекватно отражает моделируемый объект, математическая модель с учетом ее гипотетической природы наиболее легко из всех классов моделей превращается в теорию. Адекватная математическая модель обладает всеми признаками теории, так как исследователь, используя математическую модель, может предсказывать неизвестные факты, составлять прогнозы, объяснять факты. Однако это сходство относится только к проверенным моделям.

Математическая модель, замещающая объект, истинна не потому, что она получена логически, — она истинна только в том случае, если отражает действи-

тельность, что прямо или косвенно может быть доказано экспериментально. Другая подгруппа, которую можно выделить в знаковых моделях, — это эмпирические модели и формулы. Современные математические и статистические методы обработки экспериментальных данных обычно дают возможность получить знаковое отражение объекта в виде эмпирической формулы, которая истинно отражает объект, но не является абсолютной, так как не опирается на фундаментальные знания. Эмпирическая формула не вскрывает сущности явлений, причин наличия именно этой, а не другой связи, а констатирует взаимосвязи фактов, полученных в эксперименте. Однако, являясь знаковым замещением реально существующих объектов и обладая интерполирующими, а в ряде случаев и экстраполирующими свойствами, эмпирическая формула является по определению моделью, отображающей и заменяющей с некоторой точностью действительный объект.

Наиболее сложные математические и эмпирические модели могли бы остаться гипотезой при условии отсутствия численного моделирования и эксперимента. Если в недалеком прошлом некоторые мысленные модели представляли лишь узкотеоретический интерес, то в настоящее время они стали действенным средством исследования благодаря созданию новых вычислительных средств и численных методов решения различных математических задач. Использование вычислительной техники во многом сблизило иконические и знаковые модели.

В. А. Штофф отмечает, что классификация моделей может быть более полной, если учесть общность моделей, то есть различие между общим и частным, динамическими и статистическими моделями, непрерывными и дискретными, детерминированными и стохастическими моделями.

Важнейшая особенность моделей — их исследовательская функция, то есть модель выступает как средство исследований. Материальные и мысленные модели, воспроизводя и отражая одни и те же объекты, могут быть совершенно различными в зависимости от характера научной деятельности экспериментатора. Построение и использование материальных моделей может быть отнесено к практической деятельности, в то время как оперирование мысленными моделями — элемент

мысленной, то есть теоретической, деятельности. Поэтому наряду с понятием «эксперимент эмпирического уровня познания» можно выделить «мысленный эксперимент теоретического уровня познания». Здесь также должны быть основные элементы эксперимента: познающий объект — средства познания — объект познания. Однако методы использования материальных и мысленных моделей как средств экспериментального изучения реальных объектов различны. Прежде всего есть общее отличие модельного эксперимента от эксперимента эмпирического уровня познания. Если обычно средства познания направлены прямо на объект исследований, то в модельном эксперименте они направлены на модель, замещающую объект. Поэтому роль модели в эксперименте изучения двояка. Модель — это и объект, и средства изучения, так как ее использование направлено на познание объекта. Фактически каждый объект исследования находится в определенных условиях, и требуется моделирование этих условий.

В общем случае схема моделирования представлена на рисунке 1.

Основное достоинство модельного эксперимента — представляемая возможность моделирования и изучения множества различных ситуаций, которые на реальных объектах могут встретиться только в будущем или появиться за счет целенаправленного воздействия че-

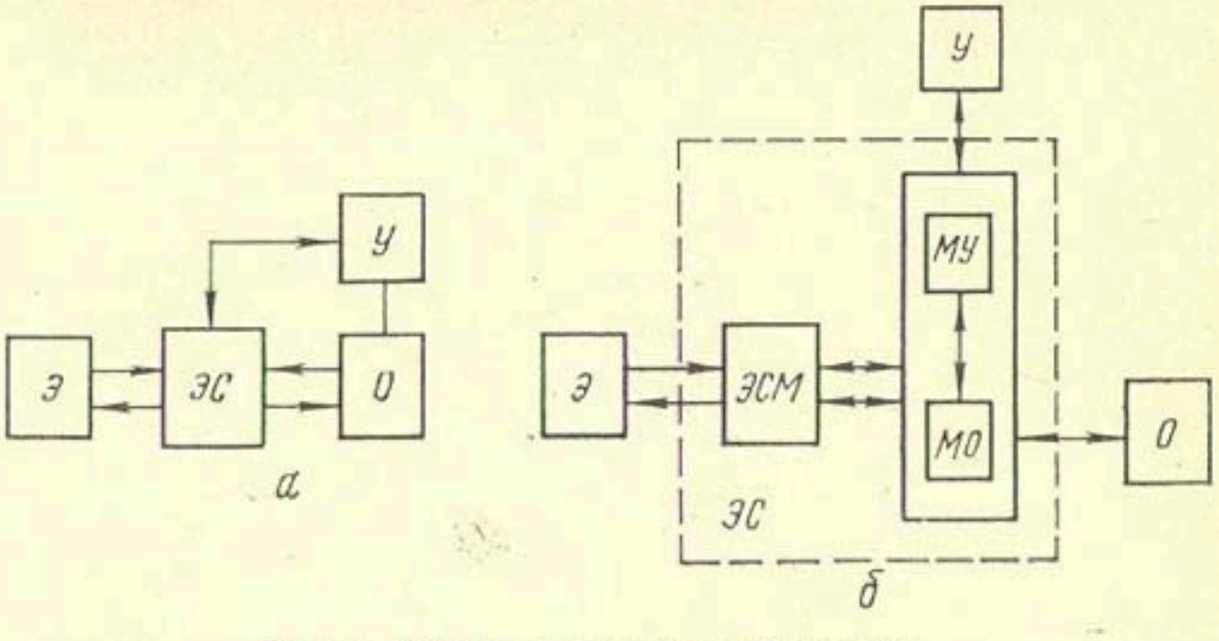


Рис. 1. Общая схема моделирования:

а — обычный эксперимент; *б* — модельный эксперимент; *Э* — экспериментатор; *ЭС* — экспериментальные средства; *О* — объект; *У* — условия; *МО* — модель объекта; *МУ* — модель условий.

ловека. В этой связи особенно важно отметить прогностические модели, так как в этом случае модельный эксперимент — единственно возможный. На реальном объекте прогностическую информацию получать практически невозможно или по крайней мере трудоемко и требуются значительные затраты времени и средств.

Говоря о модельном эксперименте, нельзя не остановиться и на ряде недостатков, присущих этому средству познания. Во-первых, есть теоретическое связующее звено между моделью и объектом. Это звено определяет адекватность модели реальному объекту. Именно это является источником ошибок и снижает доказательную способность модельного эксперимента. Во-вторых, при использовании сложных моделей возникают трудности технического или теоретического характера, требующие вводить новые ограничения, которые не следуют из теоретического обоснования модели.

Поэтому основными составными частями модельного эксперимента являются: методы обоснования возможности экстраполяции данных экспериментов на объект; исследование чувствительной устойчивости самой модели. Обоснование возможности перенесения результатов модельного эксперимента на объект относится к методам построения моделей.

Из мысленных экспериментов в сельскохозяйственных мелиорациях важное значение имеет математическое моделирование (математическое замещение объекта, описание объекта) с последующим математическим экспериментом. Использование математических моделей и экспериментирование с ними имеет свои особенности. Прежде всего в математических моделях есть параметры и условия, не задав которые модельный эксперимент невозможен. Эти параметры и условия формализованно отражают свойства и условия объекта моделирования, и реальная модель должна оперировать со значениями, присущими конкретному объекту, то есть эти свойства и условия должны соответствовать действительному объекту и быть определены и замерены для него. Переход от идеализированной модели, описывающей объект исследования вообще, к модели, описывающей конкретный объект, называется идентификацией модели. Так, если рассматривать математическую модель процесса движения воды в почвогрунтах, то эта модель замещает процесс движения в

произвольных грунтах и условиях. Однако для того, чтобы моделировать процессы движения воды в определенном месте и в конкретных грунтах, должны быть заданы все параметры модели (влагопроводность, капиллярная кривая, начальные и граничные условия), относящиеся именно к данному месту и данным грунтам. Тогда объект конкретизируется и можно переходить к математическому эксперименту, изменяя те условия и параметры, которые могут меняться, и т. д.

Следует обратить внимание на субъективный характер средств математического эксперимента, которые определяются уровнем знания экспериментатора, его эрудицией, фантазией. Однако сами эти средства должны отражать объективные законы и проверенные методы отдельных наук.

Мысленные модели и мысленные эксперименты имеют прямое отношение к построению и развитию теории. Мысленные модели объективно, замещая реальные объекты, подчас единственный способ исследования. Мысленному эксперименту присуща этапность. От простых мысленных моделей переходят к более сложным, уточненным, дополненным. Этот процесс аналогичен процессу углубления теоретического знания. Однако в прикладных науках уточнение моделей небезгранично, так как точность этих моделей должна соответствовать потребностям практических приложений исследований, проводимых с использованием мысленных моделей.

Моделирование как средство познания наряду с функциями отображения и абстрагирования имеет еще некоторые функции, которые без моделей не могут быть осуществлены. К ним относятся функции моделей как средства интерпретации теории и научного объяснения фактов, а также вопросы наглядности изучаемых явлений и объектов.

Научные исследования достигли такого уровня, когда многие теоретические результаты с трудом могут быть наглядно представлены и часто постигаются лишь с помощью высокоразвитой абстрагирующей силы интеллекта. Прежние критерии, чисто эмпирические и наглядные модели уступают место новым критериям и методам [1].

В сложнейшем процессе познания, охватывающем как эмпирический, так и теоретический уровни, понятие «истолкование» (интерпретация) результатов и теорий

является повсеместным, а некоторые вопросы трудны для понимания без соответствующей интерпретации.

Все виды моделей — и мысленные, и материальные — отражение нашего знания об окружающем мире. Материальные модели в большинстве случаев бывают достаточно наглядны и воплощают образ объекта исследования. Другие модели (например, мысленные) не наглядны в прямом понимании этого слова. Однако тот факт, что эти модели понятны специалистам и результаты, полученные с помощью таких моделей, могут быть наглядно представлены в виде таблиц, графиков и свидетельствует о том, что модели обладают наглядностью, а результаты, полученные в модельных экспериментах, подчас позволяют правильно интерпретировать теорию и ее следствия.

Проблема истинности научных моделей — одна из важнейших в методе моделирования и модельного эксперимента, главная предпосылка и необходимое условие истинности научного исследования с использованием моделей. Отрицание объективно истинности модели в научных исследованиях несовместимо с наукой. Моделирование как метод научных исследований содержательно; его содержание образует познание объективной действительности, то есть объективное содержание самого знания.

Проблема истинности моделей — одна из основополагающих метода моделирования, поэтому экспериментальная проверка моделей на реальных объектах и условиях должна предшествовать модельным экспериментам. Без этого модельный эксперимент является не столько критерием теории, сколько того, что данная теория применима к модели. В этой связи модельный и реальный эксперименты взаимосвязаны, причем первый открывает дополнительные возможности, а второй устанавливает соответствие и истинность.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штофф В. А. Введение в методологию научного познания. — Л.: ЛГУ, с. 153, 171...180. 2. Ильичев Л. Ф. Философия и научный прогресс. — М.: Наука, 1977, с. 19.

УДК 626.86 : 551.579

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОСУШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Ю. А. КАНЦИБЕР, кандидат технических наук

Северный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

Без глубокого и всестороннего изучения режимов осушения сельскохозяйственных земель невозможно правильно оценить влияние осушительных мелиораций на водные ресурсы территории, почвообразовательные и эрозионные процессы, качество поверхностных и подземных вод, виды и структуру биоценозов на территориях, примыкающих к объекту мелиорации, и др.

Систематические наблюдения за элементами режима осушения ведут в настоящее время на небольшом числе стационарных пунктов, в Северо-Западной зоне РСФСР — в основном на сети опытно-мелиоративных станций СевНИИГиМ. Как показал анализ имеющихся данных, изученность режимов осушения в гумидной зоне, учитывая многообразие ее природных условий, совершенно недостаточна для качественного решения многих прикладных задач гидромелиорации и рационального использования природных ресурсов. Ускорить решение этих задач можно с помощью методов математического и физического моделирования режимов осушения. Необходимое условие их применения — адекватность математической или физической модели процессам накопления и расходования влаги в осушаемых почвогрунтах.

В настоящее время известны относительно совершенные математические модели, адекватно описывающие процессы стока, инфильтрации, испарения и др. Но для практической реализации исходных данных, как правило, недостаточно, что во многих случаях ограничивает возможность их применения. Большее распространение получили прикладные математические модели, основанные на решении уравнения водного баланса в конечных разностях с использованием агрометеорологической информации. Их широко применяют в расчетах режима влажности почвы, дефицита водопотребления сельскохозяйственных культур, колебаний уровня и динамических запасов грунтовых вод, расчетного модуля дренаж-

ного стока и др. В зависимости от целей расчета и объема исходных данных уравнение водного баланса можно выразить с различной степенью подробности и в различных интерпретациях, исходящих, однако, из одних и тех же основных положений водного баланса речного водосбора и мелиорируемого объекта [4].

Воднобалансовая методика СевНИИГиМ предназначена для расчета основных гидрологических характеристик режима осушения сельскохозяйственных угодий [2,3]. В отличие от методик В. Ф. Шебеко [8] и ВНИИГиМ [5] она учитывает характер водообмена в почвогрунтах и работу осушительной сети внутри декады. На основе многовариантного моделирования режимов осушения с ее помощью можно оценить эффективность агро- и гидромелиоративных мероприятий: параметры дренажа, глубокое рыхление, кротование и др. Для этого необходимо задать несколько вариантов параметров дренажа и водно-физических свойств почвы, отвечающих, например, условиям глубокого рыхления. Влияние глубокого рыхления на водопроницаемость и коэффициент водоотдачи устанавливают по опытным данным объекта-аналога. При непродолжительных наблюдениях за водным режимом следует использовать известный метод «обратной задачи». По каждому из рассматриваемых вариантов осушения за период исследований строят эмпирическую зависимость дренажного стока от положения уровня грунтовых вод (УГВ), то есть $Q=f(H)$. Для этого же периода и вариантов осушения выполняют воднобалансовые расчеты. Добиваясь максимального соответствия между расчетными и фактическими данными по УГВ и дренажному стоку, уточняют параметры зависимости $Q=f(H)$, расчетные коэффициенты фильтрации и водоотдачи. Затем производят расчеты за многолетний период по каждому варианту осушения и получают интересующие гидрологические характеристики режима осушения, по которым оценивают эффективность тех или иных агро- и гидромелиоративных мероприятий. Для определения оптимальных параметров дренажа дополнительно выполняют технико-экономические расчеты [1]. Результаты расчетов основных элементов водного режима осушаемых слабоводопроницаемых почвогрунтов с учетом и без учета глубокого рыхления приведены в таблице 1. Расчеты выполнены по вышеизложенной схеме воднобалансового

1. Средние значения элементов режима осушения тяжелых суглинков при глубоком рыхлении и без рыхления
(пригородная зона г. Новгорода)

Название элемента	Период				
	ранневесенний (01.04...20.04)	поздневесенний (21.01...31.05)	летний (01.06...31.08)	осенний (01.09...31.10)	теплый (01.04...31.10)
Осадки, мм	28,0	66,5	216,3	106,3	417,1
Испаряемость, мм	13,8	90,6	305,5	64,8	474,6
Испарение, мм	13,8	89,6	235,8	54,7	393,9
	13,8	89,4	236,2	54,6	394,0
Расход грунтовых вод на испарение, мм	8,4	35,2	20,2	6,6	70,4
	7,7	33,3	19,2	5,6	65,8
Дренажный сток, мм	7,9	7,7	5,3	7,4	28,3*
	16,0	15,8	11,4	10,9	54,1
Продолжительность переувлажнения почвы, сут	10	5	0	3	18
	8	3	0	2	13

Примечание. 1.* $\frac{28,3}{54,1}$ — в числителе без глубокого рыхления, в знаменателе — с рыхлением.
2. Расстояние между дренами 14 м.

моделирования режима осушения на ЭВМ «ЕС—1022». Период расчета — 23 года, периодичность глубокого рыхления — один раз в 3...5 лет [7]. Коэффициент водоотдачи разрыхляемых подпахотных слоев грунта изменяется от 0,02 перед рыхлением до 0,04 в год рыхления.

Глубокое рыхление практически не влияет на суммарное испарение. Однако расход грунтовых вод на испарение в периодически разрыхляемых грунтах на 5...7 % меньше, что связано с более низким положением в них УГВ. Дренажный сток при глубоком рыхлении осушаемых тяжелых суглинков в среднем в 1,5...2 раза больше, а продолжительность переувлажнения пахотного слоя в 1,3...1,5 меньше, чем без рыхления.

По технико-экономическим расчетам, оптимальные расстояния между дренами в тяжелосуглинистых почвах пригородной зоны г. Новгорода составляют для овоще-картофельных севооборотов без глубокого рыхления 6...8 м, с глубоким рыхлением 9...11 м; для кормо-

вых севооборотов без глубокого рыхления 10...12 м, с рыхлением 14...16 м.

В последней модификации воднобалансовой методики СевНИИГиМ предусмотрена возможность учета водообмена с нижележащим водоносным пластом и увлажнение (дождевание) осушаемых почвогрунтов. Моделирование условий увлажнения осуществляют путем подключения блока «полив» при достижении водоаккумулирующей вместимостью почвы (дефицита увлажнения) значения нормы полива.

О влиянии орошения на водный режим осушаемых почвогрунтов в маловодный летне-осенний период года можно судить по данным таблицы 2. В расчетный год потребовалось четыре полива нормой 40 мм. Суммарное испарение было примерно равно испаряемости, соответствующей оптимальному водопотреблению много-

2. Элементы режима осушения тяжелосуглинистых почвогрунтов при орошении и без орошения (пригородная зона г. Новгорода, многолетние травы)

Название элемента	Период				
	ранневесенний (1.04...25.04)	поздневесенний (25.04...31.05)	летний (01.06...31.08)	осенний (01.09...31.10)	теплый период (01.04...31.10)
Осадки+полив, мм	16,1	78,4	134 / 294	100	488 / 328
Испаряемость, мм	20,4	44,3	296	77,9	439
Испарение, мм	20,4 / 20,4	44,3 / 44,3	247 / 294	49,7 / 77,8	361 / 436
Расход грунтовых вод на испарение, мм	13,3 / 13,3	26,8 / 26,8	41,0 / 41,1	0 / 3,0	81,1 / 84,2
Дренажный сток, мм	5,9 / 5,9	27,5 / 27,5	13,2 / 13,2	0 / 10,4	46,6 / 57,0
Средний УГВ, м	0,15 / 0,15	0,12 / 0,12	1,01 / 0,90	1,50 / 0,80	0,99 / 0,65
Продолжительность переувлажнения пахотного слоя, сут	23 / 23	24 / 24	0 / 2	0 / 3	47 / 52

Примечание. 1.* $\frac{134}{294}$ — в знаменателе — при орошении, в числителе — без орошения.

2. Расстояние между дренами 14 м.

летних трав. По сравнению с вариантом без полива УГВ летом и осенью на орошаемом варианте на 0,1... 0,4 м выше. В связи с этим несколько бóльшим был расход грунтовых вод на испарение, а также дренажный сток (на 15...20 %). Продолжительность переувлажнения пахотного слоя почвы при поливах возросла до 2...3 сут.

Физическое моделирование режимов осушения в зависимости от цели исследований можно проводить на грунтовых лотках или на лизиметрических площадках. На грунтовых лотках в большинстве случаев решают вопросы фильтрации и оценки гидрологической эффективности действия различных элементов и конструкций дренажа. При этом важны, как правило, не абсолютные, а относительные показатели работы дренажа (дренажный сток, интенсивность понижения УГВ, степень зайления и др.).

Влияние агро- и гидромелиоративных мероприятий на водный режим осушаемых почвогрунтов целесообразно изучать на дренированных лизиметрических площадках. Моделирование режимов осушения на них предполагает постановку и проведение «активного» эксперимента, который позволил бы за относительно короткий период исследований (не более 2...3 лет) получить нужную информацию и решить поставленную задачу. Располагая лизиметрическими площадками с различной степенью дренирования, можно моделировать, например, расчетные условия увлажнения осушенных почвогрунтов. Активным (управляемым) фактором в этом случае будут осадки, выпадение которых имитирует дождевальная установка. При этом дата начала эксперимента сдвигается таким образом, чтобы начальная влажность осушаемого пахотного слоя приблизительно соответствовала определенному условию увлажнения. Варьируя слоем «осадков» и дефицитом увлажнения пахотного слоя почвы, можно установить закономерности влияния этих факторов на режим дренажного стока, уровни верховодки и продолжительность переувлажнения почвы. С этой целью на лизиметрических площадках в опытно-производственном хозяйстве СевНИИГиМ (п. Новоселье, Ломоносовский район, Ленинградская область) были проведены полевые исследования. Лизиметрические площадки, изолированные по контуру (на глубину 1 м) полиэтиленовым экраном и земляными

3. Основные элементы режима осушения лизиметрических площадок ОПХ СевНИИГиМ

Начальный дефицит увлажнения почвы		Осадки		Слой дренажного стока по вариантам осушения, мм		
мм	P, %	мм	P, %	2^x	4^x	9^x
		15...20	70...90	0...1	0...1	0...1
		20...30	40...70	1...3	1...3	1...2
30...40	50...75	30...40	20...40	3...5	3...5	2...4
		40...50	5...20	5...8	5...8	4...6
		15...20	70...90	1...3	1...3	1...2
		20...30	40...70	3...7	3...6	2...5
10...20	20...40	30...40	20...40	7...15	6...11	5...8
		40...50	5...20	15...25	11...20	8...15
		15...20	70...90	5...7	3...6	2...4
		20...30	40...70	7...15	6...10	4...8
0...5	10...20	30...40	20...40	15...21	10...19	8...14
		40...50	5...20	21...35	19...32	14...25
		15...20	70...90	8...12	7...10	7...10
		20...30	40...70	12...20	10...20	10...17
H=0,3 м	5...10	30...40	20...40	20...32	20...30	17...25
		40...50	5...20	32...42	30...40	25...35

Примечание. P, % — обеспеченность (вероятность превышения элемента водного режима; H=0,3 м — положение уровня верховодки перед осадками (от поверхности, м); 2^x — расстояние между дренами, м.

валиками, осушены гончарным дренажем, расстояние между дренами — 2,4 и 9 м, глубина заложения — 0,8 м (кроме варианта В-2 м с глубиной заложения дрен 0,4 м, который имитировал действие кротовин). Дренированная и контрольная площадки представлены в двух повторностях. Почвогрунты — слабооглеенные тяжелые суглинки с коэффициентом фильтрации 0,01 ... 0,05 м/сут. Площадки оборудованы дождевальной установкой, самописцами дренажного стока, скважинами для замеров уровня верховодки, наземными дождемерами и испарителем ГГИ 500—50. В результате исследований установлено, что интенсивность дренажного стока тесно связана с уровнем верховодки, степенью осушения и начальной влажностью почвы (табл. 3). При начальном дефиците влагозапасов в пахотном слое более 30 ... 40 мм различие в размерах дренажного стока по вариантам осушения менее существенно, чем при относительно более высокой влажности. Продолжительность процесса освобождения пахотного слоя от гравитационной воды возрастает по мере сработки уровня верхо-

водки от нескольких часов (слой 0...10 см) до 1...2 сут (слой 20...30 см) и зависит также от степени осушения и начальной влажности почвы.

Полученные выводы и опытные данные использованы при обосновании воднобалансовой методики расчета притока воды к дренам [6].

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канцибер Ю. А., Самофалов Д. П. Гидролого-экономический метод расчета оптимальных расстояний между осушителями. Труды СевНИИГиМ, 1977, с. 29...33. 2. Климко А. И., Канцибер Ю. А., Ермолина Л. М. Расчеты оптимальных параметров сельскохозяйственного дренажа. — М.: Колос, 1979, с. 144. 3. Климко А. И., Канцибер Ю. А., Самофалов Д. П., Ермолина Л. М. Воднобалансовая методика расчета гидрологических характеристик режима осушения сельскохозяйственных угодий. — Труды СевНИИГиМ, 1979, с. 72...83. 4. Костяков А. Н. Основы мелиорации. — М.: Сельхозгиз, 1960, с. 622. 5. Никитин И. С. Метод прогноза уровней грунтовых вод на осушительных системах. — Труды ВНИИГиМ, 1979, с. 9...16. 6. Рекомендации по расчетам параметров режимов осушения и увлажнения сельскохозяйственных земель. — Л., 1981, с. 100. 7. Руководство по глубокому рыхлению осушаемых минеральных почв ВТР-11-27—80—М, 1981, с. 41. 8. Шебеко В. Ф. Гидрологический режим осушаемых территорий. — Минск: Урожай, 1970, с. 300.

УДК 631.62(0,75,5)

МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРИЕМОВ КУЛЬТУРТЕХНИКИ

К. И. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ, кандидат сельскохозяйственных наук

Северный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

Культуртехнические работы выполняют на осушаемых и суходольных землях, которые нельзя использовать без улучшения, например при наличии древесно-кустарниковой растительности, пней, кочек, камней и т. д. Задачи комплекса культуртехнических мероприятий — приведение мелиорируемых земель в состояние, пригодное для интенсивного сельскохозяйственного использования. В последующем система агротехнических мероприятий обеспечивает восстановление почвенного плодородия и дальнейшее окультуривание почв.

Основные виды культуртехнических работ: расчистка площади от древесной растительности и пней, очистка торфяной залежи от погребенной древесины, уничтожение кочек, ликвидация мохового очеса, уборка камня, первичная обработка почвы, планировка и выравнивание ее поверхности.

Основные требования, предъявляемые к проведению культуртехнических работ, следующие:

комплексность и неразрывность культуртехнических работ и гидротехнической мелиорации;

комплексная механизация всего технологического процесса освоения и улучшения мелиорируемых земель;

подбор технологических схем и механизмов для их выполнения, обеспечивающих максимальную производительность и высокое качество работ;

ликвидация сезонности выполнения культуртехнических работ;

выбор методов, способов и приемов освоения и улучшения мелиорируемых земель с учетом намечаемого сельскохозяйственного использования и требований культур;

максимальное сохранение органического вещества и плодородного слоя почвы;

повышение коэффициента использования осваиваемых площадей в сельскохозяйственном производстве;

сокращение сроков ввода площадей в эксплуатацию и ускорение окупаемости капитальных вложений в мелиорацию;

сочетание минимальных затрат труда и средств на освоение или улучшение мелиорируемых земель с максимальным выходом сельскохозяйственной продукции с единицы площади.

Мелиорируемые земли разнообразны по культуртехническим, водным, физико-химическим и другим природным характеристикам. Поэтому при постановке исследований и выборе опытных участков следует учитывать:

степень залесенности и закустаренности, видовой состав, число и диаметр деревьев или пней;

причины и степень избыточного увлажнения;

число, размеры и размещение валунов в почве;

почвенный покров (его механический состав, водно-физические и агрохимические свойства);

мощность гумусового слоя, торфа, дернины, мохового очеса;

происхождение, число и высоту кочек;

степень выраженности микрорельефа.

По составу пород древесную растительность делят на чистую и смешанную. Чистая состоит преимущественно из одной породы (примесь других пород составляет не более 10 %), смешанная — из двух или нескольких пород. В смешанных зарослях естественных древостоев породы размещаются куртинами (группами) или диффузно (относительно равномерное размещение).

Выделяют три основных типа древесной растительности: кустарник, мелколесье, лес. Мелколесье и лес образуют древостой. К кустарникам относят древесную растительность всех пород с диаметром стволов не более 7 см, высотой не более 8 м. К мелколесью относят древесную растительность из одноствольных пород, имеющих диаметр ствола 8 . . . 12 см. К лесу относят древесную растительность из одноствольных пород с диаметром ствола более 12 см, составляющую запас древесины более 40 м^3 на 1 га.

Густоту кустарника определяют визуально по степени зарастности (сомкнутости крон) или подсчетом числа кустов на 1 га. Степень зарастности кустарником выражается процентом покрытия, который определяют как отношение суммы площадей проекций крон кустов к общей площади участка. По густоте различают кустарник: редкий (зарастность до 30 %), средний (30 . . . 60 %) и густой (более 60 %). Густоту древостоя определяют числом деревьев на единицу площади. Кустарник по крупности делят на две группы: мелкий (диаметр ствола менее 4 см, высота до 2 м) и крупный (диаметр 4,1 . . . 8 см, высота более 2 м), а по густоте — на три группы: редкий, средний, густой.

Лес по диаметру стволов подразделяют на следующие группы: очень мелкий (12,1 . . . 16 см), мелкий (16,1 . . . 24), средний (24,1 . . . 32), крупный (32,1 . . . 50), очень крупный (50,1 . . . 80) и толстомерный лес (более 80 см).

Лесокустарниковые заросли характеризуются наличием среди кустарниковой растительности отдельно стоящих деревьев с запасом стволовой древесины менее 40 м^3 на 1 га. При большем запасе стволовой древесины заросли относят к лесу. Лесокустарник по густоте

кустарниковой группы делят на редкий, средний, густой.

Для хозяйственной оценки древесной растительности применяют систему таксационных и эксплуатационных показателей. Основные таксационные показатели: состав (породы, ярусы высот), средняя высота по ярусам, возраст, бонитет, полнота, средний диаметр по породам, запас, товарность. Основные эксплуатационные показатели: положение центра тяжести, форма стволов, содержание коры, густота древостоя, его масса.

Кочки на мелиорируемых землях подразделяют по типу (происхождение), прочности, размеру и густоте. По происхождению кочки бывают растительные, земляные, приствольные, припневые, привалунные. Растительные кочки по прочности подразделяют на прочные, слабопрочные и рыхлые. По высоте кочки делят на карликовые (до 15 см), низкие (15...25), средние (26...50) и высокие (выше 50 см). Закочкаренность определяют по степени покрытия площади кочками и их числу на 1 га.

По степени засоренности камнями поверхности и верхнего слоя (40 см) почвы площади разделяют на слабокаменистые (общий объем камней до 25), среднекаменистые (25...50), сильнокаменистые (50...100) и и очень сильно-каменистые (более 100 м³/га). По диаметру камни делят на мелкие (до 30 см), средние (30...60), крупные (60...100) и глыбы (более 100 см).

Важнейшие методические требования, предъявляемые к опытам и опытным участкам, следующие: типичность опыта; соблюдение принципа единственного различия; проведение опыта на специально выделенном и выравненном по культуртехническим и почвенным условиям участке.

Типичность опыта достигается соответствием условий его проведения почвенно-климатическим, культуртехническим, технологическим и агротехническим условиям, характерным для районов внедрения изучаемых в опыте приемов. В понятие типичности условий входят требование характеристики культуртехнического состояния участка для зоны в целом, высокий уровень технологии, а также достаточная продолжительность проведения исследований, поскольку результаты, полученные в погодных условиях одного сезона и года, отличаются от результатов других сезонов и лет.

Принцип единственного различия заключается в том, что в опыте все факторы, определяющие конечный результат, за исключением тех, влияние которых изучается, должны быть одинаковыми для всех вариантов.

Требование проведения полевого опыта на специально выделенном, выравненном по плодородию и культуртехническим характеристикам участке логически вытекает из принципа единственного различия и не требует особых разъяснений. Несоблюдение этого требования, проведение опытов на случайных, неоднородных по своим свойствам участках может привести к неверным выводам.

Главное требование, которому должен удовлетворять каждый опытный участок, — возможно бóльшая однородность всех природных условий: культуртехнических свойств, рельефа, литологического строения, почвенного покрова и т. д. Однако найти совершенно однородный участок при значительных его размерах (более 10 ... 15 га) практически невозможно. Поэтому в большинстве случаев полевые опыты по культуртехнике приходится закладывать на неоднородных участках. В этих случаях необходимо пользоваться следующими возможными допусками в культуртехнических характеристиках при выборе опытных участков:

заростность — 10 %;
число деревьев на 1 га — 50;
диаметр стволов — 5 см;
высота стволов:
кустарника — 1 м;
деревьев — 3 м;
полнота древостоя — 0,1;
примесь пород — 10 %;
диаметр пней — 10 см;
высота кочек — 10 см;
число кочек — 3 тыс. шт. на 1 га;
засоренность камнями — 10 $м^3$/га
диаметр камня — 10 см;
мощность гумусового слоя — 5 см.

Схему опыта разрабатывают обычно, когда четко сформулированы задачи, стоящие перед опытом, и определена рабочая гипотеза, то есть то или иное предположение о влиянии и взаимосвязи изучаемых факторов и об ожидаемых результатах исследований. Схему опыта составляют его варианты. Один из них, с которым

сравнивают все остальные, называют контролем. При технологических исследованиях целесообразно принимать за контроль схемы, широко применяемые в мелиоративном производстве. Число вариантов опыта определяется задачей, стоящей перед исследованием. Чем больше число вариантов в полевом опыте, тем больше площадь опытного участка и сильнее будет сказываться на результатах неоднородность культуртехнических, почвенных и других характеристик участка, а следовательно, точность опыта будет ниже. Оптимальная схема опыта по технологии культуртехнических работ включает не более 5 . . . 7 вариантов.

Другой важный момент при планировании схемы опытов — установить их повторность, то есть число делянок с одинаковыми вариантами. Несколько делянок в различных частях опытного участка позволяют полнее отразить неоднородность его культуртехнических характеристик и получить более точные средние данные по варианту. Чаще всего в практике опытного дела используют 4-кратную повторность, поскольку при числе повторностей менее 4 резко возрастает ошибка опыта, а при 6 . . . 8-кратной повторности организационно затрудняется проведение работ на участке. Поэтому 6 . . 8-кратную повторность применяют на пестрых по своим свойствам участках, а 3-кратную — лишь в тех случаях, когда методическая сторона исследований хорошо изучена.

Если полевые опыты по технологии проводят в производственных условиях на больших однородных площадях, то культуртехнические работы при закладке опыта выполняют без кратности вариантов. В этом случае все наблюдения и замеры проводят с повышенной кратностью.

Следующий этап — выбор площади и формы опытных делянок.

В опытах по изучению технологических схем по культуртехнике, где изучают состав и последовательность работ, оптимальный размер одной делянки составляет 0,5 . . . 1 га. При изучении отдельных приемов сведения древесной растительности, уборки камней, обработки почвы и т. д., а также в многолетних стационарных опытах, когда предполагается разделить опытные делянки на составные части путем ежегодного наложения дополнительных вариантов, размер опытной делянки может быть уменьшен до 0,1 . . . 0,3 га. В осталь-

ных случаях размер опытной делянки составляет 100... 500 м². Общая площадь опытной делянки всегда бывает несколько больше учетной площади за счет защитных полос, которые выделяют по периметру каждой делянки для устранения влияния соседних вариантов или так называемого краевого эффекта. В технологических опытах боковые защитные полосы вдоль длинных сторон делянок должны иметь ширину, равную трем проходам применяемых машин и орудий. В некоторых случаях, например при использовании фрезерных машин, ширина защитной полосы может быть увеличена в 1,5 раза. Концевые защитные полосы должны составлять 5... 10 м для свободного разворота агрегатов.

Защитные полосы делянок, на которых предусматривается учет урожая, имеют несколько меньшие размеры. Ширина боковых защитных полос составляет 1... 1,5 м, а концевых — 2 м. Эти защитные полосы убирают перед началом учета урожая.

Защитные полосы вдоль магистральных и собирательных каналов в зависимости от их размеров не должны быть уже 20... 60 м (зон влияния кривой депрессии), вдоль открытых осушителей — 10... 15 м, вдоль полевых дорог и лесных просек — 2... 3 м.

Опытные делянки могут иметь квадратную и прямоугольную форму. Во всех случаях обязательно создание условий для использования комплекса необходимых культуртехнических машин и орудий.

При отношении сторон делянок более 10 их называют удлиненными. Удлиненные делянки позволяют наиболее полно отразить неоднородность свойств опытного участка, за счет чего улучшается сравнимость вариантов опыта. Наиболее сильно эффект от удлинения сказывается при увеличении отношения сторон до 10... 15. Дальнейшее удлинение делянок может быть целесообразно для удобства использования культуртехнических машин. Ширину опытных делянок обычно принимают кратной ширине захвата применяемых машин.

Существенное влияние на достоверность опыта оказывает ориентация делянок на опытном участке, особенно при равномерном изменении культуртехнических характеристик в каком-либо направлении. В таких случаях делянки следует располагать длинной стороной вдоль направления изменения свойств участка, поскольку при другом расположении будет нарушен принцип

единственного различия и весь опыт будет забракован. Это следует учитывать при планировании полевых опытов по культуртехнике на осушаемых землях, так как здесь всегда наблюдается неоднородность водного режима почвы в направлении, перпендикулярном осушителям и закрытым дренам. На участках с выраженным уклоном делянки следует располагать вдоль склона.

Несмотря на то что прямоугольные делянки обладают описанными выше преимуществами, в некоторых случаях, например при исследованиях по планировке, уборке мелких древесных остатков и т. п., когда необходимы проходы агрегатов в перекрестных направлениях, целесообразно использовать делянки квадратной формы.

Все возможные случаи размещения вариантов в полевых опытах по культуртехнике подразделяют на три основных метода: стандартный, систематический и рендомизированный.

Стандартный метод отличается от других тем, что в каждой из повторностей намечается несколько делянок с контрольным вариантом (стандартом), которые располагают через одну, две или три опытные делянки с таким расчетом, чтобы каждый вариант можно было сравнивать со своим контролем.

Систематическое размещение вариантов (метод организованных повторений) основано на том, что в каждой повторности варианты располагают одинаково, то есть в одной и той же последовательности. Наиболее распространены последовательное расположение вариантов в один ярус и шахматное — при расположении повторностей в несколько ярусов.

Рендомизированное (случайное) размещение вариантов в каждой повторности носит случайный характер и определяется жребием, поэтому любой из вариантов имеет равный шанс попасть на любую часть опытного участка.

Многофакторные опыты закладывают по методу перекрестного наложения. Часто используют метод расщепленных делянок. В этом случае число делянок одного опыта (делянки первого порядка) делят (расщепляют) на число делянок второго порядка, за счет чего каждая делянка первого порядка служит повторностью для делянок второго опыта, накладываемого на первый. Наибольшее распространение находит метод

расщепленных делянок в опытах по первичной обработке почвы, разложению древесины, срезке гумусового слоя при планировке, восстановлению почвенного плодородия.

При планировании полевых опытов на осушаемых землях необходимо учитывать не только пестроту культуртехнических характеристик, но и неравномерность содержания влаги в почве, обусловленную влиянием осушительной сети. Наиболее распространенная схема расположения делянок при осушении сетью открытых каналов — поперечная, в один ярус. В этом случае делянки нарезают поперек осушителей и каждая из них охватывает всю межканальную полосу. Крайние делянки удаляют от транспортирующего собирателя и истока каналов не менее чем на расстояние между осушителями, чтобы исключить перетекание влаги через боковые границы опытного участка. Иногда опытные делянки располагают на полосе между каналами в два яруса, если обе половины межканальной полосы находятся в одинаковых условиях.

Не следует располагать делянки на одной межканальной полосе в три и более ярусов, а также расщеплять сквозные делянки в поперечном направлении более чем на две части.

Всегда следует отдавать предпочтение продольному расщеплению делянок, чтобы каждая часть расщепленной делянки охватывала полосу от одного до другого канала. Когда бывает необходимо заложить многоярусную схему опыта, каждый ярус располагают на отдельной межканальной полосе.

При закладке опытов на участках, осушенных закрытым дренажем, задача размещения опытных делянок упрощается, но и в этих случаях необходимо, чтобы границы делянок были увязаны с осушительной сетью. Желательно располагать делянки поперек направления дрен, но допустимо и продольное их расположение. Границы делянок должны быть удалены от ближайших открытых и закрытых коллекторов и истоков дрен не менее чем на величину междренного расстояния.

Наблюдения — это количественная или качественная регистрация интересующих исследователя сторон развития явления.

В зависимости от характера опытов при культуртехнических исследованиях проводят наблюдения над:

работой применяемых машин и орудий;

культуртехническими свойствами мелиорируемых земель;

свойствами утилизируемой продукции;

температурой воздуха, снеговым покровом, промерзанием и оттаиванием почвы, осадками и др.;

водным, воздушным, температурным, биологическим и пищевым режимами почвы, ее физическими свойствами;

особенностями роста и развития сельскохозяйственных культур.

Наблюдения подразделяют на основные и сопутствующие.

При основных наблюдениях над технологическими процессами проводят фотографию рабочего дня. Производительность машин и орудий определяют хронометрированием, расчетами баланса рабочего времени, дневной выработкой и фактической выработкой за смену. При технологических наблюдениях учет затрат рабочего времени проводят в 5 . . . 10-кратной повторности.

Чистоту (полноту) срезания, корчевания, вычесывания древесной растительности определяют после прохода машины или орудия по формуле:

$$ч = (a—b)\,100/a,$$

где $ч$ — чистота срезания (корчевание, вычесывание), %; a — число всех стволов (пни) на учетной делянке; b — число стволов, оставшихся несрезанными (невыкорчеванные, невычесанные) после прохода агрегата.

Размер учетной делянки при срезании кустарника и мелколесья — 5 м по ходу машины на ширину захвата, при корчевке — 100 м^2. Повторность 5-кратная. Высоту среза стволов измеряют от поверхности земли до линии среза, а диаметр — по линии среза. Срезанными считают все стволы кустарника или дерева, которые могут быть свободно собраны. Полноту сгребания древесной растительности определяют, учитывая объем древесины на учетной площадке до и после сгребания.

Для определения объема почвы, сгребаемой вместе с выкорчеванной древесной растительностью, пнями или мелкими древесными остатками, выбирают характерные площади, на которых агрегат проходит 20 м, пос-

ле чего собранную массу перетряхивают для отделения почвы от древесины. Собранную почву и древесину взвешивают в отдельности с точностью до 0,1 кг. По общей массе собранной почвы и древесины определяют их объем.

Степень дробления (измельчение) древесины при фрезеровании определяют как отношение массы фракций длиной менее 20 см ко всей массе профрезерованной древесины.

Учет количества древесной щепы, засоряющей поверхность при фрезеровании кустарника и мелколесья, проводят на площадках размером 100 м². Повторность 4...5-кратная. Размеры древесных остатков, характеризующие степень измельчения, определяют разделением древесной массы на фракции 5...10, 20...20, 20...30, 30...40, 40...50 и более 50 см. Фракции длиной менее 5 см не учитывают, так как они не оказывают существенного влияния на работу сельскохозяйственных машин.

Распределение древесины при фрезеровании по глубине определяют на метровых учетных площадках. Профрезерованную массу торфа и древесины извлекают слоями 0...5, 5...10, 10...15, 15...20 и 20...25 см. Число слоев определяют глубиной фрезерования. Профрезерованную массу каждого слоя просеивают через металлические решета с диаметром ячеек 15 мм. Оставшуюся на решетах древесину взвешивают.

Потери гумуса минеральных почв после удаления древесной растительности устанавливают по почвенным разрезам с определением содержания гумуса в процентах:

$$\Delta q = \frac{qh - q_1 h_1}{qh} 100,$$

где q, q_1 — среднее содержание гумуса в почве, %; h, h_1 — мощность гумусового слоя почвы до и после раскорчевки, см.

При использовании культуртехнических машин с активными рабочими органами сохранение естественного плодородия во многом определяется эффективностью сепарации, которая выражается коэффициентом сепарации:

$$k_c = (h - T_н)/h,$$

где h — глубина обработки почвы, см; $T_н$ — условная толщина неотсепарированной земли, вынесенной с единицы обработанной площади,

$$T_н = м_{св}/100\,n,$$

где $м_{св}$ — масса свободной земли, вынесенной с единицы обработанной площади, т; n — плотность обрабатываемого почвенного горизонта, т/м³.

Удаленную с мелиорируемых земель древесину перерабатывают в технологическую щепу для производства строительных материалов или компостируют в почве с целью повышения ее плодородия.

Исследования по использованию некондиционной древесины с мелиорируемых земель для производства строительного деревобетона проводят с учетом ГОСТ на строительные материалы и МРТУ-21-5—64.

Чтобы установить визуальный индекс состояния образца, в древесину при слабом нажиме вводят конец тонкого ножа, ориентированного вдоль волокон. При этом нож может входить только в размягченную древесину.

Для определения степени разложения образцов древесины по показателям механической прочности проводят испытание на сжатие вдоль волокон в абсолютно сухом состоянии. Для сильно разрушенных образцов используют шкалу с пределом максимального нагружения.

Наиболее прост и точен весовой метод определения степени разложения древесины. При этом методе образцы древесины до закладки опыта маркируют, высушивают до абсолютно сухой массы и взвешивают. После определенного срока нахождения в почве их откапывают, отмывают под струей воды, сушат до абсолютно сухого состояния и взвешивают. По разнице массы подсчитывают процент потери каждым образцом древесины. Степень разложения запаханной в почву древесины следует определять по ее визуальным индексам, снижению прочностных свойств и весовым методом. Определение степени разрушения запаханной в почву древесины по визуальным индексам состояния образцов проводят по методике С. Н. Горшина и И. А. Чернцова с использованием специальной индексной шкалы.

Глубину выборки камней определяют путем измерения впадин, образовавшихся после извлечения камней. Число измерений не должно быть менее 50. Полноту выборки камней определяют отношением объема убран-

ных камней к общему их объему на поле до выборки. Повторность 3...5-кратная. Подсчет производят по формуле:

$$\psi = W_в \cdot 100 / W_0 ,$$

где $W_в$ — объем камней, убранных машиной с учетной площади, м³; W_0 — объем камней до выборки, м³.

Изменение фракционного состава камней после прохода машины определяют на тех же участках до прохода машины.

Для определения степени засоренности почвой убираемой массы камней выбирают характерный участок, на котором агрегат проходит 20...50 м (в зависимости от каменистости участка). Собранную массу перетряхивают до отделения почвы от камней. Почву и камни взвешивают в отдельности с точностью до ±0,1 кг. По общей массе собранной почвы и камней через их плотность определяют объем почвы и камней, собранных с учетной делянки. Повторность определений 5-кратная. На основании полученных данных определяют степень засоренности почвой убираемых камней по формуле:

$$\eta = W_п \cdot 100 / W_п \cdot W_к ,$$

где $W_п$ — объем почвы, м³; $W_к$ — объем камней, м³.

Экономическую эффективность при исследованиях по культуртехнике определяют с учетом трудовых затрат, энергоемкости, металлоемкости, себестоимости работ и приведенных затрат. При этом необходимо учитывать эффект от сохранения почвенного плодородия, сокращения сроков ввода объектов в эксплуатацию, а также улучшение организации работ.

Существующие методические основы проведения исследований по культуртехнике в каждом конкретном случае следует корректировать с учетом поставленной цели и задач экспериментальной работы. При необходимости вопросам методики могут быть посвящены специальные исследования, которые в целом расширяют и углубляют представления о существующих методиках исследований культуртехнических мелиораций.

УДК 631.62

ПОСТАНОВКА ОПЫТОВ ПО ОКУЛЬТУРИВАНИЮ ОСУШАЕМЫХ ПОЧВ

Х. Н. СТАРИКОВ, кандидат сельскохозяйственных наук

Смоленский филиал Всесоюзного ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова

Единых рекомендаций по окультуриванию почв из-за большого разнообразия осушаемых земель быть не может. Существующие рекомендации необходимо уточнять применительно к почвенным и климатическим условиям, возможностям хозяйств и строительных организаций. Это уточнение особенно важно в связи с появлением новых технических средств в мелиорации и окультуривании земель. Однако, чтобы получить достоверные и сравнимые научные данные при проведении опытных работ, необходимо придерживаться единой методики.

Перед проведением опыта участок обследуют для определения предшествующего использования, рельефа, условий водного режима, свойств поверхности почвы и характера почвенного покрова. При описании последнего особенно важно обратить внимание на глубину залегания и характер подстилающих пород, на степень окультуренности и оструктуренности всего профиля почвы.

Для характеристики исходных свойств почв на опытном участке определяют (в зависимости от задач опыта) физические и водно-физические свойства почвы (агрегатный и механический состав, плотность твердых частиц, плотность, влагоемкость полную, капиллярную и наименьшую, максимальную гигроскопичность, водопроницаемость), скважность и аэрацию, агрохимические свойства почвы (содержание гумуса, общего и гидролизуемого азота, кислотность, валовые запасы фосфора, калия, кальция и других элементов питания растений, состав поглощенных оснований и емкость поглощения, наличие полуторных окислов и др.).

При почвенном обследовании торфяников дополнительно устанавливают тип болота, строение торфяной залежи, характер подстилающих минеральных грунтов, наличие погребенной древесины и минеральных включе-

ний (железняк, вивианит и др.), определяют ботанический состав, степень разложения и зольность торфа.

Агрофизическую и агрохимическую характеристики опытных полей и участков дают по генетическим горизонтам на всю глубину почвенного профиля, но не менее чем на 0,3...0,5 м ниже дна осушителей. Исследуют также химизм почвенно-грунтовых вод. Естественный растительный покров описывают по методике, принятой при лесотаксационных и геоботанических обследованиях. На основании данных обследований составляют культуртехническую (геоботаническая) и почвенную крупномасштабные (1 : 2000) карты опытной и прилегающей площади с нанесением мелиоративной сети и горизонталей рельефа местности.

Кроме вопросов, освещающих природные условия обследуемых массивов, изучают условия и возможность проведения работ по освоению новых земель и улучшению сельскохозяйственных угодий.

Полевые опыты на осушаемых землях (включая рекультивацию карьеров, использование подтапливаемых земель, использование сточных вод и т. д.) могут быть многолетними и краткосрочными, в соответствии с поставленными задачами. При планировании их предусматривают принятую для зоны передовую агротехнику, обеспечивающую поддержание в почве благоприятных для культурных растений водного, воздушного, питательного и других режимов. Например, на торфяных почвах Полесья и большинства областей нечерноземья нет необходимости оставлять вариант без внесения калийных удобрений, чтобы доказать важность калия для формирования полноценного урожая. В опытах с удобрениями необходимо установить их оптимальные дозы и соотношение применительно к конкретным условиям.

На каждый опыт заводят полевой журнал, который ведет один ответственный исполнитель. Все записи в журнал заносят в день проведения работ или наблюдений сопутствующих явлений. Фиксирование данных должно быть в такой форме, чтобы пользоваться ими мог любой специалист даже через значительное время после наблюдений.

Целесообразно проектировать и строить осушительные и осушительно-увлажнительные системы специально для закладки опытов по окультуриванию.

Основные требования к опытному участку:

типичность для данной зоны, региона или массива;

ровный или со слабым уклоном рельеф, глубина бессточных понижений 15...20 см и более нежелательна;

расположение всех вариантов опыта на одном элементе рельефа;

почвогрунт на глубину закладки осушителей должен быть однотипным; условия водного питания в пределах опытного участка также должны быть одинаковые;

одинаковое хозяйственное использование площади в предыдущие годы;

технология и сроки закладки дрен или открытых осушителей и параметры регулирующей сети должны быть одинаковыми;

приемлемое минимальное число дрен в варианте — пять, в том числе не менее трех учетных; в зависимости от задач исследований допустимо заложение каждого варианта над одной дреной; в многофакторных опытах над одной дреной можно располагать несколько вариантов, но не менее чем в четырех повторениях;

при закладке опытов на открытой осушительной сети все варианты располагают в одинаковых условиях водного режима;

каждый вариант должен быть защищен от притока воды извне;

варианты должны быть обеспечены сооружениями для измерения поверхностного и дренажного стоков, уровней грунтовых вод, их напора.

Размер, форму и число повторностей вариантов или опытных участков выбирают в зависимости от характера изучаемых вопросов, пестроты плодородия почвы, рельефа, хозяйственных и других условий. Во всех случаях (кроме микроделянок) предусматривают создание условий для механизированной обработки почвы и ухода за посевами. При громоздких вариантах целесообразно парное расположение делянок. На комплексных почвах желательно иметь не менее трех повторений. Названные требования по отдельным позициям могут быть изменены в соответствии с требованиями опыта. На опытном участке должна быть оборудована метеорологическая площадка.

Помимо показателей ближайшей метеорологической станции, необходимо определять непосредственно на опытном участке объем атмосферных осадков, высоту

снегового покрова, запасы воды в нем, сроки установления и схода снега, глубину промерзания и температуру почвы по вариантам, а также аномальные атмосферные явления: воздушную засуху, ливни, град, гололед, проявления ветровой или водной эрозии и др.

Ежегодные повторения опыта рассматриваются как повторности во времени, если почвенные, гидрологические и другие условия опытных участков одинаковые. Для правильной оценки опытов, исключения случайности влияния метеорологических условий в большинстве опытов обязательны не менее 2...3 таких повторений с изучением последействия вариантов.

Проверочные опыты в производственных условиях на больших площадях можно закладывать без повторностей. При их постановке следует исходить из условия, что урожаи возделываемых культур должны быть устойчиво высокими при любых погодных условиях за счет применения научно обоснованного комплекса мелиоративных и агротехнических мероприятий, разработанных для данных условий.

Защитные полосы вдоль магистральных и собирательных каналов не должны быть менее зоны влияния кривой депрессии (20...60 м), вдоль полевых дорог 2...3 м и между вариантами минимально 1...2 м. Их засевают той же культурой, что и в опыте.

При обработке почвы, посеве и уходе за посевами необходимо обязательно фиксировать влажность почвы, качество ее разделки, погодные условия, перерывы в работе и их причину, подмеченные недостатки в работе применяемых машин и орудий и т. д.

Уборка и учет урожая — самые ответственные периоды, так как малейшая небрежность может привести к большим погрешностям в подсчетах и даже неверным выводам. Если посевы на учетной части опытных делянок подвергались случайным воздействиям (потрава, затаптывание, вымочка, куртинное уничтожение вредителями) или на них были нарушения (огрехи, ямы от пробуксовки колес или гусениц и т. д.), то урожай с поврежденных участков не учитывают. Исключают из учета также площадки, где ранее лежали скирды сена, соломы, штабеля (кучи) навоза и др. Кроме посевов на поврежденной площади, следует выключать примыкающие посевы на расстоянии не менее 2...3 междурядий, так как растения на них находились в аномальных

условиях освещения, питания и т. д. Выключенные площади замеряют и результаты заносят в журнал.

Вся работа по учету урожая должна быть завершена за один и, как исключение, за два дня, если не на всех учетных делянках опыта, то обязательно на всех учетных делянках одной повторности. Это же относится ко всем полевым работам, фенологическим, почвенно-мелиоративным и иным сопутствующим наблюдениям.

Для полной характеристики изучаемых вариантов необходимо определить их экономическую эффективность. Приемы и способы окультуривания необходимо оценивать по следующим экономическим показателям:

прибавкам урожая в натуральном и денежном выражении (по единым закупочным ценам);

дополнительным прямым затратам, на проведение данного приема или комплекса приемов, исчисленным по фактической или плановой стоимости хозяйства (организации);

доходу от проведения новых приемов или способов окультуривания почв из расчета на 1 га и на 1 р. дополнительных затрат.

Приводим несколько примерных схем опытов по окультуриванию осушаемых земель.

А. Освоение закустаренных торфяников: срезка кустарника + подкорчевка оставшихся пней первичная обработка почвы; корчевание кустарника первичная обработка почвы; измельчение кустарника и перемешивание его с почвой на глубину пахотного слоя; вычесывание кустарника первичная обработка.

Б. Первичная обработка торфяных почв без кустарника: вспашка на глубину 30 . . . 35 см + разделка пласта; фрезерование + вспашка на ту же глубину + разделка пласта; фрезерование без вспашки; фрезерование + вспашка плугами со снятыми отвалами + разделка пласта.

В. Первичная обработка чистых минеральных почв: вспашка на глубину гумусового слоя + разделка пласта; фрезерование + вспашка на глубину гумусового слоя + разделка пласта; фрезерование без вспашки; двухъярусная (послойная) вспашка + разделка пласта; вспашка с припахиванием подстилающего гумус слоя + + разделка пласта.

Г. Агромелиоративные мероприятия на тяжелых поч-

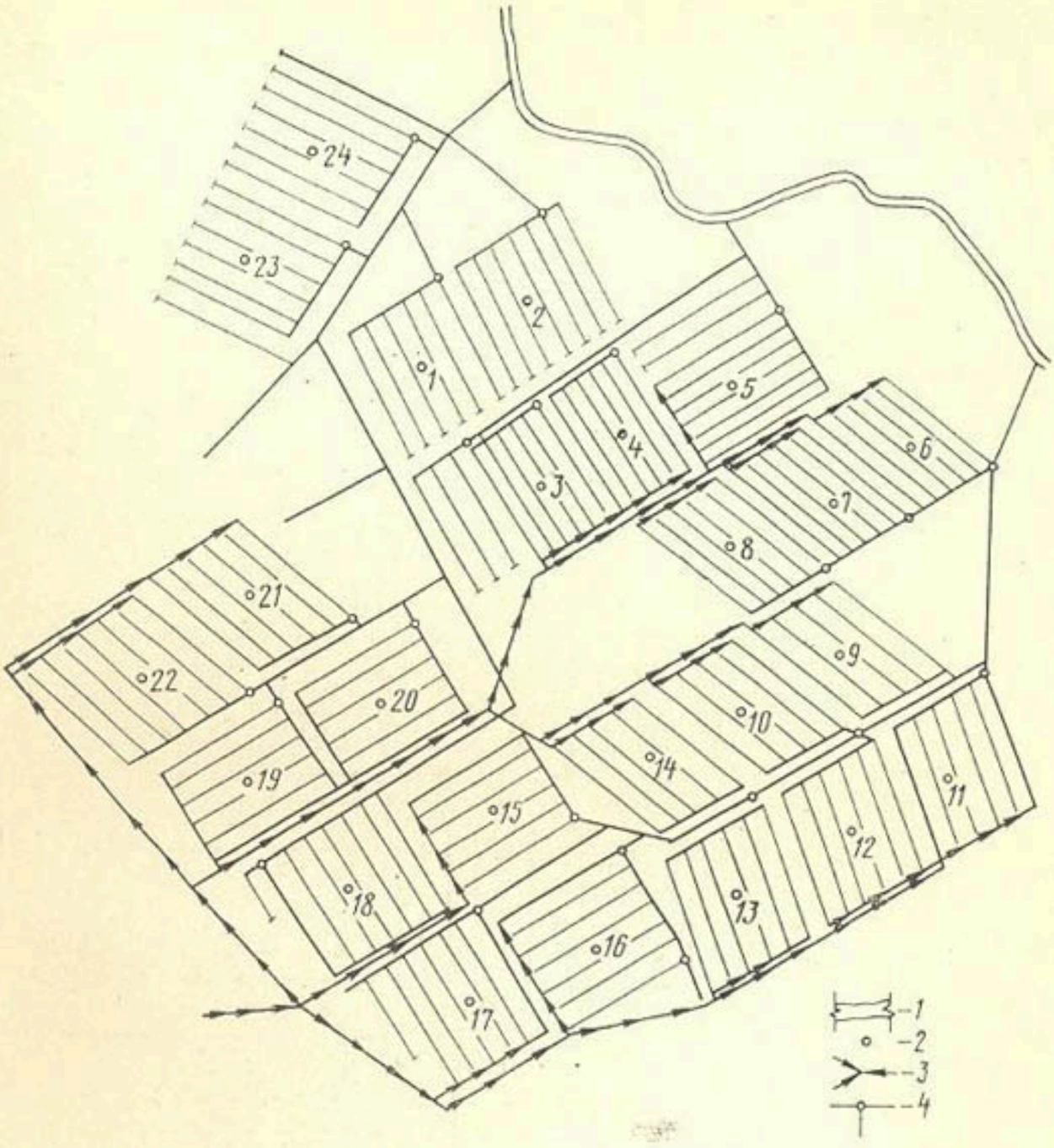


Рис. 1. Схема коллекторно-дренажной сети опытного участка «Молодая»:

1 — водоприемник; *2* — номер участка и точки основных наблюдений; *3* — оросительная сеть; *4* — смотровой колодец с регулятором стока.

вах: кротование; щелевание; глубокое рыхление; плантажная вспашка.

Названные примерные схемы далеко не исчерпывают возможные варианты опытов. Можно ставить опыты со сравнительными способами измельчения или корчевания кустарника, уборки камней, по рекультивации выработанных торфяников, с поливом сточной и чистой водой, с использованием различных доз, способов и сроков внесения минеральных удобрений и извести, с различными сроками проведения обработки почв; можно

проводить опыты по оценке влияния отдельных сельскохозяйственных культур (сидераты и пропашные) на плодородие почв и т. д.

Для примера приведен фрагмент схемы коллекторно-дренажной и оросительной сети (без ограждающей) экспериментального участка объекта «Молодая» Смо-

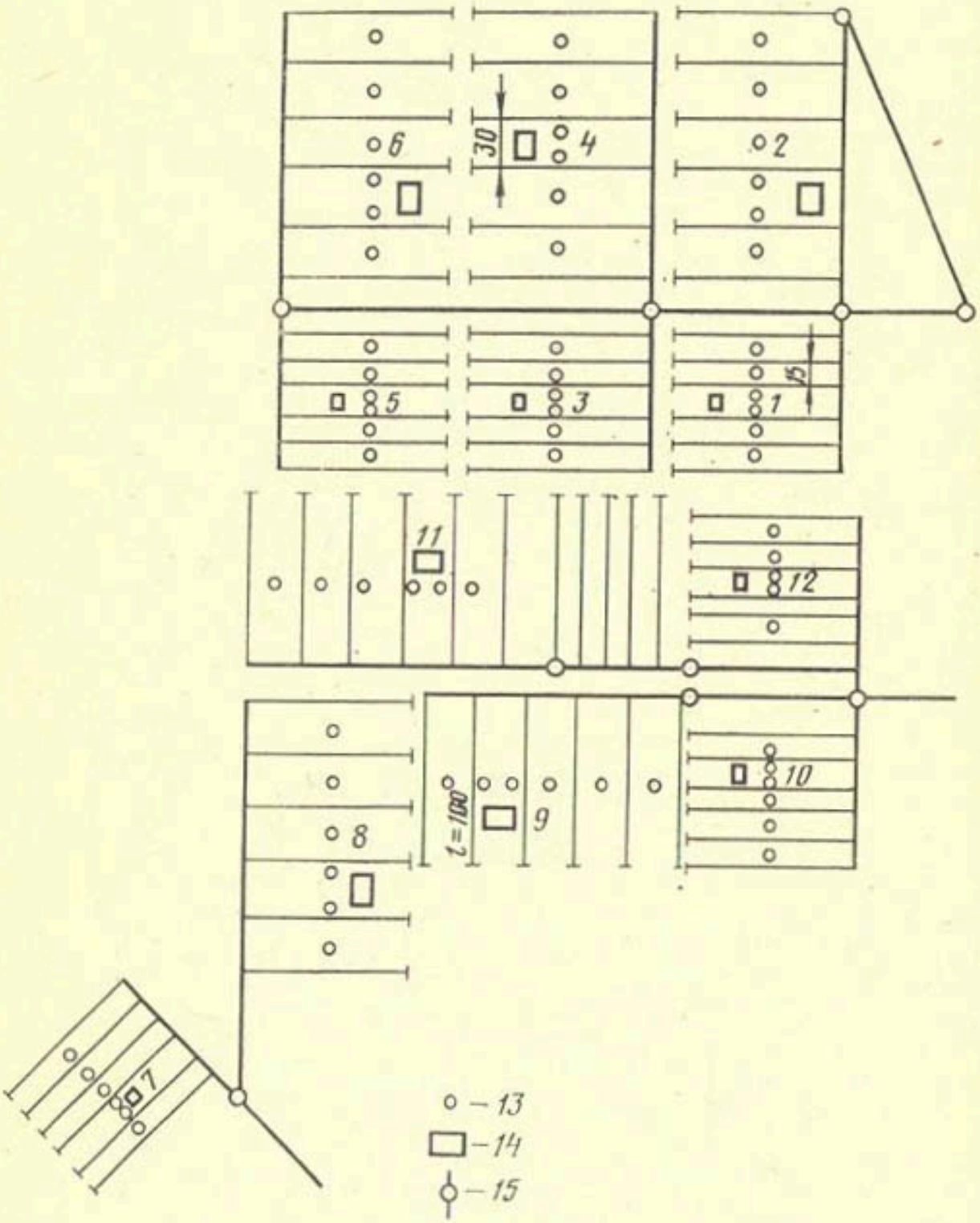


Рис. 2. План коллекторно-дренажной сети опытного участка «Пындино». Варианты опыта:

1, 2 — кротование; *3, 4* — контроль; *5, 6* — глубокое рыхление; *7, 8* — постепенное углубление пахотного слоя; *11, 12* — глубокое рыхление и углубление пахотного слоя; *13* — скважина; *14* — площадка для наблюдения; *15* — смотровой колодец.

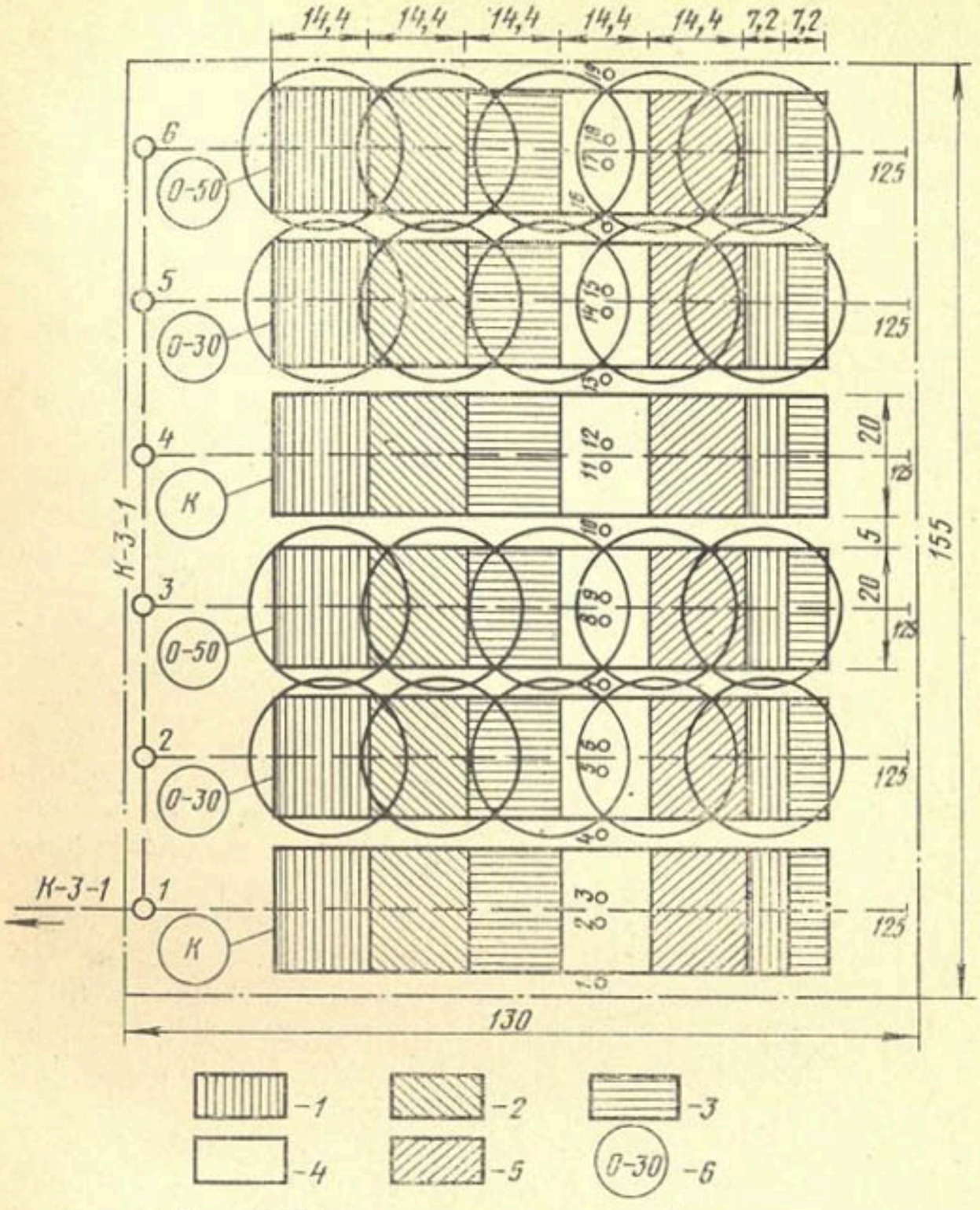


Рис. 3. Схема опытного участка «Грасенки»:
1 — ежа сборная; *2* — костер безостый; *3* — овсяница.

ленского филиала ВНИИГиМ, запроектированной под опыты по окультуриванию (рис. 1). На схеме приведены 24 самостоятельные и почти равновеликие системы, позволяющие заложить 6 вариантов в 4-кратной повторности или 8 вариантов в 3-кратной повторности. При этом на 20 системах предусмотрено подпочвенное увлажнение по дренам с подачей воды в верховья дрен. Системы расположены так, что допускают расположение вариан-

тов по окультуриванию парным методом: контрольный вариант располагают посредине двух испытуемых (тройственные комбинации) или в окружении последних. В этом случае схема позволяет изучать не менее 16 вариантов одновременно.

На рисунке 2 представлен план опытного участка «Пындино» Смоленского филиала ВНИИГиМ, на котором по фону двух междренных расстояний изучали пять различных агромелиоративных приемов. Схема опыта позволила иметь 2-кратную повторность.

Примером расположения вариантов над одной дреной является опытный участок «Грасенки» Смоленского филиала ВНИИГиМ (рис. 3). Схема предусматривает две расчетные глубины промачивания почвы (два водных режима, создаваемых дождеванием) под посевами отдельных видов многолетних трав. Каждый вариант водного режима площадью 1 400 м^2, включая контрольный, расположен в зоне действия одной дрены, впадающей в смотровой колодец. Поперек их высеяны в чистом виде пять видов многолетних трав (возможны и другие варианты) с площадью делянок 280 м^2. Повторность в данном опыте 2-кратная. За четыре года эксплуатации этого участка изучен режим водопотребления отдельных видов трав с урожайностью не ниже 12,5 т/га воздушно-сухой массы, определены биоклиматические коэффициенты водопотребления. На этом же участке было доказано, что ежегодное внесение азотных удобрений в количестве 300 кг и калийных 240 кг действующего вещества на 1 га по фону дождевания не приводило к избыточному накоплению этих элементов в почве. Однако внесение фосфорных удобрений в дозе 90 кг/га действующего вещества без орошения привело к избыточному накоплению подвижного фосфора в почве.

УДК 631.61 (0,75.5)

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОКУЛЬТУРИВАНИЮ МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

И. М. ЕМЕЛЬЯНОВА, кандидат сельскохозяйственных наук

Северный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

Методика проведения исследований по окультуриванию мелиорируемых земель имеет ряд особенностей по сравнению с методикой исследований на землях, не требующих осушения. В опытах, проводимых на мелиорируемых землях, необходимо учитывать неравномерность увлажнения, обусловленную влиянием осушительной сети. В этой связи расположение делянок увязывают с расположением осушительной сети на опытном участке. В противном случае будет нарушен главный принцип методики — принцип единственного различия.

В зависимости от изучаемого приема окультуривания и способа осушения делянки можно расположить поперек или вдоль осушителей. Однако в большинстве опытов предпочтительнее поперечное расположение опытных делянок, особенно на участках, осушенных закрытым дренажем. При продольном расположении резко возрастает площадь опытной делянки, а это сопряжено с увеличением почвенной пестроты, которая особенно характерна для вновь осваиваемых земель. Также возможна неравномерность условий увлажнения из-за неодинаковой работы различных дрен. Продольное расположение допустимо на системах с открытой осушительной сетью в опытах по изучению приемов обработки и внесения больших доз извести, органических удобрений, то есть где применяют технику. Опытные делянки при любом расположении следует размещать в один ярус. В этом случае каждая делянка охватывает всю межканальную и междренную полосу и все делянки расположены в одинаковых условиях увлажнения и полностью отражают водный режим участка. Допустимо расположение делянок на межканальной (междренной) полосе в два яруса только в том случае, когда обе половины межканальной полосы находятся в одинаковых условиях увлажнения.

При планировании опытов с расщепленными делянками, расположенными поперек дрен, следует предусматривать продольное их расщепление, в отдельных случаях допустимо расщеплять делянки в поперечном направлении, но не более чем на две части.

При продольном расположении опытных делянок расщепление их рекомендуется проводить в поперечном направлении. Продольно расщеплять делянки пополам допускается только в случае равномерного увлажнения обеих половин межканальной полосы.

Необходимо учитывать расположение делянок относительно всех элементов осушительной сети. Так, крайние делянки должны быть удалены от транспортирующего собирателя на расстояние, не меньшее расстояния между осушителями.

Изучая эффективность какого-либо приема окультуривания почвы при различных способах или разной интенсивности осушения, нельзя проводить посев на всех вариантах осушения одновременно. При разных способах осушения готовность почвы к севу разная, то есть, чтобы получить максимальный урожай, необходимо правильно определить время высева культуры.

При планировании опытов по окультуриванию особое внимание необходимо уделять выровненности опытного участка. Вновь осваиваемые мелиорируемые земли часто характеризуются большой пестротой. В связи с этим до закладки опыта по каждому намеченному варианту определяют исходные свойства почвы.

Опыты закладывают на участках с хорошо работающими осушительными или осушительно-увлажнительными системами, однородными по водному режиму, рельефу поверхности, свойствам почв и др.

Допустимые пределы отклонений следующие. Разница во влажности почвы на различных вариантах опыта не должна превышать 5 % полной влагоемкости. На участках с грунтовым питанием при глубине уровня грунтовых вод менее 70 см от поверхности земли различия не должны превышать 5 см; при глубине 70... 100 см — 10 см; при глубине ниже 100 см — 20 см.

При общем среднем уклоне менее 0,005 уклоны поверхности сравниваемых вариантов не должны отличаться более чем на 0,002; при общем среднем уклоне более 0,005 — на 0,004. Процент различия механического состава почв не должен превышать I ступень по клас-

сификации Н. А. Качинского (не более 10 % по содержанию фракций глины). Если опыты закладывают на двучленном наносе, то разница по сравниваемым вариантам не должна превышать 0,2 м при средней мощности верхнего слоя менее 0,7 и 0,3 м для слоя более 0,7 м. Разница в засоренности почвы камнями и погребенной древесиной должна быть не более 10 % (относительные). По мощности гумусового горизонта разница не должна превышать 2...3 см, валовому содержанию гумуса для вновь осваиваемых почв — 1 %, для старопахотных — 0,3 %. По показателю pH для кислых почв разница не должна превышать 1, для слабокислых почв — 0,5, по валовому содержанию азота — не более 0,1 %, по содержанию элементов питания в допустимых для растений формах — 5...7 % (относительные).

На вновь осваиваемых землях опытный участок располагают в пределах площади, которая имела одинаковую культуртехническую характеристику (степень заростности, возрастной и породный состав, закочкаренность, закамененность, выраженность микрорельефа; на болотах — засоренность погребенной древесиной, наличие мохового очеса). На старопахотных землях под опытный участок выбирают площадь, на который в течение последних 3...4 лет не было различий в применяемой агротехнике возделывания культур. В целом участок можно считать пригодным для проведения полевого опыта в том случае, если предельные отклонения отдельных измерений всех показателей, характеризующих участок, от среднего для всего участка в 2...3 раза меньше той наименьшей существенной разницы, которую предполагают получить по вариантам планируемого опыта.

Все опыты по окультуриванию мелиорируемых земель должны быть многофакторными. Эффективность приемов окультуривания (обработка почвы, применение удобрений и извести, создание глубокого высокоплодородного пахотного слоя) следует оценивать в зависимости от интенсивности осушения. Действие каждого приема окультуривания целесообразно изучать на фоне применения комплекса других приемов окультуривания, так как мелиорируемые земли, как правило, характеризуются невысоким плодородием и эффективность отдельных приемов проявляется только при создании оптимального фона. Например, никакие рациональные прие-

мы обработки не будут эффективными в должной мере на кислых почвах с низким содержанием элементов питания в доступных для растений формах.

Полевые опыты по окультуриванию на мелиорируемых землях обязательно должны быть многолетними, чтобы установить зависимость между действием применяемых приемов и водным режимом в разные по влагообеспеченности годы. Кроме того, необходимо установить продолжительность периода окультуривания почв различного плодородия. В настоящее время это очень актуально, так как в ряде регионов мелиорации проводят на землях, вышедших из-под леса, для которых продолжительность периода окультуривания еще не установлена. На вновь осваиваемых землях в отличие от старопахотных эффективность приемов окультуривания следует оценивать не только в зависимости от естественного плодородия почв, но также с учетом степени его нарушения в зависимости от состава и способа производства культуртехнических работ. Имеет свои особенности и комплекс наблюдений в опытах, заложенных на мелиорируемых землях, над водным режимом почвы (уровни грунтовых вод, влажность, размер поверхностного и дренажного стока) и ее водно-физическими свойствами (плотность, влагоемкость, водопроницаемость). В тех случаях, когда приемы окультуривания оказывают влияние на физические свойства почвы и ее водный режим, например применение агромелиоративных обработок, добавка минерального грунта к торфяным почвам, наблюдения проводят по всем вариантам опыта. Если изучаемые приемы не влияют на водно-физические свойства и водный режим, то за ними наблюдают лишь на контрольном варианте для составления общей характеристики условий увлажнения почв и в последующем для получения выводов о действии окультуривания в зависимости от отрегулированности водного режима. Обязательно на мелиорируемых землях определять размер выноса элементов питания с дренажными водами в зависимости от интенсивности осушения, типа почвы, ее механического состава и окультуренности, доз вносимых органических и минеральных удобрений и извести, состава возделываемых культур. Размер выноса необходимо определять для уточнения доз вносимых удобрений и разработки мероприятий по защите окружающей среды от загрязнения. Последнее особенно

важно, так как при окультуривании вносят очень большие дозы удобрений. Также обязательно наблюдать не только за общим содержанием, но и качественным составом гумуса, перераспределением его по профилю, так как количество его в почвах избыточного увлажнения не является надежным критерием плодородия, а снижение содержания гумуса в первые годы освоения — это признак ухудшения плодородия.

В связи с тем что при окультуривании мелиорируемых почв широко применяют приемы химической мелиорации (внесение извести, минеральных удобрений, химмелиорантов, способствующих улучшению водно-физических свойств почвы), необходимо изучать их влияние на качество растительной продукции. При этом следует обращать внимание на влияние применяемых приемов на соотношение основной и побочной продукции, содержание в продукции углеводов, белков, витаминов, токсичных веществ или веществ, которые могут быть токсичными. В опытах по окультуриванию мелиорируемых земель необходимо также наблюдать за метеорологическими условиями, агрохимическими свойствами почвы, ее питательным режимом и биологической активностью, фенологическим развитием и урожайностью сельскохозяйственных культур.

В опытах по изучению приемов окультуривания мелиорируемых почв исследуют следующее:

водный режим почвы (влажность, уровни грунтовых вод, дренажный и поверхностный сток);

водно-физические свойства почвы (плотность, плотность твердых частиц, полная влагоемкость, наименьшая влажность, максимальная молекулярная влагоемкость, водопроницаемость);

агрохимические свойства почвы (содержание и качественный состав гумуса, гидролитическая кислотность, сумма поглощенных оснований);

вынос элементов питания с дренажным стоком;

питательный режим и биологическую активность почвы (содержание азота (гидролизуемый, нитритный, аммиачный), содержание подвижного фосфора, содержание обменного калия, биологическая активность);

метеорологические условия вегетационного периода (осадки, температура воздуха);

развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур (фенология, урожайность);

качество растительной продукции (содержание белков, углеводов, жиров, витаминов, крахмала; содержание токсичных веществ, соотношение основной и побочной продукции, лежкость); и др.

Особое внимание при проведении опытов по окультуриванию мелиорируемых земель следует обратить на экономическую оценку отдельных приемов окультуривания и их комплекса в связи с большим размером капиталовложений в мелиорацию, которые необходимо окупить в нормативные сроки. Выполнение рационального комплекса приемов повышения плодородия, как правило, приводит к снижению срока окупаемости не только на окультуривание, но и на осушение, то есть на мелиорацию в целом.

УДК 631.6 : 631.4 : 681 : 14

МЕТОДИКА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПИТАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА МЕЛИОРИРУЕМЫХ ПОЧВ ПРИ ПРОГРАММИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ

Т. П. ПОПОВА, кандидат сельскохозяйственных наук
Г. А. МАЛЫШЕВА, кандидат сельскохозяйственных наук
И. М. ЕМЕЛЬЯНОВА, кандидат сельскохозяйственных наук

Северный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

Условия получения программируемых урожаев на мелиорируемых землях значительно отличаются от условий на немелиорированных землях. Мелиорация обеспечивает улучшение водно-воздушного режима почвы, однако для мелиорируемых земель, особенно вновь осваиваемых, характерно невысокое плодородие. Поэтому регулирование питательного режима здесь имеет решающее значение. Кроме того, после осушения торфяных почв наблюдается ухудшение теплового режима, который на северо-западе и востоке Нечерноземья является лимитирующим фактором получения высоких и устойчивых урожаев.

В основу планирования потенциально возможных размеров урожайности положены агроклиматические ресурсы. Однако потенциальная урожайность, рассчитанная по агроклиматическим ресурсам, должна корректироваться с учетом плодородия почвы и регулирования водного режима.

При расчете потенциальной урожайности по приходу фотосинтетически активной радиации (ФАР) плодородие почвы и отрегулированность водного режима учитывают путем выбора соответствующего коэффициента использования ФАР. Обобщение экспериментального материала по использованию ФАР сельскохозяйственными культурами на мелиорируемых землях позволяет рекомендовать применение в расчетах следующих коэффициентов использования ФАР (табл. 1).

В формулы расчета потенциально-возможной урожайности по значению влагообеспеченности, гидротермическому показателю и биоклиматическому потенциалу следует вводить показатель балльной оценки почвы

$$У = W \cdot Б/10\,k, \qquad (1)$$

где $У$ — урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га; W — ресурсы продуктивной влаги, мм; $Б$ — бонитет почвы, балл; $к$ — коэффициент водопотребления культуры.

$$У = (22ГТП - 10)\,Б/100, \qquad (2)$$

где ГТП — гидротермический показатель, балл; остальные обозначения те же, что в формуле 1.

$$У = 0{,}7БКП \cdot Б, \qquad (3)$$

где БКП — биоклиматический потенциал.

На участках с грунтовым питанием, где уровни грунтовых вод поддерживаются на оптимальных для сельскохозяйственных культур глубинах, а также на осушительно-увлажнительных системах растения не испытывают недостатка влаги и проводить расчет потенциальной урожайности по формуле 1 нет необходимости. Значение потенциальной урожайности, рассчитанное по ГТП и БКП для участков, расположенных на осушительно-увлажнительных системах, следует увеличивать на значение прибавки урожайности от увлажнения: капуста поздняя — на 14...16 т/га, капуста ранняя — 9...12 т/га, морковь — 7,5...9,5 т/га, свекла столовая — 6,5...7,5 т/га, картофель поздний — 6...7 т/га, картофель ранний — 4...5 т/га, пастбище (корм. ед.) — 2,5...3 т/га.

Значение урожайности по абсолютно сухой биомассе в значения урожайности по основной продукции при стандартной влажности переводят по формуле:

$$У_1 = 100У/(100 - W)\,\alpha, \qquad (4)$$

1. Коэффициенты использования ФАР различными сельскохозяйственными культурами, %

Культура	Осущительные системы			Осушительно-увлажнительные системы	
	низкое плодородие (<40 баллов)	среднее плодородие (40 . . . 60 баллов)	высокое плодородие (>60 баллов)	среднее плодородие	высокое плодородие
Озимая рожь	0,5...1,0	1,0...1,8	1,8...2,3	1,3...2,0	2,1...2,8
Озимая пшеница	0,5...0,9	0,9...1,7	1,7...2,4	1,2...2,4	2,4...2,9
Яровая пшеница	0,5...0,9	0,9...1,7	1,7...2,2	1,3...2,5	2,5...2,8
Ячмень	0,5...1,0	1,0...1,8	1,8...3.0	1,4...2,3	2,3...3,5
Овес	0,6...1,1	1,1...1,8	1,8...2,6	2,3...2,6	2,6...3,2
Картофель	0,7...1,0	1,0...1,6	1,6...2,8	1,4...2,5	2,5...3,8
Морковь	0,7...1,0	1,0..,1,6	1,6...2.3	1,8...2,5	2,5...3,0
Капуста белокочанная	0,4...0,6	0,6...0,9	0,9...1,1	1,2...1,3	1,3...1,5
Свекла столовая и кормовая	0,8...1,2	1,2...1,8	1,8...2,4	1,8...2,4	2,4...3,0
Лук	0,3..,0,5	0,5...0,7	0,7...1,0	0,9...1,1	1,1...1,4
Турнепс	0,9...1,4	1,4...2,3	2,3...3,3	1,9...2,8	2,8...3,8
Гибрид брюквы с кормовой капустой	0,9...1,2	1,2...1,7	1,7...2,4	1,6...2,3	2,3...2,9
Однолетние травы	0,7...0,9	0,9...1,3	1,3...2,0	1,3...2,0	2,0...2,8
Многолетние травы	0,5...0,7	0,7...1,4	1,4...2,3	1,8...2,5	2,5...4,0

2. Значения соотношений основной и побочной продукции при стандартной влажности

Культура	Коэффициент использования ФАР на почвах различного плодородия, %					
	низкого		среднего		высокого	
	0,5...1,0	1,0...1,5	1,0...1,8	1,8...2,5	1,5...2,5	2,5...3,5
Озимая рожь	1:1,5...1,6	1:1,7...1,8	1:1,5...1,6	1:1,7...1,8	1:1,5...1,6	1:1,6...1,7
Озимая пшеница	1:1,3...1,4	1:1,6...1,7	1:1,4...1,6	1:1,6...1,7	1:1,3...1,5	1:1,4...1,6
Яровая пшеница	1:1,1...1,2	1:1,4...1,5	1:1,2...1,4	1:1,4...1,5	1:1,1...1,2	1:1,3...1,4
Ячмень	1:1,2...1,4	1:1,5...1,6	1:1,3...1,5	1:1,5...1,6	1:1,2...1,3	1:1,4...1,5
Овес	1:1,3...1,5	1:1,5...1,7	1:1,4...1,6	1:1,6...1,7	1:1,3...1,4	1:1,5...1,6
Картофель	1:0,3...0,4	1:0,5...0,6	1:0,4...0,5	1:0,5...0,6	1:0,3...0,5	1:0,4...0,5
Морковь, свекла столовая	1:0,2...0,3	1:0,3...0,4	1:0,2...0,3	1:0,3...0,4	1:0,2...0,3	1:0,3...0,4
Капуста белокочанная	1:0,2	—	1:0,2...	—	1:0,2	—
Свекла кормовая	1:0,2...0,3	1:0,4...0,5	1:0,3...0,5	1:0,5...0,6	1:0,3...0,4	1:0,4...0.5
Турнепс	1:0,2...0.3	1:0,3...0,4	1:0,3...0,4	1:0,4...0,5	1:0,3...0,4	1:0,4...0,5
Гибрид брюквы с кормовой капустой	1:0,6...0,7	1:0,7...0,9	1:0,6...0,8	1:0,8...1,0	1:0,6...0,7	1:0,7...0,9
Однолетние и многолетние травы	1:0	1:0	1:0	1:0	1:0	1:0

4. Процент выноса элементов питания из почвы различного плодородия

Культура	Низкое			Среднее			Высокое		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Зерновые, однолетние травы	15...17	6...7	16...18	13...15	5...6	13...15	12...13	4...5	11...13
Пропашные, многолетние травы	20...29	8...9	22...25	17...20	7...8	19...22	16...17	6...7	17...19

где $У_1$ — урожайность основной продукции при стандартной влажности, т/га; $У$ — урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га; W — стандартная влажность основной продукции, %; α — сумма частей в отношении основной продукции к побочной.

Показатель α в значительной степени зависит от количества вносимых удобрений: при высоких дозах минеральных удобрений возрастает доля побочной продукции в общей биомассе урожая. Применение же высоких доз необходимо на плодородных почвах при большом размере запланированной урожайности, а на почвах низкого плодородия — даже и при внесении удобрений из расчета на получение средних урожаев.

Обобщенные данные, отражающие зависимость соотношений основной и побочной продукции от плодородия почвы и планируемого урожая, приведены в таблице 2.

При рекомендуемой корректировке существующие формулы расчета потенциальной урожайности близки между собой, поэтому можно использовать любой способ расчета в зависимости от имеющейся достоверной информации.

После определения потенциально возможной урожайности для конкретного участка проводят расчет норм удобрений для обеспечения запланированного урожая. В предлагаемой формуле расчета норм удобрений на основании экспериментальных исследований учтены размеры колебаний всех показателей, входящих в расчетную формулу, в зависимости от плодородия почвы, возделываемых культур, планируемого коэффициента использования ФАР:

$$D_м = 100\left(УK_у - \frac{Q_п h V K_п}{100} + \frac{D_{орг} Q_{орг} K_{орг}}{10'}\right)/K_м Q_м ; \quad (5)$$

где $Д_м$ — доза минерального удобрения, т/га физического вещества; $У$ — планируемая урожайность основной продукции, т/га; $K_у$ — вынос элемента питания с урожаем, кг/т; $Q_п$ — содержание элемента питания в почве, мг/100 г почвы; V — плотность почвы, г/см³; h — мощность пахотного слоя почвы, см; $K_п$ — вынос элемента питания из почвы; %; $Д_{орг}$ — доза органических удобрений, т/га; $Q_{орг}$ — содержание элемента питания в органическом удобрении, %; $K_{орг}$ — использование элемента питания из органического удобрения, %; $K_м$ — использование элемента питания из минерального удобрения, %; $Q_м$ — содержание элемента питания в применяемом удобрении, %.

Значения выноса элементов питания с урожаем принимают по таблице 3.

3. Значения выноса элементов питания основной продукцией с учетом побочной, кг/т

Культура	Коэффициент использования ФАР на почвах различного плодородия, %					
	низкого					
	0,5 . . .1			1 . . .1,5		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Озимая рожь	26...30	10...11	34...35	31...34	12...13	36...39
Озимая пшеница	26...28	9...10	29...32	29...33	11...12	33...35
Яровая пшеница	28...31	8...9	19...22	31...37	10...11	23...24
Ячмень	25...29	9...10	31...33	30...35	11...12	34...35
Овес	23...25	12...13	35...37	26...31	14...15	38...41
Картофель	5...6	1,5...1,6	8...9	6...7	1,8...1,9	10...11
Морковь	2,7...3	1,1...1,2	4,8...5,8	3,1...3,3	1,3...1,4	5,9...6,3
Капуста белокочанная	3,3...3,5	1...1,3	3,2...3,4	—	—	—
Свекла кормовая	5...6	1,4...1,5	5...5,5	6...6,5	1,6...1,8	6,5...7
Гибрид брюквы с кормовой капустой	4...4,5	1,1...1,2	4,7...5,0	4,6...4,8	1,3...1,4	5...5,5
Турнепс	3...3,4	1...1,1	3,8...4,5	3,5...4,7	1,2...1,4	4,6...5,1
Однолетние травы (зеленая масса)	5...6	1,2...1,3	5,5...6,3	6...7	1,3...1,4	6,3...7,3
Многолетние травы (сено)	20...24	4,7...5	22...25	24...28	5...5,3	25...29

Продолжение

Культура	Коэффициент использования ФАР на почвах различного плодородия, % среднего					
	1 . . . 1,8			1,8 . . . 2,5		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O	K_2O
Озимая рожь	27...30	10...11	34...36	31...34	12...13	37...41
Озимая пшеница	28...30	10...11	31...32	31...32	10...12	33...35
Яровая пшеница	31...35	9...10	21...22	36...41	11...12	23...26
Ячмень	28...31	10...11	31...33	32...34	11...12	34...38
Овес	24...28	12...13	37...38	29...31	14...17	39...42
Картофель	5...6	1,6...1,8	8...10	6...7	1,9...2,1	10...11
Морковь	2,7...3,1	1,1...1,3	5,5...5,6	3,2,..3,3	1,4...1,5	6,0...6,3
Капуста белокочанная	3,5...3,6	1,1...1,4	3.3...3,5	—	—	—
Свекла кормовая	5.5...6,1	1,5...1,7	6...6,5	7...8	1,8...2,1	7,5...8,5
Гибрид брюквы с кормовой капустой	4...4,3	1,2...1,3	4,8...5	5,1...5,3	1,4...1,5	5,5...6
Турнепс	3.3...3,4	1...1,3	4,3...4,7	3,8...4,1	1,4...1.6	5...6
Однолетние травы (зеленая масса)	5,3...6,3	1,1...1,2	5,5...6,5	6,3...6,8	1,2...1,3	6,5...7.3
Многолетние травы (сено)	21...25	4,4...4,8	22...26	25...27	4,8...5	26...29

Продолжение

Культура	Коэффициент использования ФАР на почвах различного плодородия, %					
	высокого					
	1,5 . . . 2,5			2,5 . . . 3,5		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Озимая рожь	27...30	11...12	35...36	31...34	12...13	37...39
Озимая пшеница	26...28	9...11	29...30	29...35	11...12	31...33
Яровая пшеница	29...32	8...10	19...22	33...38	10...11	23...24
Ячмень	28...30	10...11	30...31	31...34	11...12	35...36
Овес	22...36	12...14	35...36	27...30	14...15	37...40
Картофель	5...6	1,5...1,7	8...9	6...7	1,7...1,9	10...11
Морковь	2,7...3,1	1...1,2	0,48...0,6	3,2...3,4	1,3...1,5	6,1...6,7
Капуста белокочанная	3,4...3	1.1...1.4	3,3...3,5	—	—	—
Свекла кормовая	5,5...6	1,5...1,7	6...6,5	6...7	1,8...2,0	7...7,5
Гибрид брюквы с кормовой капустой	4,1...4,4	1,1...1,2	4,7...5	4,5...5,0	1,3...1,4	5,5...5,7
Турнепс	3,4...3,6	1...1,2	4,3...4,7	3,8...4,2	1.3...1,5	5...5,7
Однолетние травы (зеленая масса)	5...5,8	.1,1...1,2	5,2...6	5,8...7,3	1.2...1,3	6...6,8
Многолетние травы (сено)	20...23	4,5...4,8	21...24	23...26	4,8...5	24...27

5. Процент использования элементов питания из удобрений на почвах различного плодородия

Удобрения	Культура	Низкое			Среднее			Высокое		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Минеральные	Зерновые, однолетние травы	50...55	16...20	40...45	40...50	14...18	30...40	40...45	10...14	25...30
	Пропашные, многолетние травы	60...70	23...27	60...70	55...60	20...25	50...60	50...55	17...20	45...50
Органические: навоз крупного рогатого скота	Зерновые, однолетние травы	27...36	25...35	60...65	20...25	25...30	50...60	18...22	20...25	45...50
	Пропашные, многолетние травы	33...38	35...40	68...73	25...30	30...35	60...70	22...27	25...30	55...60
торфонавозный компост	Зерновые, однолетние травы	25...27	25...30	60...65	18...21	20...25	50...60	15...18	18...20	45...50
	Пропашные, многолетние травы	30...35	30...35	68...73	22...25	25...30	60...70	20...25	20...25	55...60
навоз жидкий и птичий помет	Зерновые, однолетние травы	35...40	32...37	70...75	30...35	26...32	65...70	27...30	25...27	60...65
	Пропашные, многолетние травы	45...50	37...42	80...85	35...40	32...37	75...80	35...40	27...32	70...75

Содержание элементов питания в почве ($Q_п$) определяют перед расчетом или берут из картограмм (если они составлены не более чем за 1...2 года до проведения расчета). Процент выноса элементов питания из почвы принимают по таблице 4.

Плотность почвы (V) определяют конкретно для каждого участка. При отсутствии этих данных ее ориентировочно принимают для почв легкого механического состава 0,9...1,2, среднего — 1,2...1,3, тяжелого — 1,4...1,5 г/см³.

Мощность пахотного слоя (h) принимают различной для почв разного плодородия: низкого — менее 17 см, среднего — 17...22 см, высокого — более 22 см. Использование элементов питания из удобрений приведено в таблице 5.

Для получения запланированной урожайности в период окультуривания мелиорируемых земель органические удобрения вносят ежегодно. Их нормы, а также продолжительность необходимого периода окультуривания приведены в таблице 6.

В последующие годы органические удобрения вносят согласно принятой для данного региона системе удобрений в севооборотах.

Предлагаемая методика регулирования пищевого режима почв дает хорошие результаты в тех случаях, когда обеспечиваются требуемый водно-воздушный режим почвы и высокая агротехника. Методика была апробирована в различных областях Нечерноземной зоны РСФСР на общей площади более 4 тыс. га, отклонения от запланированного размера урожайности не превышали 10...15 %.

6. Ежегодные нормы органических удобрений в период окультуривания почв

Естественное плодородие почвы	Норма удобрений, т/га	Продолжительность периода окультуривания, лет
Низкое	80...100	3...4
Среднее	60...70	2...3
Высокое	40...50	1...2

УДК 631.473 : 631.811 : 631.445.124

МЕТОДИКА ОТБОРА ОБРАЗЦОВ В ПОЛЕВЫХ ОПЫТАХ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПИТАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА НИЗИННОЙ ТОРФЯНОЙ ПОЧВЫ

В. А. ШАМАНАЕВ, кандидат сельскохозяйственных наук

Смоленский филиал Всесоюзного ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова

Достоверность и сопоставимость результатов определения физико-химических и агрохимических свойств мелиорируемых почв зависит в наибольшей степени от метода отбора образцов. Методика отбора почвенных проб в полевом опыте, в частности определение объема выборки, выбор системы отбора почвенных и растительных проб, их размещение на опытной делянке и многие другие вопросы, недостаточно освещена в литературе применительно к осушаемым минеральным и торфяным почвам. Здесь возникают дополнительные трудности для отбора представительного образца из-за дренажных и коллекторных линий, открытых осушителей, проходов рыхлителей и т. п. Важность и необходимость разработки единых или унифицированных для отдельных регионов и почв методов отбора образцов определяется также тем, что именно на этапе полевых исследований заложен основной источник ошибок. Общая лабораторная ошибка анализа почв не превышает 16 %, ошибка же, обусловленная отбором образца в поле, достигает 84 %.

Смешанные образцы почвы отбирают на опытных делянках по основным вариантам с двух или трех повторений опыта. С точки зрения повышения точности и получения объективной информации целесообразно предусматривать взятие образцов почвы со всех повторностей. Однако при изучении гидротехнических и агромелиоративных вопросов в опытах с большой площадью делянок это затруднительно. Минимальное число индивидуальных проб для составления смешанного образца на каждой делянке может быть 5, 10, 12, 15, 20 и более. С увеличением их числа до определенного предела (и для определенной площади делянки, которую представляет образец) повышается точность, но одновремен-

но возрастает и объем работы. В полевом опыте на дреново-подзолистой почве точность определения средней в большей степени зависит от числа повторений опыта, с которых отобраны образцы, и в меньшей — от числа проб, взятых с каждой делянки для составления смешанного образца. В опыте на торфяной почве одинаково существенное значение имеют и число делянок (повторностей), и число проб в образце.

Индивидуальные пробы для составления представительного смешанного образца можно размещать равномерно по всей площади делянки, на определенной части ее, по диагонали делянки, вдоль длинных сторон (целесообразно на делянках площадью 50...150 м² для сохранности опытных растений, особенно культур сплошного сева), методом конверта и др. В связи с большой пространственной изменчивостью и динамичностью состава и свойств, особенно гидроморфных и полугидроморфных минеральных почв, метод равномерного распределения проб по площади делянки при составлении смешанного образца дает наиболее полную и объективную информацию. Однако в полевых опытах на мелиорируемых почвах такой метод неприемлем из-за большой площади делянок.

Характеристика почвы крупных по площади (0,5... 1,0 га) делянок (например, в опытах по изучению расстояний между дренами, материалов и засыпки дрен и т. п.) по одному смешанному образцу при равномерном распределении проб по всей делянке вряд ли возможна. Отбор же нескольких образцов на одной делянке, особенно при изучении отдельных показателей в динамике, нецелесообразен из-за трудоемкости. Однако основным правилом при планировании способа отбора почвенных проб в полевом опыте должен быть метод равномерного распределения проб по площади опытного участка, то есть отбор их с делянок всех повторностей опыта.

При отборе образцов почвы с подпахотных горизонтов рекомендуют брать смешанный образец. При этом число проб в образце и частота их отбора возрастают с увеличением варьирования отдельных показателей почвы.

Сроки и периодичность отбора образцов в течение вегетационного периода и по годам в полевых опытах на мелиорируемых почвах не имеют однозначного ре-

шения даже при изучении одних и тех же показателей определенной почвы в динамике при выполнении одной задачи. Обычно образцы почвы отбирают 3...5 раз за вегетационный период в основные фазы развития растений. В отдельных случаях ограничиваются отбором образцов в конце периода (сентябрь), а также до посева опытных культур и внесения удобрений. Глубину отбора указывают по-разному: гумусовый горизонт, 0... 20 см (минеральная почва), $А_г$, $Т_I$, $Т_{II}$, 0...30, 0...25, 0...20 см (торфяная почва) и т. п.

По-разному проводят отбор почвенно-грунтовых, дренажных вод и вод водоприемников при изучении, например, выноса элементов питания дренажным стоком и влияния мелиораций на окружающую среду.

Влияние методики отбора образцов на состав и свойства низинной торфяной почвы изучали в 1969... 1980 гг. на болотном массиве Шеголево, расположенном на северо-западе Смоленской области на территории опытного хозяйства «Верховье» Смоленского филиала ВНИИГиМ. В 1969...1972 гг. исследования проводили на целинном неосушенном болоте, в августе 1972 г. его осушили открытым способом, расстояние между осушителями 100 м, глубина 2...2,5 м. В полевых опытах (с одной нормой осушения 85...125 см за май — сентябрь) изучали влияние видов, доз, сочетаний и периодичности внесения минеральных удобрений на состав и свойства почвы, размер и качество урожая тимофеевки луговой, ячменя (сорт Альза) и картофеля (сорт Лошицкий). Ячмень (монокультура) выращивали в 1973...1975 гг., картофель (монокультура) — в 1973...1980 гг., тимофеевку — в 1972...1976 и 1977... 1980 гг. При перезалужении тимофеевки в августе 1977 г. под нее наряду с минеральными удобрениями внесли (на половину опыта) песок из расчета 400 м³/га. Перед закладкой полевого опыта на участке с многолетними травами в 1977 г. построен закрытый дренаж, расстояние между дренами 25 м, глубина 1,25 м. В 1972...1980 гг. исследования проводили также на целинном осушаемом болоте (заповедник) и на черном пару.

Изучаемая торфяная почва до осушения (1969... 1971 гг.) в слое 0...100 см имела степень разложения 35...40 %, зольность 7,6...12 %, $pH_{сол}$ 5,3...5,6, сумму поглощенных оснований 164...191 мэкв/100 г,

степень насыщенности основаниями 71...82 %, плотность 0,133...0,166 г/см³, плотность твердых частиц 1,56...1,70 г/см³. Содержание валового азота в слое 0...30 см составляло 2,22 %, фосфора 0,155, калия 0,061, кальция 3,90 %, подвижной P_2O_5 (по Кирсанову) 6,8...9,0 мг и K_2O (на пламенном фотометре) 13... 15 мг/100 г сухой почвы. Средние температуры воздуха по данным метеостанции Смоленского филиала ВНИИГиМ) за май — сентябрь 1971, 1973, 1974, 1976... 1978 и 1980 гг. были ниже нормы (14,2 °С), в 1972, 1975 и 1979 гг. выше. Количество осадков за тот же период 1971, 1974 и 1978 гг. было близким к норме (350 мм), в 1973, 1980 гг. — больше и в 1972, 1975... 1977 и 1979 гг. — меньше нормы. Особенно мало осадков (238,7 мм) выпало за вегетационный период 1976 г.

Для характеристики питательного режима использовали смешанные образцы почвы, которые составляли из 18...20 индивидуальных на каждой опытной делянке (площадь делянок 75...125 м²). Образцы ежегодно отбирали 5 раз за вегетационный период с 3-кратной повторностью по всем основным вариантам с глубины корнеобитаемого слоя 0...30 см. Индивидуальные пробы для составления смешанного образца размещали равномерно по всей площади делянки, образцы отбирали буром АМ-16 (Малькова и Гиллера), а также с прикопок и разрезов (с трех стенок).

Анализ почвы начинали в день взятия пробы в сырых образцах, при этом определяли влажность почвы. Кислотные, солевые и водные вытяжки готовили при отношении 25 г сырой почвы к 250 мм раствора-вытеснителя (1 : 10). Время взаимодействия раствора (воды) с почвой — 20...24 ч, то есть анализ заканчивали на следующий день. В почвенных вытяжках аммонийный азот определяли по Несслеру, нитраты — дисульфофеноловым методом, подвижный фосфор и калий — по Кирсанову (из одной вытяжки), степень подвижности фосфатов (фосфатный уровень) — по Карпинскому — Замятиной. Результаты анализа пересчитывали на сухое вещество с учетом коэффициента влажности. Агрохимические свойства определяли в воздушно-сухих образцах по общепринятым методам.

В Нечерноземной зоне РСФСР широко применяют гребневую посадку картофеля для улучшения водно-воздушного и теплового режимов. Такая технология

выращивания картофеля целесообразна и на торфяных почвах. При этом во время посадки и в период вегетации растений при систематических окучиваниях образуются высокие гребни и глубокие борозды. При отборе смешанных образцов торфяной почвы буром трудно правильно выдержать глубину верхнего горизонта 0...30 см. Поэтому необходимо строго ставить бур или в вершину гребня (вблизи растений картофеля), или в борозду между гребнями. В последнем случае глубина образца будет соответствовать не 0...30 см, а скорее — 15...45 см (в зависимости от высоты гребня и глубины борозды). В связи с этим и свойства почвы будут иметь значительные различия, что подтверждается результатами определения подвижных форм элементов питания, полученными при анализе образцов, отобранных с гребней и борозд (табл. 1). Содержание нитратного азота в начале вегетационного периода (июнь) 1973 г. в гребнях оказалось в 3 раза больше, чем в бороздах. Больше нитратов в гребнях найдено и в последующие сроки определения. В среднем за период содержание подвижного фосфора было почти в 2 раза больше, степень подвижности фосфатов — в 2,6 и водорастворимого калия — в 3,1 раза больше в гребнях, чем между гребнями (в бороздах). Во вторую половину вегетационного периода (август, сентябрь) содержание элементов в гребнях и бороздах выравнивалось, а в отдельных случаях в бороздах их было больше. Это обусловлено, видимо, потреблением элементов питания растениями картофеля прежде всего из гребней, в которых размещена большая часть корневой системы и подземных побегов (столонов) картофеля, а также передвижением некоторой части питательных веществ из гребней в борозды.

На третий год (1975 г.) монокультуры картофеля эти особенности распределения элементов питания в почве гребней и борозд в основном сохранились. В среднем за вегетационный период содержание подвижного фосфора и калия, водорастворимого калия и подвижных фосфатов в гребнях было в 2,3...3,3 раза выше, чем в бороздах. Содержание водорастворимого аммония оказалось одинаковым, а обменного аммония в гребнях обнаружено больше, чем в бороздах (в 1973 г. отмечена обратная зависимость). В июле найдено нитратов несколько больше в бороздах, что связано, вероятно, с бо-

1. Содержание элементов питания в торфяной почве под картофелем (в слое 0...30 см) **в зависимости от способа отбора образцов** (мг/100 г сухой почвы)

Элементы питания	Июнь (28, 19)		Июль (18, 16)		Август (21, 19)		Сентябрь (18, 18)		В среднем	
	борозды	гребни	борозды	гребни	борозды	гребни	борозды	гребни	борозды	гребни
1973 г. — 1-й год освоения почвы										
$N—NO_3$	3	9	Нет	1,3	Следы	Следы	Следы	0,1	0,75	2,6
$N—NH_4$ обменный	35	105	78,0	8,7	191,0	156,0	148,0	168,0	113,0	109,0
$N—N_4$ водорастворимый	20	30	4,5	8,0	21,0	11,0	23,0	18,0	17,0	17,0
P_2O_5 подвижный	38	93	21,0	65,0	24,0	36,0	26,0	19,0	27,0	53,0
P_2O_5 солевой	5	21	4,0	12,0	2,3	5,0	4,0	3,0	3,8	10,0
K_2O подвижный	72	Не опр.	Не опр.	79,0	20,0	32,0	16,0	18,0	36,0	43,0
K_2O водорастворимый	32	94	4 0	41,0	5,1	4,0	7,0	10,0	12,0	37,0
1975 г. — 3-й год монокультуры картофеля										
$N—NO_3$	3	6	31,0	26,0	Нет	2,6	Не опр.	Нет	11,0	8,7
$N—NH_4$ обменный	59	181	81,0	50,0	53,0	60,0	„	51,0	64,0	86,0
$N—NH_4$ водорастворимый	1	Нет	8,0	6,4	43,0	60,0	„	Нет	17,0	17,0
P_2O_5 подвижный	20,0	40,0	36,0	58,0	39,0	111,0	Не опр.	109,0	32,0	80,0
P_2O_5 солевой	3,0	7,0	6,0	9,0	Нет	13,0	„	11,0	3,0	10,0
K_2O подвижный	31,0	73,0	51,0	40,0	25,0	144,0	„	66,0	36,0	81,0
K_2O водорастворимый	11,0	29,0	13,0	14,0	7,0	39,0	„	16,0	10,0	25,0

лее оптимальной для образования нитратного азота влажностью почвы между гребнями в этот период.

Другие авторы при исследовании образцов торфяной почвы (в условиях Архангельской области), взятых из гребней и борозд, обнаружили в среднем за вегетацию примерно одинаковое количество фосфорной кислоты и аммиачного азота и большее (в 3,8 раза) содержание в гребнях нитратного азота. Д. Г. Головко, излагая вопросы методики полевых исследований на торфяных почвах осушаемых болот, рекомендует проводить наблюдения за температурой почвы в гребнях и на ровной поверхности (на гребневых посадках картофеля). Рекомендуется также определять в динамике содержание NO_3, NH_4, P_2O_5, K_2O (4...6 раз за вегетацию), соответствующее фазам развития растений по горизонтам 0...20, 20...40, 40...60 см. Однако методы отбора и составления образцов почвы авторы в большинстве случаев не указывают.

Для определения степени влияния частоты отбора образцов на показатели питательного режима в торфяной почве под тимофеевкой в 1975 г. наряду с месячной динамикой (5 отборов за вегетационный период) изучали недельную динамику. С этой целью в июле 1975 г. смешанные образцы отобраны 5 раз (еженедельно), в мае, июне, августе и сентябре — как обычно, по одному разу. Нитраты в почве под тимофеевкой 3-го года пользования ни за один из пяти сроков определения в июле 1975 г. не обнаружены (табл. 2). Содержание обменного и водорастворимого аммония (наиболее динамичных и наименее подчиняющихся какой-либо закономерности во времени и пространстве показателей питательного режима торфяной почвы) при усреднении всех пяти определений за месяц (недельная динамика) оказалось одинаковым в обоих изучаемых вариантах. Однако при отборе и анализе образцов один раз в месяц содержание обменного аммония значительно различалось с его количеством по усредненным данным, особенно в варианте без удобрений. Довольно резкие колебания отмечены и для водорастворимого аммония — 22 июля он не обнаружен, а во 2-й декаде в обоих вариантах его было больше, чем в среднем по пяти срокам наблюдений. В образцах отбора 16 июля найдено такое же количество подвижного фосфора, как и в среднем по пяти отборам за месяц. При этом в варианте $N_{45}P_{60}K_{150}$ по-

2. Влияние периодичности отбора смешанных образцов на содержание показателей питательного режима торфяной почвы (в слое 0...30 см) **под тимофеевкой 3-го года пользования** (мг/100 г сухой почвы), **1975 г.**

Элементы питания	В среднем по пяти срокам определения—2, 8, 16, 22 и 28 июля		22 июля		16 июля	
	без удобрений	$N_{45}P_{60}K_{150}$	без удобрений	$N_{45}P_{60}K_{150}$	без удобрений	$N_{45}P_{60}K_{150}$
$N—NO_3$	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
$N—NH_4$ обменный	62,0	62,0	112,0	71,0	37,0	79,0
$N—NH_4$ водорастворимый	1,9	1,8	Нет	Нет	2,3	5,0
P_2O_5 подвижный	8,4	24,0	2,0	13,0	9,5	24,0
P_2O_5 солевой	3,7	13,0	1,2	11,0	5,4	20,0
мг/1000 мл	0,046	0,163	0,015	0,138	0,068	0,250
K_2O подвижный	32,0	45,0	27,0	36,0	27,0	39,0
K_2O водорастворимый	3,1	7,0	3,0	4,0	2,7	5,7

лучены совершенно одинаковые показатели. В варианте без удобрений расхождение также было небольшим и составляло всего 1,1 мг, или 13,1 %. Хорошее совпадение месячной (отбор 16 июля) и недельной (5 отборов в месяц) динамики получено по содержанию подвижного и водорастворимого калия. Содержание этих форм калия мало отличалось во 2-й и 3-й декадах. Фосфатный уровень (P_2O_5) солевой, характеризующий способность почвы отдавать фосфат-ионы в раствор, в варианте с удобрениями имел меньше различий с недельной динамикой при отборе образцов 22 июля и сильнее отличался при отборе 16 июля. На контроле отмечена обратная зависимость.

Интересные данные по влиянию техники и способа отбора почвенных образцов на содержание показателей питательного режима получены в 1980 г. в полевом опыте с пескованием торфяной почвы (табл. 3). В зависимости от способа отбора образцов почвы содержание элементов питания, определенное одним и тем же методом одновременно в день взятия пробы (в сырых образцах), было различным. Содержание водорастворимого и подвижного калия в образцах, взятых буром, оказалось больше, чем в образцах с разреза, во всех шести исследуемых вариантах, водорастворимого аммония и подвижного фосфора — в пяти, обменного аммония —

3. Содержание элементов питания в торфяной почве под тимофеевкой 3-го года пользования (мг/100 г сухой почвы в слое 0...30 см) в зависимости от способа отбора образцов

Элементы питания	18.06.80. $N_{45}P_{60}K_{150}$		28.05.80 $N_{90}P_{60}K_{150}$	
	без песка	с песком 400 м³/га	без песка	с песком 400 м³/га
$N—NO_3$	Следы 0,4	Следы Нет	0,5 Нет	0,1 Нет
$N—NH_4$ водорастворимый	Следы 4,8	0,5 1,5	0,6 Нет	1,3 2,9
$N—NH_4$ обменный	6,4 19,0	4,4 11,0	0,7 8,9	4,6 3,6
P_2O_5 подвижный	13,0 26,0	15,0 33,0	32,0 52,0	21,0 40,0
K_2O водорастворимый	1,7 14,0	4,2 12,0	7,6 30,0	4,9 20,0
K_2O подвижный	16,0 51,0	10,0 26,0	25,0 73,0	13,0 34,0

Продолжение

Элементы питания	28.05.80. $N_{135}P_{60}K_{150}$				В среднем			
	без песка		с песком 400 м³/га		без песка		с песком 400 м³/га	
$N—NO_3$	0,2	Нет	0,6	Нет	0,23	0,13	0,23	Нет
$N—NH_4$ водорастворимый	1,7	2,5	Нет	2,9	0,77	2,43	0,60	2,43
$N—NH_4$ обменный	3,3	6,5	5,7	3,2	3,47	11,00	4,90	5,93
P_2O_5 подвижный	24,0	22,0	23,0	45,0	23,00	33,00	20,00	39,00
K_2O водорастворимый	1,5	9,4	4,8	7,5	3,60	18,00	4,60	13,00
K_2O подвижный	16,0	26,0	23,0	36,0	19,00	50,00	15,00	32,00

Примечание. 1 — образцы с разреза; 2 — смешанные образцы, отобранные буром.

в трех и нитратного азота — в одном варианте. При этом разница в содержании обеих изучаемых форм калия была, как правило, больше на делянках без песка, что обусловлено более сильным уплотнением этих почв при отборе смешанных образцов буром и большей в связи с этим долей участия в образцах самой верхней и наиболее богатой калием части пахотного горизонта. Особенно сильное превышение (в 8,2 и 6,3 раза) водорастворимого калия в смешанных образцах (буром) над индивидуальными (с разреза) отмечено на делянках

без песка в вариантах $N_{45}P_{60}K_{150}$ и $N_{135}P_{60}K_{150}$. Содержание подвижного калия в смешанных образцах оказалось выше, чем в индивидуальных, на делянках с песком в 1,6 . . . 2,6 раза, на делянках без песка — в 1,6 . . . 3,1 раза. Увеличение подвижных форм фосфора и калия в смешанных образцах по сравнению с индивидуальными обусловлено различной техникой и методикой их отбора: смешанные образцы отбирали буром, а индивидуальные — с разреза при помощи ножа и лопаты. Вследствие уплотнения почвы в колонке бура при его заглублении верхняя, более плодородная часть пахотного горизонта преобладала над нижней, с меньшим содержанием элементов питания. При отборе индивидуального образца в разрезе он составлялся равномерно со всей глубины горизонта. На многолетних травах необходимо учитывать также влияние дернины на распределение в пахотном слое почвы минеральных удобрений, которые ежегодно вносили поверхностно, на дернину. При отборе образца буром дернина усиливает уплотнение почвы в колонке бура.

Более значительное превышение подвижного и водорастворимого калия в смешанных образцах над индивидуальными в почве без песка и меньше в почве с песком обусловлено также влиянием минеральных частиц песка на результаты лабораторного анализа. Вероятно, при увеличении зольности торфяной почвы в результате пескования определение некоторых показателей необходимо проводить по методике для минеральных почв или в крайнем случае изменять какой-то элемент этой методики (навеска, объем раствора-вытеснителя, время взаимодействия и др.). Это относится прежде всего к определению подвижного и особенно водорастворимого калия, а также частично подвижного фосфора.

При анализе индивидуальных образцов с разрезов во всех шести изучаемых вариантах найдено небольшое количество нитратного азота — от следов до 0,6 мг/100 г сухой почвы. В смешанных образцах, отобранных буром равномерно по всей площади (115 . . . 125 м²) делянки, нитраты в торфяной почве под тимофеевкой луговой 3-го года пользования обнаружены только в одном варианте. Уплотнение почвы при взятии пробы торфяной почвы буром, видимо, отрицательно влияло на содержание нитратов (за счет отжимания некоторого

4. Содержание элементов питания в целинной торфяной почве (в слое 0...30 см) в зависимости от способа отбора образцов (мг/100 г сухой почвы)

Элементы питания	До осушения (в среднем за 1969...1972 гг.)		После осушения (в среднем за 1974...1980 гг.)	
	с разреза	буром	с разреза	буром
$N—NO_3$	3,5	2,45	5,9	5,7
$N—NH_4$ водорастворимый	6,0	6,3	2,6	13,0
$N—NH_4$ обменный	17,0	14,0	45,0	49,0
P_2O_5 подвижный	8,6	7,9	9,1	12,0
P_2O_5 солевой	Не опр.	Не опр.	3,0	2,7
P_2O_5 мг/1000 мл	Не опр.	Не опр.	0,038	0,034
K_2O подвижный	16,0	14,0	13,0	25,0
K_2O водорастворимый	6,6	5,8	2,6	4,2

количества почвенного раствора, а вместе с ним и нитратного азота в жидкой фазе почвы).

В 1974...1980 гг. в отдельные сроки вегетационного периода (май — сентябрь) проводили параллельные анализы целинной осушаемой почвы заповедника в смешанных (взятых буром) и индивидуальных (с разреза) образцах. Установлено увеличение подвижного фосфора в смешанных образцах по сравнению с индивидуальными в среднем за 7 лет в 1,3 раза, водорастворимого калия — в 1,9 раза (табл. 4). Фосфатный уровень в зависимости от способа отбора проб изменялся слабо. Содержание нитратов и обменного аммония оставалось также примерно равным.

При сравнении результатов по образцам с разрезов и отобранных буром с определенной площади накладывается различие не только в технике отбора, но и пространственное варьирование показателей, обусловленное неоднородностью почвы. Поэтому изучение различий отбора с разреза и буром в чистом виде можно осуществить лишь при взятии буром также индивидуального образца, то есть по одному или нескольким уколам бура на площади, не превышающей площади разреза, и расположенных в непосредственной близости от тех стенок разреза, с которых отбирается образец. Результаты такого сравнительного исследования (табл. 5) показывают, что содержание всех изучаемых форм элементов питания в почвенных образцах, взятых буром, оказалось выше, чем в образцах с разреза. Особенно боль-

шое превышение отмечено для подвижного фосфора (в 3,2 раза) и подвижного калия (в 1,6 раза).

Таким образом, основное влияние на увеличение содержания элементов питания в образцах, отобранных буром, оказывает уплотнение почвы в колонке бура, давление верхних слоев пахотного горизонта на нижние и увеличение в образце верхних, наиболее плодородных слоев. Смешивание индивидуальных проб имеет меньшее значение. Согласно правилу аддитивности, результаты анализа смешанного образца должны быть равны среднему арифметическому значению результатов анализа индивидуальных проб, входящих в состав смешанного образца. А применение смешанных образцов основано на предположении равенства физического усреднения индивидуальных проб математическому.

5. Содержание элементов питания в целинной осушаемой почве заповедника (мг/100 г сухой почвы в слое 0...30 см), **27.06.80.**

Элементы питания	Индивидуальные образцы отобраны	
	с разреза	буром
$N—NO_3$	7,6	10,0
$N—NH_4$ обменный	67,0	89,0
P_2O_5 подвижный	1,7	5,5
K_2O подвижный	14,0	22,0

Большое влияние на сравнительные данные по содержанию элементов питания в образцах с разреза и отобранных буром оказывают минеральные удобрения, особенно на многолетних травах, в связи с ежегодным поверхностным их внесением на этих культурах. Так, на тимофеевке луговой 2...4 годов пользования в варианте без удобрений содержание подвижных форм фосфора и калия в торфяной почве в среднем за 3 года (1974...1976 гг.) оказалось совершенно одинаковым при обоих способах отбора образцов (табл. 6). При ежегодном применении $N_{45}P_{60}K_{150}$ подвижного фосфора в отобранных буром образцах было больше в 1,7 раза, подвижного калия — в 2,1, водорастворимого калия — в 2,8 и фосфатов, переходящих в солевую вытяжку, — в 2 раза.

Такое различие в распределении подвижных форм фосфора и калия в почве вариантов без удобрений и удобрением $N_{45}P_{60}K_{150}$ можно объяснить следующим. На делянках без применения удобрений в образцах определяют почвенные запасы фосфора и калия. Их распределение по профилю почвы, по крайней мере в верх-

6. Влияние способа отбора образцов на содержание элементов питания в торфяной почве под тимофеевкой
(мг/100 г сухой почвы в слое 0...30 см)

Элементы питания	15.10.74.		01.10.75		12.07.76		В среднем	
	с разреза	буром	с разреза	буром	с разреза	буром	с разреза	буром
				Без удобрений				
P_2O_5 подвижный	4,2	3,0	2,7	3,0	2,4	3,4	3,1	3,1
P_2O_5 солевой	1,9	1,6	1,3	1,0	Следы	0,4	1,1	1,0
P_2O_5 мг/1000 мл	0,024	0,020	0,016	0,013	Следы	0,005	0,014	0,013
K_2O подвижный	11,0	22,0	23,0	21,0	11,0	3,2	15,0	15,0
K_2O водорастворимый	2,4	3,0	3,6	2,0	1,6	2,5	2,5	2,5
				$N_{45}P_{60}K_{150}$				
P_2O_5 подвижный	10,0	10,0	5,4	13,0	11,0	23,0	8,8	15,0
P_2O_5 солевой	8,5	2,0	2,5	10,0	2,3	15,0	4,4	9,0
P_2O_5 мг/1000 мл	0,106	0,025	0,031	0,125	0,029	0,188	0,055	0,113
K_2O подвижный	22,0	54,0	17,0	23,0	19,0	43,0	19,0	40,0
K_2O водорастворимый	5,3	29,0	4,6	4,0	4,3	6,9	4,7	13,0

нем слое (0...30 см), довольно равномерное. Поэтому уплотнение образца в колонке бура и увеличение доли верхней части горизонта в образце не могло повысить содержание фосфора и калия по сравнению с показателями образца, взятого равномерно по всей глубине пахотного горизонта по стенке разреза. В варианте с ежегодным внесением полного удобрения на поверхность почвы фосфор и калий, входящие в него, мигрировали вглубь по профилю почвы незначительно и закреплялись преимущественно в самом поверхностном слое — 0...5 (10) см (в дернине). Повышение доли этой части пахотного горизонта при отборе смешанного образца буром, несомненно, приводило к росту показателей содержания фосфора и калия по сравнению с образцами из разреза, где по всей глубине горизонта 0...30 см в образец отобрано одинаковое количество почвы.

В 1979...1980 гг. на тех же опытных делянках без применения удобрений с момента освоения почвы (август 1972 г.) в полевом опыте с тимофеевкой луговой 2...3 годов пользования (перезалужение проведено в августе 1977 г.) содержание подвижных форм азота, фосфора и калия оставалось, как и в первом цикле залужения (опыт 1972...1976 гг.), очень низким (табл. 7). Причем в отобранных буром образцах най-

7. Содержание элементов питания в торфяной почве под тимофеевкой (мг/100 г сухой почвы в слое 0...30 см) **в зависимости от способа отбора образцов**

Элементы питания	10.09.79		30.07.80		В среднем	
	с разреза	буром	с разреза	буром	с разреза	буром
Без удобрений						
$N—NO_3$	Нет	Нет	1,5	Следы	0,8	Нет
$N—NH_4$ водорастворимый	7,7	8,7	Следы	11,0	3,9	9,9
$N—NH_4$ обменный	10,0	14,0	13,0	11,0	12,0	13,0
P_2O_5 подвижный	2,0	8,1	3,4	9,9	2,7	9,0
K_2O водорастворимый	Нет	Нет	Нет	2,3	Нет	1,2
K_2O подвижный	8,3	16,0	23,0	29,0	16,0	23,0
$N_{180}P_{120}K_{300}$						
$N—NO_3$	1,0	2,4	2,9	7,6	2,0	5,0
$N—NH_4$ водорастворимый	1,6	4,9	Нет	5,6	0,8	5,3
$N—NH_4$ обменный	6,5	5,0	7,8	11,0	7,2	8,0
P_2O_5 подвижный	10,0	40,0	12,0	48,0	11,0	44,0
K_2O водорастворимый	Нет	13,0	Нет	38,0	Нет	26,0
K_2O подвижный	15,0	63,0	10,0	100,0	13,0	82,0

дено больше подвижного фосфора и калия, водорастворимого калия и аммония, что обусловлено, вероятно, накоплением этих элементов в верхней части пахотного горизонта за счет биогенной аккумуляции корневой системой растений тимофеевки. В варианте с высокими для многолетних трав нормами минеральных удобрений в торфяной почве смешанных образцов по сравнению с образцами из разреза подвижного фосфора найдено больше в 4 раза, подвижного калия — в 6,3, водорастворимого аммония — в 6,6 и нитратного азота — в 2,5 раза.

Следовательно, увеличение нормы удобрений (в 2 раза по фосфору и калию) на тимофеевке луговой сопровождалось адекватным ростом содержания подвижного и водорастворимого калия (в 2 раза) и более резким (в 3 раза) — подвижного фосфора в смешанных образцах (в слое 0...30 см). В образцах с разреза содержание подвижного фосфора при этом возросло всего на 25 %, а количество подвижного и водорастворимого калия даже уменьшилось. Во втором (после введения торфяной почвы) цикле залужения в смешанных образцах с неудобряемых делянок в отличие от первого цикла содержание всех изучаемых форм элементов питания, кроме нитратов, оказалось больше, чем в индивидуальных образцах с разрезов. Особенно большое превышение установлено для подвижного фосфора (в 3,3 раза) и водорастворимого аммония (в 2,5 раза). Однако в варианте $N_{180}P_{120}K_{300}$ это превышение, как отмечено выше, по всем элементам было значительно больше.

Аналогичная особенность наблюдалась в опыте с монокультурой картофеля (табл. 8), где также установлено резкое увеличение всех изучаемых форм элементов питания в отобранных буром образцах по сравнению с образцами с разрезов в варианте с ежегодным применением $N_{60}P_{120}K_{180}$. В среднем за 5 лет в этом варианте опыта в образцах из бура найдено подвижного фосфора больше в 2,5 раза, фосфатов, переходящих в солевую вытяжку, — в 2,7, подвижного калия — в 4,5 и водорастворимого калия — в 4,4 раза. В варианте без удобрений это превышение было значительно меньшим: для подвижного фосфора— в 1,7 раза, подвижного калия — в 3,2 и водорастворимого калия — в 1,8 раза.

8. Влияние способа отбора образцов на содержание элементов питания в торфяной почве под картофелем
(мг на 100 г сухой почвы в слое 0...30 см)

Элементы	15.10.74.		29.09.75.		28.09.78.		24.09.79.		30.07.80.		В среднем	
	с разреза	буром	с разреза	буром	с разреза	буром	с разреза	буром	с разреза	буром	с разреза	буром
Без удобрений												
P_2O_5 подвижный	14,0	17,0	10,0	29,0	40,0	30,0	11,0	53,0	31,0	53,0	21,0	36,0
P_2O_5 солевой	5,1	0,6	Следы	1,0	3,7	2,8	Не опр.	Не опр.	0,8	1,7	2,4	2,0
P_2O_5, мг/1000 мл	0,064	0,033	Следы	0,013	0,046	0,035	Не опр.	Не опр.	0,010	0,021	0,030	0,025
K_2O подвижный	4,9	38,0	8,8	30,0	11,0	27,0	7,4	16,0	7,0	13,0	7,8	25,0
K_2O водорастворимый	1,7	2,3	1,4	2,0	2,0	4,1	1,2	1,8	Нет	1,7	1,3	2,4
$N_{60}P_{120}K_{180}$												
P_2O_5 подвижный	13,0	44,0	38,0	104,0	63,0	110,0	34,0	109,0	56,0	136,0	41,0	101,0
P_2O_5 солевой	5,9	19,0	4,9	21,0	7,9	19,0	Не опр.	Не опр.	11,0	19,0	7,4	20,0
P_2O_5, мг/100 мл	0,074	0,238	0,061	0,263	0,099	0,238	Не опр.	Не опр.	0,138	0,238	0,093	0, 250
K_2O подвижный	13,0	103,0	7,0	71,0	21,0	131,0	20,0	37,0	33,0	81,0	19,0	85,0
K_2O водорастворимый	5,8	19,0	5,4	35,0	4,7	49,0	6,0	18,0	13,0	38,0	7,0	31,0

Фосфатный уровень оказался несколько выше в образцах с разреза.

В торфяной почве (пар) без применения удобрений в образцах, отобранных буром, найдено больше подвижных форм фосфора и калия и меньше нитратного и аммиачного азота по сравнению с образцами с разреза (табл. 9). В вариантах с удобрениями в образцах с разреза нитратов также находили ежегодно больше. В отношении остальных элементов питания в торфяной почве черного пара в вариантах с удобрениями определенной закономерности не выявлено: в один год их больше обнаружено в образцах из бура, в другой — в образцах с разреза.

В практике полевых исследований при отборе образцов почвы с разреза часто делят пахотный (корнеобитаемый) горизонт на два подгоризонта — верхний и нижний. Многие исследователи отбирают один образец со всего корнеобитаемого горизонта без его деления

9. Влияние способа отбора образцов на содержание подвижных форм элементов питания в торфяной почве черного пара
(в слое 0...30 см, мг/100 г сухой почвы)

Элементы питания	29. 08. 79		28. 07. 80		В среднем	
	с разреза	буром	с разреза	буром	с разреза	буром
Без удобрений						
$N—NO_3$	34,0	11,0	36,0	2,3	35,0	6,7
$N—NH_4$ обменный	9,4	8,4	32,0	14,0	21,0	11,0
P_2O_5 подвижный	41,0	49,0	39,0	68,0	40,0	59,0
K_2O подвижный	16,0	19,0	14,0	18,0	15,0	19,0
K_2O водорастворимый	3,5	5,6	3,9	5,8	3,7	5,7
$P_{120}K_{180}$						
$N—NO_3$	12,0	3,6	13,0	4,5	13,0	4,1
$N—NH_4$ обменный	7,7	13,0	20,0	9,6	14,0	11,0
P_2O_5 подвижный	55,0	89,0	212,0	147,0	134,0	118,0
K_2O подвижный	45,0	58,0	196,0	111,0	121,0	85,0
K_2O водорастворимый	23,0	27,0	125,0	57,0	74,0	42,0
$N_{60}P_{120}K_{180}$						
$N—NO_3$	31,0	9,6	34,0	21,0	33,0	15,0
$N—NH_4$ обменный	13,0	26,0	11,0	4,5	12,0	15,0
P_2O_5 подвижный	74,0	77,0	78,0	34,0	76,0	56,0
K_2O подвижный	77,0	61,0	59,0	107,0	68,0	84,0
K_2O водорастворимый	48,0	34,0	35,0	60,0	42,0	47,0

на подгоризонты. Несомненно, что выделение подгоризонтов в верхнем слое почвы зависит как от задач исследований, так и особенно от однородности его состава и свойств. Но в любом случае при отборе двух образцов увеличивается объем аналитических работ, а результаты определения зачастую усредняются для всего горизонта. Поэтому установление необходимости и целесообразности такого деления имеет важное значение.

Данные по содержанию подвижных форм основных элементов питания в образцах низинной торфяной почвы, взятых с глубины 0...30 см, и в образцах, отобранных с той же стенки разреза, но с глубины 0...15 и 15...30 см, приведены в таблице 10. Образцы с глубины 0...15 и 15...30 см проанализированы отдельно, и средние арифметические значения по этим образцам сравниваются с результатами анализа образцов с глубины 0...30 см. В варианте черного пара без удобрений получены примерно одинаковые показатели пищевого режима торфяной почвы по обоим способам отбора образцов. В вариантах с удобрениями установлены значительные расхождения, особенно по подвижному фосфору в варианте $N_{60}P_{120}K_{180}$, содержание которого в слое 15...30 см составляло всего 2,5 мг против 154 мг/100 г в слое 0...15 см. Эти данные свидетельствуют о закреплении фосфора удобрений (гранулированного суперфосфата) в слое внесения. Следовательно, даже в парующей торфяной почве фосфор прочно закреплялся в поглощающем комплексе и не мигрировал по профилю. В полном соответствии с подвижным фосфором распределялись фосфаты, переходящие в солевую вытяжку: в нижней части пахотного горизонта они не обнаружены, в то время как в слое 0...15 см найдено 0,275 мг/1000 мл. Необходимо отметить далее, что распределение подвижного фосфора по глубине пахотного горизонта в варианте без удобрений было равномерным — его содержание в слое 0...15 и 15...30 см оказалось совершенно одинаковым. Распределение подвижного и водорастворимого калия по пахотному горизонту неудобренного пара также довольно равномерно, особенно подвижного калия. В вариантах с удобрениями установлено накопление этого элемента в слое 0...15 см. Так, в варианте $N_{60}P_{120}K_{180}$ содержание водорастворимого калия при переходе от верхней части па-

10. Изменение показателей питательного режима торфяной почвы чернего пара в зависимости от способа усреднения и глубины отбора образцов (мг/100 г сухой почвы), 28. 07.80.

Элементы питания	Без удобрений		$P_{12}K_{...}$		$N_5P_{120}K_{180}$	
	0 . . . 30 см	0 . . . 30 см (0 . . . 15 + + 15 . . . 30 см)	0 . . . 30 см	0 . . . 30 см (0 . . . 15 + + 15 . . . 30 см)	0 . . . 30 см	0 . . . 30 см (0 . . . 15 + + 15 . . . 30 см)
$N—NO_3$	38,0	36,0 (2,4+70)	9,2	13,0 (13+13)	47,0	34,0 (33+35)
$N—NH_4$ водорастворимый	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы
$N—NH_4$ обменный	25,0	32,0 (43+20)	39,0	20,0 (23+17)	15,0	11,0 (16+6,2)
P_2O_5 подвижный	41,0	39,0 (39+39)	166,0	212,0 (230+193)	127,0	78,0 (154+2,5)
P_2O_5 солевой	Следы	5,5 (11+следы)	29,0	45,0 (53+37)	5,1	11,0 (22+следы)
K_2O подвижный	12,0	14,0 (15+12)	175,0	196,0 (257+135)	67,0	59,0 (103+14)
	4,1	3,9 (5,3+2,5)	113,0	125,0 (178+72)	20,0	35,0 63+8,2)

Примечание. В графе 0 . . . 30 см — физическое усреднение почвы с глубины 0 . . . 15 и 15 . . . 30 см в процессе отбора образца с пахотного горизонта 0 . . . 30 см; в графе — 0 . . . 30 (0 . . . 15+15 . . . 30 см) — математическое усреднение, то есть усреднение результатов анализа (данных в скобках) образцов с глубины 0 . . . 15 и 15 . . . 30 см для пахотного слоя 0 . . . 30 см.

хотного горизонта (0...15 см) к нижней (15...30 см) снижалось с 63 до 8,2 мг/100 г, или в 7,7 раза, а подвижного — со 103 до 14 мг, или в 7,4 раза (в почве неудобренного пара это снижение соответственно составляло в 2,1 и 1,3 раза). Следовательно, калий удобрений также слабо мигрировал по профилю торфяной почвы черного пара и закреплялся преимущественно в слое внесения.

Таким образом, в результате исследований установлены существенные различия в показателях питательного режима в зависимости от способов отбора образцов (индивидуальные образцы с разрезов, индивидуальные и смешанные образцы буром) с верхнего корнеобитаемого горизонта (0...30 см) низинной торфяной почвы. Эти различия имеют место как в целинной осушаемой почве, так и в почве под тимофеевкой луговой разных лет пользования, на монокультуре картофеля и черного пара. Особенно большие различия в зависимости от способа отбора образцов отмечены в содержании подвижных форм фосфора и калия в вариантах с ежегодным применением высоких норм минеральных удобрений на картофеле, а также на тимофеевке луговой в опыте с тепловыми мелиорациями (внесение 400 м³/га на фоне удобрений и полива). Приведенные в статье результаты исследований подтверждают необходимость разработки унифицированных (для отдельных регионов, типов почв и т. п.) методов полевых исследований (в частности, методики отбора образцов в полевых опытах) на мелиорируемых почвах и их строгого соблюдения на протяжении всего эксперимента — от закладки опыта до его закрытия. Применение единых методов полевых и лабораторных исследований всеми учреждениями и соисполнителями по отдельным проблемам повысит теоретическое и практическое значение этих исследований и ускорит их внедрение в производство.

УДК 631.445.14 : 631.42 : 631.6

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПОЛЕВЫХ И КАМЕРАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В ЦЕЛЯХ МЕЛИОРАЦИИ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ

И. Н. СКРЫННИКОВА, доктор географических наук

Почвенный институт им. В. В. Докучаева

Торфяные почвы с повышенной минерализацией занимают определенное положение в рельефе и образуют определенную структуру почвенного покрова. Они распространены в долинах речных притоков крупных рек, расчленяющих Среднерусскую и Смоленско-Московскую возвышенности (Яхрома, Пехорка, Дубна, Нерусса и др.) с заторфованными древнепойменными террасами. Вдоль современных русл проходит полоса иловато-торфяных почв, содержащих в верхних горизонтах более 50 % минеральных веществ, преимущественно SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3. Распространение этих почв связано с периодическим былым засолением в период весеннего разлива рек. В центральной части долин распространены обычно перегнойно-торфяные железистые почвы, а в притеррасной — перегнойно-торфяные железисто-карбонатные. В расширенных участках долин торфяные почвы с повышенным содержанием минеральных элементов занимают периферийные участки, а центральные обычно заняты нормально-зольными торфяными почвами. Перегнойно-торфяные железистые и железисто-карбонатные торфяные низинные почвы распространены также в озерных котловинах среди моренных холмов (например, болотный массив Ковальковицы в Смоленской области, заболоченные участки озера Галич и др.) [1]. В обширных полесских низменностях перегнойно-торфяные железистые и железисто-карбонатные почвы обычно встречают в краевых частях болотных массивов, прилегающих к возвышенным равнинам или останцам с близкими выходами коренных пород. В центральных областях южнотаежной зоны европейской части РСФСР низинные торфяные почвы с повышенным содержанием минеральных веществ занимают свыше 50 % территории низинных болот. Необходимо выделение массивов этих почв на крупномасштабных поч-

венно-мелиоративных картах, так как они отличаются от торфяных почв с нормальной зольностью не только по химическому составу, но и по некоторым физическим и водно-физическим свойствам. Они обладают лучшей оструктуренностью верхних горизонтов, лучшей водопроницаемостью и несколько меньшей влагоемкостью. Это выделение может дать четкое представление об участках, где возможно ожелезнение дрен в процессе мелиоративного освоения почв. Это важно и с точки зрения планирования сельскохозяйственного использования этих почв. Например, на участках с иловато-торфяными почвами можно без опасности ухудшения физических и водно-физических свойств планировать устройство многолетних культурных пастбищ, а выпас скота на перегнойно-торфяных железистых и железокарбонатных почвах с нормальной зольностью приводит к ухудшению физических и водно-физических свойств вторичному закочкариванию территории и др. Различна и эффективность вносимых в эти почвы удобрений. Ожелезненные перегнойно-торфяные почвы обладают способностью к анионному поглощению (сорбируют NO_3, Cl; образуют с фосфором вносимых удобрений труднодоступные для сельскохозяйственных культур железоорганические комплексы и др.). Вносить минеральные добавки в перегнойно-торфяные почвы с высоким содержанием минеральных веществ (30 . . . 40 % и более) не нужно, так как это может отрицательно повлиять на свойства почв, например снизить влагообеспеченность.

В настоящее время на крупномасштабных почвенно-мелиоративных картах выделяют контуры лишь типов и подтипов низинных торфяных почв. Предлагаемое выделение родов почв несколько усложняет почвенную съемку. Однако полученная при этом дополнительная информация о почвенном покрове настолько важна для выводов о способах мелиоративного освоения торфяных почв, что это выделение должно быть обязательным при почвенно-мелиоративных исследованиях. Основой для выявления контуров различных родов торфяных почв служат как морфологические признаки (цвет верхних горизонтов почв, наличие вскипания, карбонатных и железистых включений и пленочек в профиле почв, полевые определения закисного и окисного железа), так и простейшие лабораторные исследования (определен-

ные числа зольных элементов, цвет золы и др.). Кроме того, анализ структуры почвенного покрова торфяных массивов, ландшафтно-географический анализ их положения могут также указать на наличие в почвенном покрове торфяных массивов с повышенным содержанием. минеральных элементов. Можно также использовать данные о зольности торфяных болот фондовых и опубликованных материалов треста «Геолторфразведка».

При почвенно-мелиоративных полевых исследованиях, в целях реконструкции мелиоративных систем или для проведения наблюдений за режимами влажности, температуры и питательных веществ в торфяных старопахотных почвах, особенно важно тщательное морфологическое изучение почвенного профиля. Профиль целинных низинных болотных почв, как правило, не имеет четко выраженных горизонтов. Исключение — лишь верхний корнеобитаемый горизонт южнотаежной подзоны, носящий в ряде случаев перегнойный характер, особенно при периодическом естественном уменьшении обводненности болотных массивов. При полевых морфологических исследованиях отмечают также ботанический состав торфа и его смену по профилю, степень разложения, сохранность растительных остатков, влажность, плотность, наличие заиленности, гумифицированности отдельных слоев, включения новообразований (окисные, закисные соединения железа, марганца, карбоната кальция и др.). Обязательна характеристика породы (механический состав, степень оглеения, наличие или отсутствие контактного горизонта с вышележащим торфяным слоем), подстилающей органические горизонты. При заболачивании суходолов большое научное значение представляет описание погребенных под органическими слоями минеральных ископаемых почв. При выделении контуров болотных почв необходимо описывать растительность, формы рельефа и микрорельефа, степень обводненности массива или его частей, характер геологического и геоморфологического строения, растительный покров окружающей территории.

В процессе сельскохозяйственного освоения профиль торфяных почв расчленяется на два чисто почвенных органических горизонта: пахотный, не имеющий заметных остатков болотной растительности, оструктуренный, особенно под посевами многолетних трав, и подпахот-

ный, сохраняющий внешний облик болотной почвы. В результате длительного освоения при глубоком осушении (УГВ ниже 100...120 см) в ряде случаев между пахотным и подпахотным горизонтами образуется переходный. Для него характерны повышенная плотность сложения, значительная гумифицированность, ожелезненность, иногда пониженный коэффициент фильтрации. Над ним в весенний период задерживается верховодка. Поэтому тщательные морфологические исследования почвенных профилей с выявлением строения не только целинных болотных, но и торфяных пахотных почв очень важны.

В отличие от большинства минеральных почв Нечерноземной зоны (дерново-подзолистые, подзолистые и др.) физико-химическое состояние болотных почв зависит от их влажности. Они способны сильно набухать при переувлажнении и резко сокращать объем при интенсивном иссушении. При их сильном высушивании происходит необратимая коагуляция органических коллоидов. При этом изменяется целый ряд физико-химических и физических свойств почв (поглотительная и водоудерживающая способность, окисление закисных соединений железа, марганца и др.). Поэтому исследования состава почвенных растворов поглощенных оснований, поглотительной способности pH почвенных суспензий, определение влажности завядания, водные вытяжки необходимо проводить при естественной влажности. В отличие от минеральных почв в набухающих торфяных соотношение почвы и раствора при анализах с учетом содержащейся влаги должно быть больше. При определении поглотительной способности водных вытяжек оно равно 1 : 20, 1 : 25 и др.

Во избежание окисления закисных соединений необходимо брать образцы торфяных почв без нарушения сложения: парафинировать или помещать в полиэтиленовые мешочки. В лаборатории необходимо хранить исследуемые образцы в холодильнике при температуре, близкой к температуре почв в поле или несколько ниже. В связи с необходимостью выделения рядов торфяных почв, различающихся качественным и количественным содержанием минеральных элементов и трудностью их полевой диагностики, необходимо для основных разрезов проводить хотя бы сокращенный анализ состава SiO_2, Fe, Al и др., а для предположительно засолен-

ных — и химический анализ водных вытяжек. Как правило, низинные торфяные почвы содержат мало калия и фосфора, и их определение во всех опорных разрезах не обязательно. В случае железистых торфяников желательно определять и валовой фосфор, так как нередко в горизонтах, обогащенных железом, повышено и его содержание. В торфяных почвах, длительно используемых в сельском хозяйстве, возможно накопление избыточного количества обменных калия и хлора, вызывающих хлороз картофеля. Поэтому в этом случае их определение необходимо.

В последние десятилетия большое внимание привлекает биологическая активность почв (содержание микроорганизмов, ферментативная активность и др.). С ней связаны скорость сработки торфа, обеспеченность подвижными соединениями азота и др. Ряд исследователей [3] предложили различать потенциальную (общую) и актуальную (природную) биологическую активность. Определение общего содержания микроорганизмов или ферментативной активности, проводимое в лаборатории при оптимальных условиях температуры и влажности и нередко оптимальном содержании основных элементов питания (методы посева на питательные среды), далеко не отражает природные условия жизнедеятельности микроорганизмов. Это положение особенно важно учитывать при изучении биологической активности почв в экстремальных условиях осенне-зимне-весенних периодов с низкой температурой почв во всех природных зонах, а также летних периодов в условиях холодных почв тундры, северной и средней тайги, где их температура даже в период вегетации далека от оптимальной. Поэтому наряду с определением потенциальной биологической активности необходимо шире проводить изучение актуальной (природной) активности и разрабатывать количественные методы ее определения. В настоящее время Е. Н. Мишустиным, А. Н. Петровой, И. С. Востровом разработаны качественные и количественные методы определения такой биологической активности почв. В освоенных торфяных почвах глубина, интенсивность и динамика природной биологической активности хорошо выявляются по данным, исследований методом аппликаций, предложенным Е. Н. Мишустиным, А. Н. Петровой и др.

Плотность сложения торфяных почв различна по профилю. Особенно различны по плотности сложения горизонты родов почв с повышенным содержанием минеральных веществ. Плотность сложения минеральных почв в 5...8 раз выше, чем торфяных. В процессе сельскохозяйственного освоения плотность сложения почв верхних горизонтов значительно возрастает (в 2...2,5 раза). Поэтому все сравнения содержания валовых и подвижных минеральных и органических веществ в различных торфяных и минеральных почвах необходимо делать с учетом плотности их сложения [4]. При изучении изменения содержания вещественного состава почв по мере сельскохозяйственного использования необходимо учитывать изменение плотности сложения за тот же период. Обеспеченность питательными веществами необходимо также выражать в запасах их в пахотном корнеобитаемом слое или по почвенным горизонтам на определенную площадь ($м^2$ или га). Так как при разной плотности сложения, зависящей в первую очередь, от соотношения минеральных и органических веществ, даже при одном и том же процентном содержании того или иного вещества, запасы их на гектар различны.

Поэтому, учитывая изменение влагоемкости почв (полная и наименьшая) в процессе сельскохозяйственного освоения, автор считает, что наиболее правильно сравнивать изменение влагосодержания торфяных почв по сезонам и годам под влиянием различных гидро- и агротехнических мероприятий — в процентах от объема или в запасах влаги, но не в процентах от полной или наименьшей влагоемкости.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маймусов Д. Ф. Об особенностях генезиса и свойств почв озерных низин Смоленской области. — Почвоведение, 1972, № 6 с. 18...21. 2. Минаева Г. М. Опыт использования метода аппликаций для определения биологической активности почв. — Почвоведение, 1974, № 3, с. 68...72. 3. Наплекова Н. Н. Аэробное разложение целлюлозы микроорганизмами в почвах Западной Сибири. — Новосибирск. Наука, 1974, с. 21...123. 4. Скрынникова И. Н. Методы расчета аналитических данных с учетом физических свойств почв (методические рекомендации). — М., 1979, с. 21...77.

УДК 631.6.

МЕТОДИКА ПОСТАНОВКИ ОПЫТОВ С УДОБРЕНИЯМИ НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

В. М. ЛАВРИЧЕНКО, кандидат биологических наук

Московский ордена Трудового Красного Знамени гидромелиоративный институт

Одно из важнейших условий получения гарантированной, экономически целесообразной урожайности сельскохозяйственных культур — система удобрений, учитывающая естественное плодородие почв, биологические особенности выращиваемых растений.

Все существующие методы определения потребности растений в питании и удобрении либо недостаточно информативны, либо чрезвычайно громоздки из-за большого числа вариантов опыта.

Предлагаемая методика основана на явлении константности соотношений элементов минерального питания, поглощаемых данным видом растений в адаптированных для роста и развития условиях, это наследственный признак растительного организма (видовые генотипические соотношения — ВГС). Рассмотрим их зависимость от различных факторов внешней среды, принятой агротехники и др.

Соотношения между элементами питания рассчитывали по формуле $N+P+K$ или $N+P_2O_5+K_2O=100$ (как даны элементы у авторов исследований). Эти данные затем представляли в виде вариационных рядов, в которых для каждого элемента находили среднеарифметическое значение $M_{ср}$, среднее квадратическое отклонение $\sigma=\sqrt{\Sigma x^2/n-1}$; ошибку среднеарифметического $m=\sigma/\sqrt{n}$, где n — число членов в вариационном ряду; коэффициент вариации $Cv=100\sigma/M_{ср}$ (%); показатель точности осреднения $p=Cv/\sqrt{n}$ (%).

Влияние географических и почвенно-климатических факторов на соотношение элементов питания. Расчеты, выполненные в Проблемной лаборатории по исследованиям питания виноградной лозы в 1965 . . . 1978 гг., проведенным в различных зонах СССР, а также в Народной Республике Болгарии, дали среднее из 233 соотношений $N:P:K=73{,}5\pm0{,}61:5{,}9\pm0{,}11:20{,}6\pm0{,}90$ с

Cv и *p* по азоту — 12,69 и 0,83 %; фосфору — 28,58 и 1,68 %; калию — 40,77 и 4,37 %. Соотношение элементов питания, поглощаемых виноградной лозой в различных географических зонах, практически одинаково.

Результаты опытов с озимой пшеницей, выращиваемой на пяти типах почв (дерново-подзолистые и серые лесные, типичные и южные черноземы, темно-каштановые почвы различной степени обеспеченности элементами минерального питания), представлены в таблице 1.

1. Общее содержание питательных веществ в листьях озимой пшеницы на разных типах почв

Группа и степень обеспеченности элементами минерального питания	Потребность в удобрениях	Урожай в % от оптимального	Фаза развития	Содержание в % на сухое вещество (средние значения)			Соотношение		
				N	P	K	N	P	K
I	Очень		1	2,65	0,260	1,88	55,3	5,4	39,3
Очень	сильная	25	2	2,15	0,185	1,38	57,9	5,0	37,1
низкая			3	1,75	0,128	1,00	60,8	4,4	34,8
II	Сильная		1	2,90	0,286	2,08	55,1	5,4	39,5
Низкая		40	2	2,42	0,208	1,54	58,1	5,0	36,9
			3	1,95	0,145	1,16	59,9	4,5	35,6
III	Средняя	40...	1	3,74	0,346	2,60	55,9	5,2	38,9
Средняя		70	2	3,10	0,260	2,05	57,3	4,8	37,9
			3	2,46	0,195	2,62	57,5	4,6	37,9
IV	Слабая	70...	1	4,55	0,409	3,15	56,2	5,0	38,8
Ниже		90	2	3,66	0,312	2,55	56,1	4,8	39,1
оптимальной			3	2,90	0,250	2,16	54,6	4,7	40,7
V	Потребности		1	5,20	0,470	3,84	54,7	4,9	40,4
Оптимальная	нет	100	2	4,20	0,370	3,09	54,9	4,8	40,3
			3	3,30	0,310	2,60	53,1	5,0	41,9
VI	Избыточное	100	1	5,50	0,495	4,20	53,9	4,9	41,2
Выше	питание	и	2	4,50	0,395	3,40	54,2	4,8	41,0
оптимальной		менее	3	3,50	0,338	2,75	53,2	5,1	41,7

Анализ таблицы показывает, что различная степень обеспеченности почвы элементами минерального питания существенно сказалась на их процентном содержании в растениях. Хотя отбор образцов проводили по трем фазам роста и развития растений — кущение, трубкование, цветение, также существенно различающимся

процентным содержанием элементов питания, можно вывести среднее для всех опытов соотношение $N : P : K = 56{,}0 \pm 0{,}51 : 4{,}9 \pm 0{,}06 : 39{,}1 \pm 0{,}48$ с *Cv* и *p* по азоту — 3,88 и 0,92 %; фосфору — 5,51 и 1,30 %; калию — 5,22 и 1,23 %.

Соотношение элементов питания и возраст растений. С возрастом в жизни растений происходят существенные физиологические изменения. У древесных падает фотосинтетическая активность, снижается общий уровень обмена веществ, прекращается прирост по высоте. В то же время соотношение поглощаемых элементов питания остается постоянным.

Суммарный вынос элементов питания яблонями различных сортов 1-, 2-, 10-, 11- и 30-летнего возраста, выращиваемых при следующих дозах удобрений: навоз 20 и 40 т/га; $N_{90}P_{90}K_{90}$; $N_{90}P_{30}K_{30}$; $N_{30}P_{90}K_{30}$; $N_{30}P_{30}K_{90}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$, колебался по N — 39 . . . 589, P_2O_5 — 11 . . . 197 и K_2O — 25 . . . 848 кг/га и дал среднее из 11 соотношений $N : P_2O_5 : K_2O = 47{,}8 \pm 1{,}65 : 13{,}8 \pm 0{,}36 : 38{,}4 \pm 1{,}83$ с *Cv* и *p* по азоту — 12,90 и 3,45 %; фосфору — 9,76 и 2,61 %; калию — 17,84 и 4,77 %.

Результаты исследований с разновозрастными деревьями сливы представлены в таблице 2 [2].

2. Содержание азота, фосфора и калия в листьях разновозрастных деревьев сливы

Возраст деревьев, лет	Дата анализа	Содержание, %			Соотношение		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
3		2,93	0,53	1,54	58,6	10,6	30,8
6	16.07.69.	3,00	0,51	1,27	62,8	10,7	26,5
9		2,91	0,53	1,26	61,9	11,3	26,8
Смешанный образец		2,91	0,50	1,40	60,5	10,4	29,1
3		2,32	0,32	1,18	60,7	8,4	30,9
6	17.07.72.	2,51	0,37	1,06	63,7	9,4	26,9
9		2,36	0,30	1,15	61,9	7,9	30,2
Смешанный образец		2,52	0,33	1,52	57,7	7,5	34,8
5		3,24	0,38	1,53	62,9	7,4	29,7
14	5.07.67	2,68	0,34	1,35	61,3	7,8	30,9
5		3,40	0,33	1,65	63,2	6,1	30,7
9	5.07.71.	3,16	0,31	1,43	64,5	6,3	29,2

Несмотря на то что исследования проводили в различные годы, для всех возрастов деревьев сливы можно вывести среднее соотношение $N : P_2O_5 : K_2O = 61,6 \pm \pm 0,58 : 8,7 \pm 0,51 : 29,7 \pm 0,66$ с *Cv* и *p* по азоту — 3,28 и 0,95 %; фосфору — 20,46 и 5,91 %; калию — 7,74 и 2,23 %.

Сортовые особенности сельскохозяйственых культур и соотношения поглощаемых элементов. На процессы обмена веществ, размер урожая и качество урожая большое влияние оказывают сортовые особенности культуры.

В работе [1] показано, что огурцы сортов Вязниковские и Клинские различной потенциальной продуктивности при пяти вариантах опытов с удобрениями (0,14; 0,22; 0,30; 0,40; и 0,54 г/кг почвы) за один месяц имеют среднее соотношение $N : P_2O_5 : K_2O = 44,2 \pm 0,52 : : 12 \pm 0,29 : 43,8 \pm 0,31$ с *Cv* и *p* по азоту — 3,71 и 1,17 %; фосфору — 7,58 и 2,39 %; калию — 2,26 и 0,71 %. Характерно, что разница в урожайности между крайними вариантами для сорта Вязниковские (потенциально менее продуктивного) составляла 2,7 раза, а сорта Клинские (более продуктивного) — 4,3.

3. Влияние подвоев на содержание азота, фосфора и калия в листьях привоя

Подвой	Содержание, %			Соотношение		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Венгерка обыкновенная						
Ренклод зеленый	2,54	0,27	0,87	69,0	7,3	23,7
Кирке	2,67	0,30	0,92	68,6	7,7	23,7
Жердель	2,69	0,35	0,83	69,5	9,0	21,5
Прунька	2,54	0,29	0,88	68,5	7,8	23,7
Алыча	2,61	0,31	1,48	59,3	7,0	33,7
Анна Шпет	2,50	0,30	0,79	69,6	8,4	22,0
Анна Шпет						
Ренклод зеленый	2,44	0,30	0,86	67,8	8,3	23,9
Кирке	2,50	0,28	0,94	67,2	7,5	25,3
Жердель	2,51	0,34	0,71	70,5	9,6	19,9
Терн	2,60	0,30	0,78	70,7	8,1	21,2
Алыча	2,74	0,30	1,01	67,7	7,4	24,9
Анна Шпет	2,50	0,29	0,77	70,2	8,1	21,7
Мирабель нанси	2,43	0,43	1,08	61,7	10,9	27,4

Продолжение

Подвой	Содержание, %			Соотношение		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Ранняя синяя						
Ренклод зеленый	2,58	0,38	1,48	58,1	8,6	33,3
Кирке	2,72	0,31	1,15	65,1	7,4	27,5
Жердель	2,85	0,33	0,85	70,7	8,2	21,1
Тери	2,73	0,40	1,82	55,2	8,1	36,8
Алыча	2,73	0,34	1,15	64,7	8,0	27,3
Прунька	2,63	0,34	0,80	69,8	9,0	21,2
Мирабель нанси	2,68	0,31	1,41	61,0	7,0	32,0
Ренклод Альтана						
Кирке	2,79	0,33	1,49	60,5	7,2	32,3
Жердель	2,58	0,38	1,17	62,5	9,2	28,3
Тери	2,74	0,34	1,08	65,9	8,2	25,9
Алыча	2,84	0,37	1,62	58,8	7,7	33,5
Мирабель нанси	2,76	0,33	1,22	64,0	7,7	28,3
Персиковая						
Кирке	2,80	0,33	1,90	55,7	6,6	37,7
Жердель	2,88	0,34	1,73	58,2	6,9	34,9
Алыча	2,91	0,34	2,05	54,9	6,4	38,7
Анна Шпет	2,70	0,31	1,86	55,4	6,4	38,2
Венгерка итальянская						
Ренклод зеленый	2,50	0,32	1,19	62,3	8,0	29,7
Кирке	2,33	0,30	1,17	61,3	7,9	30,8
Тери	2,55	0,30	1,05	65,4	7,7	26,9
Алыча	2,43	0,31	1,44	58,1	7,4	34,5
Прунька	2,50	0,30	1,15	63,3	7,6	29,1
Мирабель нанси	2,35	0,41	1,21	59,2	10,3	20,5
Ренклод зеленый	2,36	0,27	0,85	67,8	7,8	24,4

Обработка материалов исследований, проведенных с шестью сортами слив, привитых на 4...7 различных подвоях, показала отсутствие влияния подвоя на соотношение элементов питания в листьях привоя. Для всех шести сортов, независимо от подвоя, оно может быть осреднено (табл. 3) [2].

Среднее для всех сортов и подвоев соотношение $N : P_2O_5 : K_2O = 63,8 \pm 0,85 : 8,0 \pm 0,16 : 28,2 \pm 0,91$ с Cv и p по азоту — 7,99 и 1,33 %; фосфору — 12,25 и 2,04 %; калию — 19,47 и 3,2 %.

Агротехника выращивания и соотношение поглощаемых растениями элементов минерального питания. Отсутствие влияния доз удобрений на соотношение по-

4. Вынос элементов питания урожаем гречихи

Доза азота, мг/100 г почвы	1975 г.					
	сосуд			соотношение		
	N	P	K	N	P	K
0	573	96,4	834,1	38,1	6,4	55,5
4	881	142,1	1308,9	37,8	6,1	56,1
8	1153	152,6	1526,4	40,7	5,4	53,9
16	1266	120,3	1640,1	41,8	4,0	54,2
32	778	75,9	1072,4	40,4	3,9	55,7

Продолжение

Доза азота, мг/100 г. почвы	1976 г.					
	сосуд			соотношение		
	N	P	K	N	P	K
0	326	75,4	589,3	32,9	7,6	59,5
4	340	121,2	630,8	31,1	11,1	57,8
8	662	167,9	823,4	40,0	10,2	49,8
16	963	194,4	1060,7	43,4	8,8	47,8
32	1212	216,7	1099,7	47,9	8,6	43,5

глощаемых элементов минерального питания можно показать на примере результатов опытов с гречихой (табл. 4). Несмотря на то что доза азота увеличивается в 32 раза, можно вывести среднее для всех вариантов соотношение $N : P : K = 39,4 \pm 1,54 : 7,2 \pm 0,78 : 53,4 \pm 1,55$ с *Cv* и *p* по азоту — 12,33 и 3,90 %; фосфору — 34,30 и 10,85 %; калию — 9,19 и 2,91 %.

Существенное влияние на рост и развитие, продуктивность растений оказывает реакция pH среды, вот почему один из первых агротехнических приемов окультуривания почв — их известкование.

Но реакция среды не влияет на соотношение поглощаемых элементов (табл. 5) [1].

По данным таблицы можно сделать вывод, что, несмотря на изменение реакции среды от сильнокислой до щелочной (pH нейтральной среды равно 7), соотношение поглощаемых элементов питания остается постоянным. Для листьев среднее по вариантам опыта соотношение $N : P_2O_5 : K_2O = 36,5 \pm 1,01 : 13,3 \pm 0,96 : 50,2 \pm 1,44$

5. Влияние реакции среды на соотношение элементов питания в листьях и корнеплодах моркови

pH (KCl)	Соотношение в листьях			Соотношение в корнеплодах		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
4,5	33,3	12,8	53,9	31,5	22,2	46,3
5,5	34,6	14,8	50,6	30,9	18,2	50,9
6,5	38,9	16,7	44,4	32,7	20,4	46,9
7,5	38,9	11,1	50,0	38,6	20,3	40,9
8,5	36,6	11,3	52,1	35,4	16,7	47,9

с *Cv* и *p* по азоту — 6,19 и 2,77 %; фосфору — 16,09 и 7,21 %; калию — 6,39 и 2,86 %. В корнеплодах среднее соотношение $33,8 \pm 1,27 : 19,6 \pm 0,86 : 46,6 \pm 1,46$ с *Cv* и *p* по азоту — 8,40 и 3,77 %; фосфору — 9,85 и 4,42 %; калию — 6,97 и 3,12 %.

Рассмотрим влияние орошения на урожай и поглощение элементов питания яровой пшеницы. Сорт пшеницы — Заволжская, опыты проводили на террасовом карбонатном черноземе (табл. 6) [1].

6. Влияние орошения на урожай и соотношение NPK в выносе яровой пшеницы

Варианты	Урожайность, т/га	Соотношение		
		N	P	K
Без орошения				
Без удобрений	1,78	62,7	8,2	29,1
Навоз	2,21	63,1	7,9	29,0
NPK	2,48	61,1	7,6	31,3
С орошением				
Без удобрений	2,36	59,9	10,6	29,5
Навоз	2,75	60,1	9,6	30,3
NPK	2,88	60,1	9,7	30,2

По данным таблицы, орошение увеличило в опытах урожайность пшеницы на 0,4...0,58 т/га в соответствующих по удобрениям вариантах. В то же время для всех вариантов опытов по орошению и удобрениям можно вывести среднее соотношение $N : P : K = 61,2 \pm 0,57 : 8,9 \pm 0,49 : 29,9 \pm 0,35$ с *Cv* и *p* по азоту — 2,30 и 0,94 %, фосфору — 13,48 и 5,50 %, калию — 2,90 и 1,19 %.

Влияние некоторых факторов фитоклимата на соотношение элементов питания в растениях. По исследованиям [1] различные варианты освещенности гороха и кукурузы при одинарной и двойной дозе калия не оказали существенного влияния на соотношение поглощаемых элементов питания. Относительная влажность воздуха 45 и 90 % в опытах с огурцами, овсом, кукурузой и горохом оказывала существенное влияние на усвоение питательных веществ. В то же время соотношение элементов питания, поглощаемых каждой культурой, осталось постоянным.

Данные по изменению содержания элементов питания в теневых и световых листьях сливы представлены в таблице 7 (2).

Среднее соотношение $N : P_2O_5 : K_2O = 60{,}9 \pm 0{,}25 : 8{,}7 \pm 0 : 30{,}3 \pm 0{,}25$ с *Cv* и *p* по азоту — 0,59 и 0,42 %, калию — 1,19 и 0,84 %.

Влияние температуры воздуха на концентрацию и соотношение NPK в листьях сливы дано в таблице 8 [2].

Изменение температуры от отрицательных до высоких положительных значений не оказывало существен-

7. Изменение содержания азота, фосфора и калия в листьях ростовых побегов сливы

Листья	Содержание, %			Соотношение		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Световые	3,21	0,46	1,62	60,7	8,7	30,6
Теневые	3,01	0,43	1,48	61,2	8,7	30,1

8. Влияние колебаний температуры воздуха на содержание азота, фосфора и калия в листьях сливы

Температура воздуха, °С	Содержание, %			Соотношение		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
—2	1,81	0,84	1 16	56,4	7,5	36,1
+10	1,97	0,25	1,17	58,1	7,4	34,5
+22	1,90	0,25	1,15	57,5	7,5	34,4

ного влияния на процентное содержание и соотношение элементов питания в листьях сливы. Среднее соотношение $N : P_2O_5 : K_2O = 57{,}5 \pm 0{,}57 : 7{,}5 \pm 0{,}04 : 35{,}0 \pm 0{,}55$ с *Cv*

и p по азоту — 1,70 и 0,98 %, фосфору — 0,93 и 0,54 %, калию — 2,71 и 1,57 %.

Соотношение поглощаемых элементов питания и продуктивность сельскохозяйственных культур. Нет необходимости доказывать, что биомасса той или иной сельскохозяйственной культуры, получаемая при различных уровнях урожайности, требует для своего формирования неодинакового количества элементов минерального питания.

По данным Д. Н. Прянишникова, урожайность корней сахарной свеклы оказывала существенное влияние на вынос питательных веществ (табл. 9) [1].

При разнице урожаев сахарной свеклы в 1,6...2,3 раза и соответствующем увеличении выноса элементов

9. Вынос N, P_2O_5 и K_2O с урожаем сахарной свеклы

Урожайность		Вынос, кг/га			Соотношение		
т/га	%	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
38,6	100	193	58	224	40,7	12,2	47,1
61,8	160	278	99	371	37,2	13,1	49,7
89,0	230	552	169	668	39,7	12,2	48,1

питания можно вывести среднее соотношение $N : P_2O_5 : K_2O = 39{,}2 \pm 1{,}04 : 12{,}5 \pm 0{,}31 : 48{,}3 \pm 0{,}76$ с Cv и p по азоту — 4,59 и 2,65 %, фосфору — 4,32 и 2,50 %, калию — 2,71 и 1,57 %.

Данные по влиянию размера урожайности кукурузы на вынос и соотношение элементов минерального питания представлены в таблице 10 (первые четыре строчки — данные Коларжика, две последние — Бояровича) [1].

10. Вынос с зерном и соответствующим объемом соломы кукурузы N, P_2O_5 и K_2O

Урожайность		Вынос, кг/га			Соотношение		
т/га	%	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
2,5	100	77	29	91	39,0	15,0	46,0
4,0	160	116	36	138	40,0	12,5	47,5
4,9	196	139	50	170	38,0	14,0	48,0
6,8	272	187	70	215	39,6	14,8	45,6
10,9	436	339	148	354	40,2	17,6	42,2

Несмотря на то что урожайность кукурузы увеличивается в 1,6...4,3 раза и соответственно увеличивается вынос питательных веществ, соотношение между элементами остается постоянным. Среднее для всех урожаев $N : P_2O_5 : K_2O = 39{,}3 \pm 0{,}40 : 14{,}8 \pm 0{,}82 : 45{,}9 \pm 1{,}02$ с Cv и p по азоту — 2,26 и 1,01 %, фосфору — 12,36 и 5,54 %, калию — 4,97 и 2,23 %.

Заканчивая обзор влияния факторов внешней среды на соотношение поглощаемых растениями элементов минерального питания, можно сделать следующие выводы.

1. Соотношение элементов питания, поглощаемых растениями данного вида в адаптированных (нормальных для роста и развития) условиях, не зависит от географических и почвенно-климатических условий местопроизрастания, возраста и сорта растений, включая систему подвой-привой, принятой агротехники. На соотношение поглощаемых элементов не оказывают влияния такие факторы фитоклимата, как освещенность посевов, относительная влажность и температура воздуха. В адаптированных условиях на соотношение не влияют размер урожая и изменение при этом выноса питательных веществ данной культурой.

2. Можно полагать, что соотношение элементов питания в растениях — наследственный признак, поэтому оно может быть названо видовым генотипическим соотношением (ВГС) данной растительной культуры. Практический выход использования явления константности ВГС по трем важнейшим элементам минерального питания — азоту, фосфору и калию — можно в настоящее время реализовать при разработке схем с удобрениями для различных сельскохозяйственных культур, с учетом их биологических особенностей. Отклонение от оптимального ВГС позволяет установить, какое именно удобрение нужно в первую очередь данному насаждению или сельскохозяйственной культуре. В то же время схемы опытов с удобрениями под планируемый урожай, разработанные на основе ВГС, будут достаточно короткими, так как при этом исключена факториальность поиска сбалансированного соотношения между элементами минерального питания.

Рассмотрим схему опытов на основе ВГС с озимой рожью. Вычислены соотношения $N : P : K = 46 : 6 : 49$; $N : P = 46 : 6 = 7{,}5 : 1$; $P : K = 6 : 49 = 1 : 8{,}2$. Известно,

что достоверную прибавку урожая дают следующие дозы удобрений: для P — 10 кг/га и для N — 30 кг/га.

С учетом вычисленных соотношений между N : P и P : K вся схема опытов выглядит следующим образом.

1. Контроль без удобрений.
2. $N_{75}P_{10}K_{62}$ — соотношение 46 : 6 : 49.
3. $N_{75}P_{10}$ — вариант с исключением K.
4. $N_{75}K_{82}$ — вариант с исключением P.
5. $P_{10}K_{82}$ — вариант с исключением N.
6. $N_{150}P_{20}K_{164}$ — соотношение 46 : 6 : 49.
7. $N_{225}P_{30}K_{246}$ — соотношение 46 : 6 : 49.

Дальнейшее продолжение вариантов нецелесообразно, так как дозы азота более 200 . . . 250 кг/га вызывают полегание зерновых и снижают урожайность.

Приведенная схема позволяет оценить естественное плодородие почвы — варианты с исключением элементов. Соотношение 46 : 6 : 49 в вариантах с полным набором элементов учитывает биологические особенности данной культуры. Число вариантов опыта с удобрениями равно числу интересующих доз удобрений в отличие от факториальных и композиционных схем, где число вариантов опытов в зависимости от числа доз удобрений возрастает в прогрессирующей зависимости.

Для ряда культур и древесных пород ВГС были получены достаточно давно. Целесообразно сравнить их со следующими результатами исследований.

Виноград. 1966 г. — N : P : K = 73,4 ± 1,59 : 5,5 ± 0,42 : : 21,1 ± 1,81 с *Cv* и *p* по азоту — 7,49 и 2,17 %, фосфору — 26,54 и 7,64 %, калию — 29,62 и 8,58 %. 1965 . . . 1978 гг. — N : P : K = 73,5 ± 0,61 : 5,9 ± 0,11 : 20,6 ± 0,90 с *Cv* и *p* по азоту — 12,69 и 0,83 %, фосфору — 28,58 и 1,86 %, калию — 40,77 и 4,37 %.

Сосна. 1968 г. — N : P : K = 66,7 ± 1,19 : 7,1 ± 0,18 : : 26,2 ± 1,15 (67 : 7 : 26) с *Cv* и *p* по азоту — 8,7 и 1,78 %, фосфору — 12,50 и 2,53 %, калию — 21,60 и 4,39 %. 1968 . . . 1977 гг. — N : P : K = 66,5 ± 0,67 : 7,7 ± ± 0,25 : 25,8 ± 0,70 с *Cv* и *p* по азоту — 4,4 и 1,0 %, фосфору — 14,0 и 3,2 %, калия — 11,9 и 2,7 %.

Морковь. 1971 г. — N : P : K = 42,0 ± 0,72 : 0,20 : 51,0 ± ± 0,68 с *Cv* и *p* по азоту — 8,99 и 1,71 %, фосфору — 14,87 и 2,86 %, калия — 6,92 и 1,33 %. 1981 г. — среднее из 47 опытов N : P : K = 42,8 ± 0,61 : 7,1 ± 0,28 : 50,1 ± 0,62 с *Cv* и *p* по азоту — 9,74 и 1,42 %; фосфору — 27,44 и 4,0 %, калию — 8,44 и 1,23 %.

Результаты исследований, выведенные в разное время, совпадают. Для практической реализации методики постановки опытов по определению оптимальных доз удобрений на основе видовых генотипических соотношений были определены значения соотношений для важнейших сельскохозяйственных культур. Соотношения вычислены по формуле $N+P+K=100$ по элементам, а не окислам, что и предложено делать в дальнейшем во избежание ошибок, так как переводные коэффициенты из окислов в элементы низки и составляют для P_2O_5 — $—P=0{,}436$ и K_2O — $K=0{,}83$.

Для упрощения расчетов составлена специальная программа для ЭВМ «Наири-К». Статистическую обработку проводили также на ЭВМ по стандартным программам. Значения ВГС для важнейших культур и древесных пород следующие.

Яровая пшеница (начальные фазы роста и развития). $n=33$, $N:P:K=49{,}6\pm0{,}27:3{,}8\pm0{,}12:46{,}6\pm\pm0{,}24$ с Cv и p по азоту — 3,15 и 0,55 %, фосфору — 18,54 и 3,22 %, калию — 2,93 и 0,52 %. Округленно $N:P:K=50:4:46$.

Озимая пшеница (начальные фазы). $n=82$, $N:P:K=48:6:46$.

Ячмень (начальные фазы). $n=243$, $N:P:K=55:10:35$.

Кукуруза (процентное содержание в зеленой массе). $n=500$, $N:P:K=46:8:46$.

Гречиха (вынос с урожаем). $n=50$, $N:P:K=43{,}5:6{,}3:50{,}2$.

Рис (процентное содержание, практически одинаковое в листьях и корнях). $n=79$, $N:P:K=44:6:50$.

Сахарная свекла (процентное содержание в листьях). $n=64$, $N:P:K=52:5{,}5:42{,}5$.

Подсолнечник (процентное содержание в фазы 3...4 пар листьев, цветение, образование корзинок, физиологическая спелость). $n=139$, $N:P:K=50:5:45$.

Картофель (процентное содержание в листьях $n=98$ и корнях $n=12$). $n=110$, $N:P:K=48:6{,}5:45{,}5$.

Хлопок (процентное содержание в фазы 4...6 настоящих листьев и массовой бутонизации). $n=12$, $N:P:K=62:12:26$.

Люцерна (1, 2 и 3 года жизни). $n=77$, $N:P:K=62:6:32$.

Тимофеевка. $n=125$, $N:P:K=46:10:44$.

Овсяница. n=96, N : P : K=46 : 8 : 46.

Лисохвост. n=24, N : P : K=46,5 : 11 : 42,5.

Клевер. n=78, N : P : K=57 : 5 : 38.

Сено многолетних трав. n=36, N : P : K=53,4 : 7,6 : : 39. Среднее соотношение для опытов с многолетними травами с учетом того, что клевер — азотфиксирующая культура, N : P : K=46 : 10 : 44.

Виноград (листья). n=233, N : P : K=73 : 6 : 21.

Морковь. n=74 (n=27, 1971 г. и n=47, 1981 г.) N : P : K=42 : 7 : 51.

Огурцы. n=38, N : P : K=54 : 7 : 39.

Помидоры. n=55, N : P : K=44,6 : 7 : 48,4.

Слива (листья). n=606, N : P : K=50,6 : 8,2 : 32,2, *Cv* и *p* по N —11 и 0,45 %, P — 2567 и 1,04 %, K — 21,84 и 0,89 %.

Выведенные значения соотношений для сельскохозяйственных культур и древесных пород не следует считать абсолютным, и при дальнейших исследованиях они могут быть скорректированы и уточнены. Причина в том, что при наборе больших статистических рядов могли быть использованы материалы с некондиционными химическими анализами. На это указывают иногда встречающиеся высокие коэффициенты вариации *Cv* 30 %. Однако показатели точности определения *p*, обычно не превышающие 5 %, говорят о том, что эти корректировки не могут быть очень существенными и выведенные соотношения с большой долей уверенности можно использовать при определении оптимальных доз удобрений по методике видовых генотипических соотношений.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журбицкий З. И., Лавриченко В. М. Определение потребности растений в питании и удобрении по соотношению NPK. ВАСХНИЛ. Всесоюзный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по сельскому хозяйству. — М., 1982, с. 63. 2. Семенюк Г. М. Диагностика минерального питания плодовых культур (косточковые породы). — Кишинев: Штиинца, 1973, с. 303. 3. Соколов О. А. Минеральное питание растений в почвенных условиях (на примере гречихи). — М.: Наука, 1980, с. 193. 4. Церлинг В. В., Горшкова М. А. Оптимизация минерального питания хлебных злаков на почвах разных типов. Труды ВАСХНИЛ, 1980, с. 173...184. 6. Шатилов И. С. Принципы программирования урожайности. — Вестник с.-х. науки, 1973, № 3, с. 53...60.

УДК 631.6:556.508.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДООБМЕНА ГРУНТОВЫХ ВОД С ПОЧВОЙ В ЛИЗИМЕТРАХ КОНСТРУКЦИИ ВНИИГиМ

П. И. ПЫЛЕНОК

Мещерский филиал Всесоюзного ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова

Наиболее совершенные приборы, позволяющие экспериментальным путем определить практически все элементы баланса почвенных и грунтовых вод, — лизиметры различных конструкций. Широкое распространение в системе научных учреждений Минводхоза СССР получили лизиметры конструкции ВНИИГиМ, уровень в которых регулируют периодически путем долива или откачки воды. От других конструкций их отличают относительная простота оборудования и эксплуатации, достаточная точность определения элементов водного баланса.

Опыт трехлетнего применения этой конструкции автором показал некоторые недостатки существующей методики определения водообмена между грунтовыми водами и зоной аэрации. Водообмен, принимаемый равным количеству долитой или слитой воды, соответствует истинному значению только в том случае, если уровень воды в лизиметре в начале и конце расчетного периода одинаковый $H_{i-1}=H_i$, что на практике бывает редко. Недостаток методики ВНИИГиМ — в том, что срочные и декадные значения водообмена определяют с ошибкой при $H_{i-1}\neq H_i$. Абсолютное значение этой ошибки прямо пропорционально разности глубин уровня. Анализ опытных данных показал, что недоучет водообмена приводит к значительным ошибкам, относительное значение которых может достигать 40 % и более для срочных и 15...20 % для декадных значений водообмена. С увеличением расчетного периода относительная ошибка уменьшается. Предельное значение абсолютной ошибки для декадных периодов равно 5 мм при уровнях в лизиметре 0,5...1 м.

Методика ВСЕГИНГЕО позволяет устранить этот недостаток. В тех случаях, когда уровень не регулируют, значение водообмена определяют по изменению

уровня воды в лизиметре. Дополнительное значение водообмена при регулировании уровня определяют по установившимся его значениям в начале и конце расчетного периода. После каждого регулирования необходимо проводить дополнительные наблюдения за восстановлением уровня, что приводит к следующим недостаткам: при низкой водопроницаемости почвогрунтов монолита лизиметра необходимо очень длительное время для стабилизации уровня и, следовательно, значительно возрастает объем наблюдений; при поддержании уровня в лизиметре на незначительной глубине (50...70 см) происходит очень интенсивный расход грунтовых вод на испарение и быстрое изменение уровня, что не позволяет точно установить его стабилизировавшееся значение.

Для устранения отмеченных недостатков использована следующая зависимость для определения водообмена, полученная из баланса имитированного в лизиметре водоносного горизонта;

$$\pm q = 10\mu (H_{i-1} - H_i - h_д + h_с),$$

где μ — водоотдача или недостаток насыщения грунтов в зоне колебания уровня воды; H_{i-1}, H_i — уровень воды в лизиметре, измеренный до регулирования в начале и конце расчетного периода, см; $h_д = 10V_д/F$, $h_с = 10V_с/F$ — слой долитой, слитой воды в (i—1) срок, мм; $V_д$, $V_с$ — объем долитой, слитой воды, см^3; F — площадь лизиметра, см^2.

В таблицах 1 и 2 приведены примеры обработки фактических данных наблюдений в лизиметрах с постоянным и переменным уровнем, поддерживаемым равным глубине грунтовых вод на балансовом участке. Лизиметры установлены на объекте «Вожа» в центральной части Мещерской низменности на легких минеральных почвогрунтах под культурой костра безостого.

Подпитывание (табл. 1) за 22...23.05.79. определено следующим образом:

$$\pm q = -0{,}8 - 5{,}1 = -5{,}9 \text{ мм},$$

инфильтрация за 29.06...07.80:

$$\pm q = +2{,}2 + 3{,}8 = 6 \text{ мм}.$$

Так как предлагаемое уравнение описывает баланс грунтовых вод, то подпитывание будет со знаком минус, а инфильтрация со знаком плюс.

1. Журнал наблюдений и обработки данных по лизиметрам с постоянным уровнем воды

Дата наблюдений	Время наблюдений	Осадки, мм	Глубина уровня в лизиметре $H_л$, см	Изменение уровня $\pm\Delta H_л$, см	Объем долитой воды $V_д$, см³	Объем слитой воды $V_с$, см³	Слой долитой воды $h_д$, мм	Слой слитой воды $h_с$, мм	$\pm\mu\Delta H_л$, мм	Подпитывание, мм	Инфильтрация, мм
22.05.79.	7,0	—	63		4 000		5,1				
23.05.79.	9,0	—	64	—1	5 000		6,4		—0,8	5,9	
24.05.79.	9,0	—	62	+2	5 000		6,4		+1,5	4,9	
27.06.80.	9,0	4,8	61								
29.06.80.	9,0	18,0	53	+8		3 000		3,8	+6,0		6,0
01.07.80.	9,0	10,0	50	+3		5 000		6,4	+2,2		6,0

Примечание. Площадь лизиметров F=7 850 см²; водоотдача μ=0,075; уровень воды в лизиметре $H_л$ =56 см.

2. Журнал наблюдений и обработки по лизиметрам с переменным уровнем воды

Дата наблюдений	Время наблюдений, ч	Осадки, мм	Глубина уровня в лизиметре $H_л$, см	Изменение уровня $H\pm_л$, см	Объем слитой воды $V_с$, см	Слой слитой воды $h_с$, мм	$\pm\mu\Delta H_л$, мм	Подпитывание, мм	Уровень грунтовых вод $H_{гр}$, см	Изменение уровня $\pm\Delta H_{гр}$, см	$\pm 10\mu\Delta H_{гр}$, мм	Разность между притоком и оттоком $\frac{Q_1-Q_2}{\omega}$ мм	
												$Q_1>Q_2$	$Q_1<Q_2$
23.07.80.	9,0	0,7	85						85				
25.07.80.	9,0		89	—4			—3,6	3,6	91	—6	—5,4		1,8
27.07.80.	10,0		93	—4	4 000	5,1	—3,6	3,6	98	—7	—6,3		2,7

Примечание. Площадь лизиметра F=7 850 см²; водостдача грунтов в лизиметре $\mu_{50\ldots100}$ =0,09 и $\mu_{100\ldots150}$ =0,15; водостдача грунтов в естественных условиях $\mu_{50\ldots100}$ =0,09 и $\mu_{100\ldots150}$ =0,15.

Аналогично определяют подпитывание и инфильтрацию по лизиметрам с переменным уровнем (табл. 2), дополнительно в этом случае определяют разность между притоком и оттоком грунтовых вод на балансовый участок в соответствии с методикой ВСЕГИНГЕО.

Предлагаемый способ позволяет более точно учитывать водообмен между грунтовыми водами и зоной аэрации по сравнению с методикой ВНИИГиМ и избежать дополнительных затрат времени на наблюдения, связанные с определением стабилизировавшегося уровня.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саваренский А. Д., Маслов Б. С., Никитин И. С. Лизиметры ВНИИГиМ: конструкция и опыт применения. — В сб.: Новые методы расчета режима осушения земель и усовершенствование конструкций осушительных систем. — М., 1972, с. 165—176.

СОДЕРЖАНИЕ

Вопросы методики полевых научных исследований по осушению. *Б. С. Маслов* 3
Научно-методическая работа ЛитНИИГиМ по организации полевых научных исследований в области осушительных мелиораций. *П. Ю. Балзарявичюс, А. Л. Лукянас* . . . 11
К вопросу методики полевых исследований закрытого дренажа. *А. И. Бальчюнас* 16
Вопросы методики полевых исследований осушительного действия дренажа. *Ц. Н. Шкинкис* 24
Методика проведения полевых исследований при осушении тяжелых почвогрунтов закрытым дренажем. *А. И. Климко, А. М. Смирнов* 33
Особенности полевых научных исследований по осушительным мелиорациям в условиях Севера. *И. М. Нестеренко* 39
Некоторые вопросы методики полевых исследований осушения болот. *У. Х. Томберг* 45
Метод определения расчетных значений коэффициента фильтрации торфяных залежей с учетом плановой неоднородности. *А. И. Мурашко, А. А. Новиков, Г. А. Щербаков* 47
Определение коэффициента фильтрации и размеров активной области движения. *Н. И. Дружинин* 59
Определение проницаемости вертикально-неоднородных грунтов. *В. А. Ионат* 73
Расчет режима уровня грунтовых вод на междренье осушительно-увлажнительной системы с помощью уравнения водного баланса. *Д. Ф. Шульгин, Г. П. Белова* 83
Учет неоднородности почвогрунтов в пространстве при исследованиях водного режима. *В. Ф. Митин* 90
Метод установления зависимости между временем отвода почвенно-грунтовых вод и параметрами дренажа. *Э. А. Бишоф, В. А. Журавлев, Д. П. Самофалов, М. В. Домашенко* 112
Методика исследований водного режима осушаемых земель с грунтовым типом питания в условиях дождевания. *Ю. Н. Никольский, Н. П. Бунина* 123
Методика контроля влажности почв на осушительно-увлажнительных системах. *Г. И. Шаткаускас* 140
Методические исследования почвенной влажности на мелиорированных землях. *Р. И. Урбонас* 150
Методика определения критериев интенсивности осушения закрытым дренажем. *Р. А. Тумас* 160
Проблемы методики прикладных исследований причин отказа действия закрытого дренажа. *К. Ф. Алеканд, У. У. Ури* 166
Особенности организации гидрологических исследований на территории крупных дренажных систем в Литовской ССР. *А. И. Сакалаускас* 176
Определение расчетной обеспеченности осушительных систем в недостаточно изученных регионах. *И. С. Никитин, С. А. Петухов* 181
Выбор гипотезы и определение расчетной интенсивности отвода грунтовых вод для обоснования полевых эксперимен-

тов по определению оптимальных параметров закрытого дренажа. *П. С. Пхакадзе* 189
Устройства для измерения глубины промерзания почвогрунтов. *Э. А. Бишоф, Ю. П. Жегалев, И. М. Нестеренко* . . 193
О некоторых трудностях обработки экспериментальных данных. *И. В. Минаев* 202
Моделирование и модельный эксперимент в сельскохозяйственных мелиорациях. *Б. Ф. Никитенков* 213
Моделирование режимов осушения сельскохозяйственных земель. *Ю. А. Канцибер* 223
Методика организации и проведения исследований по изучению приемов культуртехники. *К. И. Преображенский* 229
Постановка опытов по окультуриванию осушаемых почв. *Х. Н. Стариков* 242
Методика проведения исследований по окультуриванию мелиорируемых земель. *И. М. Емельянова* 251
Методика регулирования питательного режима мелиорируемых почв при программировании урожайности. *Т. П. Попова, Г. А. Малышева, И. М. Емельянова* 256
Методика отбора образцов в полевых опытах и ее влияние на показатели питательного режима низинной торфяной почвы. *В. А. Шаманаев* 266
Некоторые особенности методики полевых и камеральных исследований торфяных почв в целях мелиорации и сельскохозяйственного освоения. *И. Н. Скрынникова* . . . 286
Методика постановки опытов с удобрениями на мелиорируемых землях. *В. М. Лавриченко* 292
Определение водообмена грунтовых вод с почвой в лизиметрах конструкции ВНИИГиМ. *П. И. Пыленок* 305

Линия отреза

РЕФЕРАТЫ К СБОРНИКУ «МЕТОДЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОСУШИТЕЛЬНЫМ МЕЛИОРАЦИЯМ»

УДК 631.43

Маслов Б. С. ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОСУШЕНИЮ.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 3.

Изложены основные требования к организации научно-методической работы в области осушительных мелиораций.

УДК 631.62.001.1

Балзарявичюс П. Ю., Лукянас А. Л. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ РАБОТА ЛитНИИГиМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПОЛЕВЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина, М., 1983, с. 11.

Освещены вопросы планирования научно-исследовательских работ, апробации методик и программ исследований, строительства опытно-производственных гидромелиоративных систем, сбора первичной информации на полевых опытных участках.

УДК 631.626.2.001.4.

Бальчюнас А. И. К ВОПРОСУ МЕТОДИКИ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 16.

Рассмотрены вопросы размещения полевых опытов дренажа. Дан анализ трех принципиально различных схем опытов, приемлемых в зависимости от постановки вопроса исследования.

Иллюстраций — 5.

УДК 631.626.2

Шкинкис Ц. Н. ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСУШИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ДРЕНАЖА.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х наук. им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 24.

Изложены разработанные на основании 25-летнего опыта основные положения методики полевых исследований действия дренажа, которые были применены при создании многочисленных опытных дренажных систем в Латвийской ССР, где ведутся круглогодовые наблюдения за основными показателями осушительного действия дренажа.

Иллюстраций — 4.

УДК 626.86 : 872 : 631.43

Климко А. И., Смирнов А. М. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ОСУШЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ ПОЧВОГРУНТОВ ЗАКРЫТЫМ ДРЕНАЖЕМ.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 33.

Рассмотрены вопросы организации научных исследований при разработке способов осушения почвогрунтов тяжелого механического состава. Приведены основные требования, предъявляемые к выбору опытно-производственных объектов для создания на них экспериментальных участков, и указаны возможные варианты опытных систем. Перечислен состав наблюдений и разработана методика их проведения.
Таблиц — 1.

УДК 626.86 : 872.631.43.001.8

Нестеренко И. М. ОСОБЕННОСТИ ПОЛЕВЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОСУШИТЕЛЬНЫМ МЕЛИОРАЦИЯМ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук. им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 39.

Показано, что в сложных геоморфологических и гидрогеологических условиях при изучении способов осушения, водного режима почв и баланса влагозапасов, влияния мелиораций на окружающую среду площадь опытных мелиоративных систем должна быть не менее 1 000 га. На отдельных участках необходима организация длительных (более 8 . . . 10 лет), круглогодовых стационарных наблюдений и исследований с применением унифицированных приборов и оборудования.
Таблиц — 1, иллюстраций — 3.

УДК 631.626.5

Томберг У. Х. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСУШЕНИЯ БОЛОТ. В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 45.

Приведены методические рекомендации для выбора опытного участка по осушению болот, определения основных характеристик его и измерения дренажного стока, глубин уровней грунтовых вод, испарения, влажности почвы и урожаев сельскохозяйственных культур.

УДК 631.62

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ С УЧЕТОМ ПЛАНОВОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ/Мурашко А. И., Новиков А. А., Щербаков Г. А.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 47.

Описана методика определения коэффициента фильтрации торфяных залежей, позволяющая с заданной точностью и надежностью устанавливать расчетные значения этого параметра, оценивать погрешности в расчетах положения уровня грунтовых вод вследствие плановой неоднородности фильтрующей среды и масштабных эффектов.
Таблиц — 6, иллюстраций — 2.

Линия отреза

УДК 627.824.012.4.023 : 532.546

Дружинин Н. И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ И РАЗМЕРОВ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ДВИЖЕНИЯ. — В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 59.

Описан разработанный автором метод определения фильтрационного расхода в скважины-колодцы и размеров активной зоны области фильтрации при помощи электромоделирования. Приведены результаты исследования, формулы и графики для расчета коэффициентов фильтрации и притока воды в одиночные скважины-колодцы в условиях напорной и безнапорной фильтрации и для определения размеров активной зоны области движения. Такие расчеты рекомендовано проводить при осушении сельскохозяйственных угодий вертикальным дренажем и при орошении сельскохозяйственных культур напорными водами.

Таблиц — 4, иллюстраций — 13.

УДК 631.6 : 626.86

Ионат В. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ВЕРТИКАЛЬНО-НЕОДНОРОДНЫХ ГРУНТОВ. — В кн.: Методы полевых научных исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 73.

Предложен экспресс-метод определения конфигурации эпюры проницаемости вертикально-неоднородных грунтов. Источник информации — кривая восстановления уровней после откачки из грунтового колодца. Дан графоаналитический метод определения точечных значений проницаемости на вертикали и потенциала Н. К. Гиринского — основных расчетных параметров, входящих в формулы для определения междренных расстояний и других гидрогеологических расчетов.

Иллюстраций — 2.

УДК 532.546

Шульгин Д. Ф., Белова Г. П. РАСЧЕТ РЕЖИМА УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД НА МЕЖДРЕНЬЕ ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ УРАВНЕНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА. — В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мероприятиям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 83.

Предложены формулы, с помощью которых можно делать прогноз динамики уровня грунтовых вод на междренье осушительно-увлажнительных систем в условиях переменного инфильтрационного и грунтово-напорного питания дренируемых земель.

Таблиц — 1, иллюстраций — 3.

УДК 626.87+631.4

Митин В. Ф. УЧЕТ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВОГРУНТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ ИХ ВОДНОГО РЕЖИМА.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 90.

Изложены методы учета пространственной изменчивости физико-механических свойств почвогрунтов при проектировании дренажа, методы выделения относительно однородных участков, в пределах которых параметры дренажа можно принимать постоянными.

Иллюстраций — 1.

Линия отреза

УДК 631.6 : 626.862

МЕТОД УСТАНОВЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ВРЕМЕНЕМ ОТВОДА ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ ВОД И ПАРАМЕТРАМИ ДРЕНАЖА (Бишоф Э. А., Журавлев В. А., Самофалов Д. П., Домашенко М. В. — В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 112.

Дано обоснование нового метода определения параметров закрытого дренажа. Для этого предложено использовать наблюдения за динамикой грунтовых вод на «дренажном клине», представляющем репрезентативный в почвенно-литологическом отношении участок осушаемого массива, на котором под острым углом друг к другу заложены две дрены. При таком расположении дрен на одном междренном пространстве можно выделить целый ряд значений расстояний между дренами и получить для них зависимости между временем отвода почвенно-грунтовых вод и параметрами дренажа. Эти данные, в свою очередь, можно использовать для обоснования оптимальных параметров регулирующей сети. Преимущество такого метода — возможности многократного моделирования периодов избыточного увлажнения различной продолжительности. Это позволяет в течение 2 . . . 3 лет исследований обосновать оптимальные параметры регулирующей сети.

Таблиц — 3, иллюстраций — 5.

УДК 631.445.1+626.845+676.17

Никольский Ю. Н., Бунина Н. П. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДНОГО РЕЖИМА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ С ГРУНТОВЫМ ТИПОМ ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ДОЖДЕВАНИЯ. — В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 123.

Приведена методика исследований закономерностей формирования водного режима зоны аэрации осушаемых земель грунтового типа питания в условиях дождевания. Выполненные по данной методике исследования позволяют установить оптимальные режимы осушения и орошения сельскохозяйственных культур с учетом получения устойчивых высоких урожаев, экономии оросительной воды и сохранения почвенного плодородия. Предлагаемая методика апробирована на экспериментальном участке МГМИ «Лесное», расположенном в БССР.

Таблиц — 1. Иллюстраций — 9.

УДК 626.81/84 : 626.86

Шаткаускас Г. И. МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ НА ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ. — В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 140.

Показано, что при проектировании систем двустороннего регулирования водного режима один из главных вопросов — обеспечение контроля за влажностью почвы. Задача получения информации о влагозапасах сельскохозяйственного поля очень сложна из-за большой пестроты их распределения как по глубине, так и по территории. Рассмотрена методика проведения почвенно-мелиоративных изысканий на площадях 100 . . . 200 га.

Таблиц — 2, иллюстраций — 2.

Линия отреза

УДК 626.8 : 631.342

Урбонас Р. И. МЕТОДИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ. — В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 150.

Рассмотрены некоторые методические вопросы исследования влажности почв. Показаны возможные потери места отбора почвенных проб для исследования влажности на осушаемом участке. Для выравнивания точности определения влажности по всему почвенному профилю предложено увеличить кратность измерений в поверхностных слоях (до 60 см) и уменьшить в более глубоких горизонтах.

Таблиц — 4, иллюстраций — 3.

УДК 631.62 : 556.16.047 (474.5)

Тумас Р. А. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ИНТЕНСИВНОСТИ ОСУШЕНИЯ ЗАКРЫТЫМ ДРЕНАЖЕМ. — В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 160.

На основе уравнения водного баланса дренированной почвы и аппроксимаций стоковой функции получены математические модели уровней грунтовых вод и дренажного стока. Параметры этих моделей являются коэффициентами, характеризующими интенсивность дренирования в данных почвенных условиях. Получены четкие критерии для сравнения эффективности действия дренажа в аналогических почвенных условиях.

Таблиц — 2.

УДК 631.6 : 626.874

Александ К. Ф., Ури У. У. ПРОБЛЕМЫ МЕТОДИКИ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИЧИН ОТКАЗА ДЕЙСТВИЯ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА. — В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 166.

Приведен анализ вопросов методики комплексных прикладных исследований причин отказа действия дренажа. Предложена методика оценки достигнутой интенсивности осушения, определения необходимой точности и оптимальной обеспеченности исходных данных для проектирования дренажных систем. Описана методика определения интенсивности притока напорных грунтовых вод.

Таблиц — 1, иллюстраций — 4.

УДК 556.04 : 631.62

Сакалаускас А. И. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КРУПНЫХ ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ В ЛИТОВСКОЙ ССР. — В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 176.

Описана организация гидрологических исследований на территории самой крупной дренажной системы в Литовской ССР. Даны характеристики опытных дренажных систем, на которых проведены исследования формирования поверхностного, дренажного и суммарного стока. Приведено описание конструкций водомерных постов и указаны особенности их сооружения.

Таблиц — 1, иллюстраций — 1.

Линия отреза

УДК 626.86 : 631.62

Никитин И. С., Петухов С. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В НЕДОСТАТОЧНО ИЗУЧЕННЫХ РЕГИОНАХ. — В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 181.

Проведена методика выбора расчетной обеспеченности режима работы осушительных систем в малоизученных районах страны. Дан пример инженерного расчета искомой обеспеченности для осушаемых болот таежной зоны Западной Сибири. Дана оценка параметров регулирующей сети через водно-тепловой режим, создаваемый на мелиорируемом объекте.

Таблиц — 4, иллюстраций — 3.

УДК 631.6 : 626.86

Пхакадзе П. С. ВЫБОР ГИПОТЕЗЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТВОДА ГРУНТОВЫХ ВОД ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПОЛЕВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА. — В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 189.

В соответствии с различной интенсивностью осушения установлено критическое значение коэффициента фильтрации, определяющего границы эффективной работы закрытого дренажа. Обоснована необходимость дифференцированного подхода к определению расчетной интенсивности отвода грунтовых вод в зависимости от природно-климатических и мелиоративных условий.

Иллюстраций — 4.

УДК 631.62

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ПОЧВОГРУНТОВ. Бишоф Э. А., Жегалев Ю. П., Нестеренко И. М. — В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 198.

Дано описание двух конструкций устройств для измерения глубины промерзания почвогрунтов в целях детального изучения теплового режима осушаемых земель.

Иллюстраций — 2.

УДК 628.367

Минаев И. В. О НЕКОТОРЫХ ТРУДНОСТЯХ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ. — В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 202.

Рассмотрены некоторые погрешности при проведении экспериментов и возможность их исправления математической обработки полученных данных. Рассмотрен метод аппроксимации функции с помощью нулевых комбинаций ординат. Приведены примеры расчета.

Таблиц — 4.

Иллюстраций — 1.

Линия отреза

Линия отреза

УДК 631.6.

Никитенков Б. Ф. МОДЕЛИРОВАНИЕ И МОДЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕЛИОРАЦИЯХ.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 213.

Рассмотрены общеметодологические подходы к методам моделирования. Показано отличие модельного эксперимента от измерительного. Модельный эксперимент — один из важнейших компонентов методов моделирования. Обращено внимание на возрастающую роль методов моделирования сельскохозяйственных мелиораций.

Иллюстраций — 1.

УДК 631.6.

Канцибер Ю. А. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОСУШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 223.

Изложены методики математического (водобалансового), физического моделирования режимов осушения сельскохозяйственных земель, позволяющие оценить эффективность агро- и гидромелиоративных мероприятий при наличии и отсутствии непродолжительных наблюдений за водным режимом почвы. Приведены результаты расчетов и полевых опытов на лизиметрических площадках опытно-показательного хозяйства СевНИИГиМ по моделированию режимов осушения суглинистых почв с различной степенью дренирования, глубоким рыхлением и дождеванием.

Таблиц — 3.

УДК 631.62(0,75.5)

Преображенский К. М. МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРИЕМОВ КУЛЬТУРТЕХНИКИ.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 229.

Рассмотрены требования, предъявляемые к культуртехническим работам. Приведены градации культуртехнических характеристик и их возможные допуски при выборе опытных участков. Рассмотрены вопросы оптимизации числа вариантов и повторностей опытов, размеров, формы и размещения опытных делянок. Даны методики выполнения основных наблюдений за технологическими процессами при исследованиях культуртехнических мелиораций.

УДК 631. 62

Стариков Х. Н. ПОСТАНОВКА ОПЫТОВ ПО ОКУЛЬТУРИВАНИЮ ОСУШАЕМЫХ ПОЧВ.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина, М., 1983, с. 242.

Сформулированы основные требования к выбору опытных участков и проведению опытов по окультуриванию земель. Приведены примерные схемы опытов и состав необходимых наблюдений.

Иллюстраций — 3.

УДК 631.62(0,75.5)

Емельянова И. М. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОКУЛЬТУРИВАНИЮ МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 251.

Рассмотрены особенности закладки полевых опытов и проведения исследований по окультуриванию мелиорируемых земель. Показана необходимость размещения делянок опыта с учетом расположения элементов осушительной сети. Сформулировано требование к однородности опытного участка. Даны допустимые пределы отклонений по показателям плодородия почвы, их водно-физическим свойствам, механическому составу, степени засоренности камнями и древесно-корневыми остатками. Определен состав наблюдений на опытных участках в зависимости от изучаемых приемов окультуривания.

УДК 631.6 : 631.4 : 681 : 14

Попова Т. П., Малышева Г. А., Емельянова И. М. МЕТОДИКА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПИТАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА МЕЛИОРИРУЕМЫХ ПОЧВ ПРИ ПРОГРАММИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 256.

Рассмотрены особенности получения запланированных урожаев на мелиорируемых землях. Приведены различные способы расчета потенциально возможной урожайности в зависимости от агроклиматических ресурсов, плодородия почв и отрегулированности их водного режима. Дана формула расчета норм минеральных удобрений под запланированный урожай, учитывающая вынос элементов питания с продукцией, их содержание в почве и органических удобрениях, а также коэффициенты использования элементов питания из почвы и удобрений. Приведены значения колебаний всех входящих в формулу показателей в зависимости от плодородия почв, биологических особенностей культур, размера планируемой урожайности.

Таблиц — 6.

УДК 631.62

Шаманаев В. А. МЕТОДИКА ОТБОРА ОБРАЗЦОВ В ПОЛЕВЫХ ОПЫТАХ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПИТАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА НИЗИННОЙ ТОРФЯНОЙ ПОЧВЫ.— В кн. Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 266.

Приведены результаты изучения влияния способов отбора образцов на питательный режим и агротехнические свойства низинной торфяной почвы в первые годы ее использования под монокультурой картофеля, черным паром, тимофеевкой луговой в условиях Смоленской области.

Таблиц — 10.

УДК 631.445.14 : 631.42 : 631.6

Скрынникова И. Н. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПОЛЕВЫХ И КАМЕРАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В ЦЕЛЯХ МЕЛИОРАЦИИ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 286.

Приведены особенности полевых и лабораторных анализов органических почв, физико-химические свойства которых зависят от их влажности.

Линия отреза

УДК 631.6.

Лавриченко В. М. МЕТОДИКА ПОСТАНОВКИ ОПЫТОВ С УДОБРЕНИЯМИ НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЛЯХ.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 292.

Показано, что соотношение элементов питания, поглощаемых растениями данного вида в адаптированных (нормальных для роста и развития) условиях, не зависит от факторов внешней среды и представляет видовую генетическую константу. На основе видовых генетических соотношений построена схема опытов с удобрениями при небольшом числе вариантов. Даны значения видовых генетических соотношений для важнейших сельскохозяйственных культур.

Таблиц — 14.

УДК 631.6 : 556.508.7.

Пыленок П. И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДООБМЕНА ГРУНТОВЫХ ВОД С ПОЧВОЙ В ЛИЗИМЕТРАХ КОНСТРУКЦИИ ВНИИГиМ.— В кн.: Методы полевых исследований по осушительным мелиорациям/Всесоюзн. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. М., 1983, с. 305.

Предложено балансовое уравнение для расчета водообмена между грунтовыми водами и зоной аэрации с учетом регулирующего объема и изменения уровня воды в лизиметре.

Таблиц — 2.

Линия отреза