

КЛАССИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТСКИЙ
УЧЕБНИК



Ф.Р. Зайдельман

МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ



Серия

**КЛАССИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТСКИЙ УЧЕБНИК**

основана в 2002 году по инициативе ректора

МГУ им. М.В. Ломоносова

академика РАН В.А. Садовниченко

и посвящена

250-летию

Московского университета



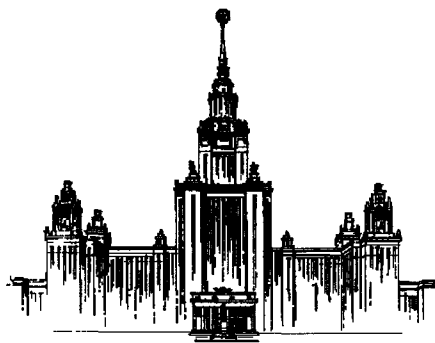
КЛАССИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТСКИЙ УЧЕБНИК

Редакционный совет серии

Председатель совета
ректор Московского университета
В.А. Садовничий

Члены совета:

Виханский О.С., Голиченков А.К., Гусев М.В.,
Добренков В.И., Донцов А.И., Засурский Я.Н.,
Зинченко Ю.П. (ответственный секретарь),
Камзолов А.И. (ответственный секретарь),
Карпов С.П., Касимов Н.С., Колесов В.П.,
Лободанов А.П., Лунин В.В., Лупанов О.Б.,
Мейер М.С., Миронов В.В. (заместитель председателя),
Михалев А.В., Моисеев Е.И., Пушаровский Д.Ю.,
Раевская О.В., Ремнева М.А., Розов Н.Х.,
Салецкий А.М. (заместитель председателя), Сурин А.В.,
Тер-Минасова С.Г., Ткачук В.А., Третьяков Ю.Д., Трухин В.И.,
Трофимов В.Т. (заместитель председателя), Шоба С.А.



Ф.Р. Зайдельман

МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ

**3-е издание,
исправленное и дополненное**

*Рекомендовано Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению 510700 «Почвоведение»
и специальности 013000 «Почвоведение»*



Издательство Московского университета
2003

Федеральная целевая программа «Культура России»
(подпрограмма «Поддержка полиграфии и книгоиздания России»)

*Печатается
по решению Ученого совета
Московского университета*

Рецензенты

проф *Б Ф Апарин*, проф *Н Н Матинян*
(Санкт-Петербургский гос университет)

проф *И И Судницын* (Московский
гос университет им М В Ломоносова)

Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв: Учебник. — 3-е изд.,
312 испр. и доп. — М.: Изд-во МГУ, 2003. — 448 с., илл. — (Клас-
сический университетский учебник).

ISBN 5-211-04801-6

Учебник содержит современные сведения о принципах и способах мелиорации почв в разных природных зонах, взаимосвязи мелиоративных мероприятий с почвенным покровом и адекватности способов мелиорации природным условиям ландшафта. Рассмотрены новые способы мелиорации свойств и режимов засоленных почв, солонцов, каменистых, заболоченных и болотных почв, почв содового, сульфидного, гипсового, карбонатного засоления и др. Приведен состав необходимых мероприятий по экологической защите мелиорируемых почв и ландшафтов от деградационных изменений. Рассмотрены вопросы рекультивации почв.

Для студентов и аспирантов-почвоведов, экологов, агрохимиков, агрономов

**УДК 631
ББК 40.6**

© Зайдельман Ф.Р., 2003
© Зайдельман Ф.Р., цв. иллюстр., 2003
© Издательство Московского университета, 2003
© МГУ им. М.В. Ломоносова,
художественное оформление, 2003

ISBN 5-211-04801-6

Предисловие

Уважаемый читатель!

Вы открыли одну из замечательных книг, изданных в серии «Классический университетский учебник», посвященной 250-летию Московского университета. Серия включает свыше 150 учебников и учебных пособий, рекомендованных к изданию Учеными советами факультетов, редакционным советом серии и издаваемых к юбилею по решению Ученого совета МГУ.

Московский университет всегда славился своими профессорами и преподавателями, воспитавшими не одно поколение студентов, впоследствии внесших заметный вклад в развитие нашей страны, составивших гордость отечественной и мировой науки, культуры и образования.

Высокий уровень образования, которое дает Московский университет, в первую очередь обеспечивается высоким уровнем написанных выдающимися учеными и педагогами учебников и учебных пособий, в которых сочетаются как глубина, так и доступность излагаемого материала. В этих книгах аккумулируется бесценный опыт методики и методологии преподавания, который становится достоянием не только Московского университета, но и других университетов России и всего мира.

Издание серии «Классический университетский учебник» наглядно демонстрирует тот вклад, который вносит Московский университет в классическое университетское образование в нашей стране и, несомненно, служит его развитию.

Решение этой благородной задачи было бы невозможным без активной помощи со стороны издательств, принявших участие в издании книг серии «Классический университетский учебник». Мы расцениваем это как поддержку ими позиции, которую занимает Московский университет в вопросах науки и образования. Это служит также свидетельством того, что 250-летний юбилей Московского университета — выдающееся событие в жизни всей нашей страны, мирового образовательного сообщества.

*Ректор Московского университета
академик РАН, профессор*

В. Садовничий
В. А. Садовничий



Зайдельман Феликс Рувимович — лауреат Государственной премии, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Окончил кафедру физики и мелиорации почв под руководством профессора Н.А. Качинского. С 1952 по 1957 г. почвовед-изыскатель Российского института по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства — Росгипроводхоз (начальник отдела, партии, главный почвовед экспедиции). С 1957 по 1970 г. — главный почвовед и начальник сектора мелиоративных исследований этого института. С 1970 по 1977 г. старший научный сотрудник кафедры физики и мелиорации. С 1977 г. по настоящее время — профессор той же кафедры.

Основные направления его исследований — генезис, гидрология, мелиорация, агроэкология, использование и охрана почв. По этим вопросам им опубликовано 380 научных, научно-практических и учебных работ, в том числе 20 монографий, два учебника для вузов, 15 научно-практических рекомендаций, внедренных в производство, научное открытие. Он главный редактор и автор ряда почвенно-мелиоративных карт регионов Российской Нечерноземья.

Профессор Зайдельман — член редколлегий журналов: «Почвоведение», «Вестник Московского университета». Серия «Почвоведение», «Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde» (Германия). Он заслуженный профессор Московского университета, лауреат Ломоносовских премий за научную работу и педагогическую деятельность, трижды лауреат премии им. академика В.Р. Вильямса, награжден золотой медалью ВДНХ и серебряной медалью им. академика П.Л. Капицы «Автору научного открытия».

ОТ АВТОРА

(предисловие к третьему изданию)

Третье издание учебника по курсу «Мелиорация почв» для студентов-почвоведов университетов и сельскохозяйственных вузов России по специальности «Почвоведение» призвано систематизировать современные представления о наиболее целесообразных способах оптимизации свойств и режимов почв, используемых в отечественной и зарубежной практике. Как бы ни были сложны и совершенны эти способы, они всегда служат одной цели — повышению плодородия почв, т. е. приданию почвам таких свойств, которые окажутся наиболее благоприятными для возделываемых растений, в конечном итоге — улучшению условий сельскохозяйственного и лесохозяйственного производств и местообитания человека. Таким образом, мелиорация является важным элементом рационального землепользования. Она служит основной задаче оптимизации различных направлений природопользования (земледелия, лесного хозяйства, организации зон рекреации, мест поселения человека). Вне рамок этой задачи мелиорация почв, очевидно, не имеет самостоятельного значения.

Третье издание учебника «Мелиорация почв» в отличие от предыдущего концентрирует внимание на этой важной проблеме. Вместе с тем в нем раскрыты три актуальных составных части мелиорации почв. Они сводятся к следующему:

Во-первых, здесь с позиций генетического почвоведения излагаются сведения о почвах как объектах мелиорации и сельскохозяйственного использования.

Насколько известно автору — это первый учебник, непосредственно посвященный проблеме мелиорации почв различного генезиса и состава. Особое внимание в нем уделено взаимосвязи генезиса и состава почв, генезиса других элементов ландшафта с многообразным арсеналом разработанных человечеством способов мелиорации их свойств и режимов. Основная отличительная особенность этого учебника заключается, таким образом, прежде всего в том, что он раскрывает адекватную взаимосвязь между почвами как непосредственными объектами мелиорации и конкретными инженерными способами ее реализации.

Во-вторых, значительное внимание уделено изложению широко апробированных способов мелиорации почв. Одновременно в этом издании нашли отражение новые способы мелиорации, обусловленные достижениями научно-технической революции, а также новыми идеями в области регулирования свойств и режимов почв. Практика показывает, однако, что ряд старых приемов мелиорации, обязанных своим появлением крестьян-

ской практике, теперь, в эпоху резкого ухудшения экологической ситуации, нередко оказываются весьма эффективными и экономически оправданными при улучшении свойств почв

В-третьих, за последние десятилетия существенно изменились состав и детальность строительных изысканий, методика прогноза, оценка природных факторов для обоснования мелиоративного строительства. Мелиорация почв нашла применение в новых нетрадиционных природных условиях, там, где прежде она не применялась вообще или использовалась в весьма ограниченных масштабах (например, в тундре и лесотундре, в степной зоне европейской территории России и других зонах). Наконец, возникли или получили более широкое развитие новые направления применения мелиорации в нашей стране, связанные с использованием почв для возделывания риса, садов и виноградников, для лесного хозяйства и др. Особое значение в настоящее время приобрели вопросы охраны мелиорированных почв и ландшафтов. Эти новые аспекты рассматриваются в третьем издании учебника впервые. Кроме того, учебник дополнен сведениями о рекультивации почв.

Все это определило необходимость пересмотра и дополнения учебной программы и подготовку нового издания учебника для университетов и сельскохозяйственных вузов по курсу «Мелиорация почв». В учебнике наряду с анализом технических достижений последних десятилетий и новых направлений мелиорации особое внимание уделено почвенно-экологическим аспектам мелиорации. В отличие от традиционного содержания учебников по мелиорации здесь опущены главы и разделы, в которых рассматриваются физические свойства почв, их эрозия и меры борьбы с ней, вопросы мелиорации песков и некоторые другие, поскольку все они в соответствии с новым учебным планом детально излагаются в самостоятельных специальных курсах.

Автор искренне благодарен членам Ученого совета факультета почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова и, особенно, профессору Е. В. Шеину, предложившим подготовить третье издание учебника «Мелиорация почв».

Автор глубоко признателен профессорам Санкт-Петербургского университета Б. Ф. Апарину и И. Н. Матинян, профессору Московского государственного университета И. И. Судницыну, взявшим на себя труд по его рецензированию, за полезные критические замечания и предложения по структуре учебника.

Автор считает своим приятным долгом принести благодарность профессорам Л. А. Воробьевой (факультет почвоведения МГУ), Е. И. Панковой и доктору сельскохозяйственных наук И. Н. Любимовой (Почвенный институт им. В. В. Докучаева) за ценные консультации и советы, использованные при написании этого учебника.

Автор глубоко благодарен советнику Министра сельского хозяйства РФ, академику РИА А. А. Вискну за неизменную доброжелательную помощь в работе, результаты которой нашли определенное отражение в этом учебнике.

Автор благодарен редакторам Издательства Московского университета за доброжелательное отношение и большую помощь на разных этапах подготовки этого учебника к публикации.

1. ВВЕДЕНИЕ В МЕЛИОРАЦИЮ ПОЧВ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕЛИОРАЦИИ ПОЧВ

1.1.1. ПОНЯТИЕ, ОБЪЕКТ, ВИДЫ МЕЛИОРАЦИИ

Одним из главных условий существования людей на земле является сохранение почв, улучшение их режима и свойств, повышение плодородия.

Вместе с тем на земном шаре происходит систематическое абсолютное и относительное уменьшение площади почв, находящихся в сельскохозяйственном и ином использовании.

Абсолютное уменьшение площади почв связано с урбанизацией общества, ростом городов, населенных пунктов, дорожных коммуникаций, развитием горной индустрии, строительством аэродромов, отчуждением земель в связи с развитием гидроэнергетики и многими другими объективными и непрерывно действующими причинами. По данным ООН, ежегодное отчуждение земель сельскохозяйственного пользования в целом в мире составляет 5—7 млн га.

Относительное уменьшение площади почв, находящихся в сельскохозяйственном пользовании, обусловлено демографическими факторами. Каждую неделю население земного шара увеличивается на 1 млн 250 тыс. человек. Бурный рост населения обуславливает снижение площади пашен и других угодий, приходящихся на одного человека. Увеличение численности населения определяет необходимость непрерывного роста производства продовольствия и сельскохозяйственного сырья для промышленности. Это противоречие (сокращение площади почв в сельскохозяйственном пользовании, с одной стороны, и непрерывно растущая потребность в продовольствии и сырье — с другой) может быть разрешено только в результате резкого повышения плодородия почв, увеличения выхода продукции с единицы площади. Последнее возможно за счет внедрения в практику земледелия достижений селекции, химизации, механизации, электрификации. Как бы, одна-

ко, ни были совершенны эти приемы, они окажутся малоэффективными или непригодными для использования до тех пор, пока почвам не будут приданы благоприятные для роста и развития сельскохозяйственных, лесных культур свойства и вторичные, более благоприятные (или оптимальные) по сравнению с естественными (исходными) водный, тепловой и солевой режимы. Нередко в целях мелиорации необходимо улучшение только одного режима почв (например, водного, путем их орошения).

Мелиорация (от лат. *melio* — улучшать) — это система мероприятий по улучшению свойств и режима почв в благоприятных производственном (сельскохозяйственном, лесохозяйственном и др.) и экологическом направлениях. Мелиорация обеспечивает создание важнейших условий для получения высоких и устойчивых урожаев, рациональное использование почв, совершенствует производство, качественно меняет условия и производительность труда. В учебнике «Основы мелиорации» академик А.Н. Костяков, один из наиболее крупных мелиораторов нашего времени, рассматривал сельскохозяйственные мелиорации как «...систему организационно-хозяйственных и технических мероприятий... имеющих задачей коренное улучшение неблагоприятных природных (почвенных, климатических, гидрологических) условий в целях успешного хозяйственного освоения и использования этих территорий, прогрессивного повышения плодородия их почв» (с. 17).

При этом всегда следует иметь в виду, что мелиорация представляет собой лишь часть сложного комплекса мероприятий, направленных на оптимизацию процесса сельскохозяйственного и лесохозяйственного производств, общего подъема продуктивности почв. Ее эффект в полной мере проявляется только на фоне высокой культуры земледелия и лесного хозяйства. Следует подчеркнуть, что при низком уровне агрономического производства эффективность целесообразно построенной мелиоративной системы может оказаться весьма незначительной, а затраты на ее строительство не оправданными вообще.

Таким образом, мелиорация является элементом землепользования вообще и земледелия в частности. Ее эффект тем выше, чем выше общий уровень земледелия. И наоборот, чем ниже уровень земледелия, тем менее эффективны мелиоративные мероприятия.

Существует шесть основных видов мелиорации почв, применяемых при сельскохозяйственном, лесохозяйственном и ином использовании территории: агрономические, биологические, химические, гидротехнические, культуртехнические и тепловые. Классификацию, отражающую главным образом состав мелиорации при сельскохозяйственном и лесохозяйственном использовании территории, иллюстрирует схема 1.

Под агрономическими мелиорациями (агромелиорациями) следует понимать комплекс мероприятий, направленных на изменение (улучшение) рельефа и физических свойств почв. Это может быть решено путем планировки поверхности, профилирования, грядования, гребневания, узкозагонной пахоты, устройства квалы. Агромелиоративные мероприятия обеспечивают организацию и ускорение поверхностного стока, улучшают распределение влаги на поверхности орошаемого поля.

К агромелиоративным мероприятиям следует отнести и приемы изменения физических свойств подпахотных горизонтов с помощью глубокого рыхления, кротования, чизелевания. К этой группе мероприятий следует отнести и плантажную глубокую пахоту, а также песчаную смешанную, покровную и песчаную смешаннослойную культуры земледелия на торфяных почвах, шелевание.

При фитомелиорациях используют возможность улучшения свойств почв и их режимов путем применения адаптированной к конкретным условиям травянистой и древесной растительности. К фитомелиорациям относят залесение песков (например, залесение подвижных песков Центральной Азии посадками черного саксаула, рис. 150, 151), создание лесных полос, использование транспирирующей способности деревьев для понижения уровня грунтовых вод, закрепление склонов, откосов, тальвегов посевами многолетних трав. Биологические особенности ряда растений могут быть использованы для рассоления поверхностных слоев профиля. Растения-сидераты улучшают структуру почвы, способствуют борьбе с их солонцеватостью.

Химические мелиорации направлены на изменение неблагоприятных химических и физических свойств почв и оросительных вод. Химические мелиорации включают внесение крупных доз извести при глубоком мелиоративном рыхлении на всю глубину обработки, а также гипса при борьбе с солонцеватостью или при профилактике этого явления в процессе промывок засоленных почв от избытка водорастворимых солей. Химические мелиорации могут быть связаны с необходимостью изменения свойств оросительных вод, например, внесение кальция (обычно — гипса) в поливные воды, обогащенные бикарбонатом натрия, или разбавленной серной кислоты. К химическим мелиорациям следует отнести мероприятия по кислованию почв содового засоления, усилению окислительной способности оросительных вод путем их предварительного насыщения кислородом и др.

Культуртехнические мелиорации — комплекс технических мероприятий, обеспечивающих приведение в благоприятное для возделывания культурных растений состояние поверхности и корнеобитаемых горизонтов. Это достигается путем уборки поверхностных и внутрипочвенных камней, удаления кустарника

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ МЕЛИОРАЦИИ



пней, кочек, мелколесья, засыпки ям, разборки валов выкорчеванной древесины, извлечения погребенной древесины и др.

Гидротехнические мелиорации обеспечивают подведение к мелиорированной территории поливных вод, необходимых для регулирования водного режима почв, аккумуляцию влаги в необходимом количестве и в нужное время, сброс избыточной гравитационной влаги за пределы рассматриваемой территории. Гидротехнические мелиорации имеют своей основной задачей регулирование водного режима почв. Это достигается орошением, осушением, двусторонним регулированием водного режима почв, обводнением территории, строительством водохранилищ.

Тепловые мелиорации направлены на изменение теплового режима почв с помощью мероприятий по трансформации гранулометрического состава поверхностных горизонтов (например, внесение мелких камней в пахотные слои северных почв

ПОЧВ, ИХ ЗАДАЧИ И СОСТАВ



с целью уменьшения их теплоемкости и повышения температуры, систематического снегозадержания, мульчирования поверхности и др.).

Различия между отдельными видами мелиорации носят несколько условный характер, однако принятое деление позволяет более четко ориентироваться в сложной системе современных мероприятий, направленных на улучшение свойств и режима почв.

Так как мелиорация — это система определенных технических и иных мероприятий, направленных на улучшение свойств и режимов почв, то обычно наибольший эффект удастся достигнуть при комплексном применении различных видов мелиорации. Например, при осушении тяжелых заболоченных почв — сочетанием агро-мелиорации, гидротехнических и культуртехнических мелиораций; при орошении засоленных почв — биологических, химических и гидротехнических мелиораций и т.д.

Задача мелиорации заключается в том, чтобы улучшить свойства и режим (или режимы) поверхностных рыхлых отложений в слое мощностью 1–2 м, т.е. в горизонтах почвенного профиля. Поэтому непосредственным и основным объектом мелиорации всегда является почвенный покров.

В гумидной и семигумидной зонах, где задачи мелиорации ограничены необходимостью придать верхней 1–2-метровой толще благоприятные для возделывания культур свойства и режимы, почвенный покров является не только непосредственным, но и единственным объектом мелиорации.

В аридной и семиаридной зонах, особенно там, где засолены не только почвы, но и почвообразующие породы, а также грунтовые воды, задача мелиорации заключается в улучшении как почв, так и пород и поверхностных горизонтов грунтовых вод. Поэтому на массивах орошения с засоленными почвообразующими породами и грунтовыми водами непосредственным объектом мелиорации нередко оказываются не только почвы, но и толща пород, а также поверхностные горизонты грунтовых вод, поскольку в процессе мелиорации может возникнуть необходимость их опреснения.

Мелиорация почв — системная дисциплина, которая ассимилирует в себе достижения гидротехники и строительного дела, почвоведения, гидрологии, геологии, климатологии, экономики и др. Попытаемся установить роль почвоведения в решении мелиоративных задач. Почвоведение является фундаментальной наукой об объекте мелиорации, поскольку поверхностная толща рыхлых отложений мощностью 1–2 м есть не что иное, как свита горизонтов почвенного профиля. Итак, в гумидных ландшафтах всегда, а в сухостепных и аридных областях преимущественно почвы являются непосредственным и часто единственным объектом мелиорации. Поэтому очевидно, чем лучше изучены почвы, тем правильнее могут быть реализованы мелиоративные мероприятия. Оценка почв как объекта мелиорации должна осуществляться с генетических позиций, т.е. с учетом всех факторов, определяющих их возникновение. Такой подход строится на основе методов исследования, принятых докучаевским почвоведением. Из этого следует, что, во-первых, докучаевское генетическое почвоведение является фундаментальной теоретической наукой о почвах как объекте мелиорации. Во-вторых, почвоведение должно изучать и раскрывать свойства и режимы почв в естественном состоянии, до проведения мелиоративных мероприятий. Необходимо до начала мелиорации оценить те параметры, которые следует изменить с помощью мелиоративных мероприятий. В-третьих, почвоведение как теоретическая наука должно прогнозировать изменения почв под влиянием мелиорации. Успех мелиорации всегда определяется тем, насколько полно изучены свойства и режимы почв в исходном со-

стоянии (до мелиорации) и как детально отражены в проекте их изменения и эволюция после мелиорации. При этом очевидно, что эволюция почв протекает, безусловно, не спонтанно, не как некое саморазвитие, а как естественный ответ почвенного покрова на изменившиеся под влиянием антропогенных факторов внешние условия.

1.1.2. КРАТКИЙ ОБЗОР ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ МЕЛИОРАЦИИ

История человечества показывает, что в условиях гумидного и аридного климата мелиорация почв всегда оказывалась необходимой не только для развития и стабилизации сельского хозяйства, но и для самого существования человека. Об этом свидетельствуют древние оросительные системы в долинах Нила, Тигра и Евфрата, Амударьи и Сырдарьи, на огромной территории Юго-Восточной Азии, в Мексике, на территории Древнего Урарту, в Южной Америке и т.д. Орошение определяло стабильность многих цивилизаций, а разрушение ирригационных систем — их гибель. Мелиорация в руках заинтересованных и грамотных землепользователей всегда оказывалась мощным экономическим фактором развития страны.

Мелиорация почв по своей длительности сопоставима, вероятно, с историей человеческой цивилизации. Развитие крупных ирригационных систем, организованное водопользование тесно связаны с возникновением крупных рабовладельческих государств, появлением централизованного управления.

В бассейнах рек Теджен и Мургаб за 10 000 лет до н.э. существовало орошение. Исторические документы свидетельствуют о том, что искусственное орошение в широких масштабах применялось более 4000 лет назад в Египте, Месопотамии, Китае, Урарту, Индии. А.А. Черкасов (1958) отмечает, что в долинах рек Тигр и Евфрат до наших дней сохранились остатки крупнейшего оросительного канала Нарван, постройка которого относится к периоду одной из самых древних цивилизаций, существовавшей в Междуречье. Длина этого канала — 400 км, ширина — 120 м, глубина — от 9 до 15 м.

По свидетельству древнегреческого историка Страбона, в I в. н.э. в Закавказье в Ширванской степи орошалось земли больше, чем в Египте и Вавилоне. Орошение позволяло собирать 2–3 урожая в год. Археологические исследования в бассейне Аральского моря, выполненные с использованием аэрофотосъемки, показали, что площадь орошаемых почв в III–V вв. до н.э. превышала современную площадь ирригации.

В настоящее время в мире происходит бурное развитие орошения. Примером тому служат приводимые ниже данные.

Годы	1800	1900	1949	1959	1974	1990
Площадь орошения, млн га	8	48	92	149	200–225	250–275

В целом на земном шаре насчитывается свыше 500 млн га земель, нуждающихся в орошении. Анализ мирового опыта показывает, что в районах засушливого климата орошение может удвоить производство продукции на 40% всех сельскохозяйственных земель, а на 15%, приуроченных к полуаридной и аридной зонам, утроить ее объемы. Этим объясняются высокие темпы ежегодного прироста орошаемых земель в мире, составившие в XX в. 3 млн га в год.

Достаточно древними являются и осушительные мелиорации. В течение ряда тысячелетий население Египта, Бирмы, Индии, Вьетнама, Китая сооружало в долинах крупных рек дамбы для защиты полей от наводнений. Греческий историк Геродот более 2000 лет назад описал одну из первых дренажных систем в долине Нила. Дренаж как мелиоративное мероприятие получил широкое распространение в античный период в Греции. Позднее Катон (I в. до н.э.) в трактате «О земледелии» описал открытые дренажные системы, применявшиеся в Древнем Риме для осушения почв на виноградниках и оливковых плантациях. Многие из этих систем действуют до настоящего времени. В X в. в Европе начались работы по устройству осушительных систем в бассейне Северного моря. Особенно интенсивными они были в XII–XIV вв. Осушались крупные болота, приморские низменности, дельты рек, приозерные понижения.

В Англии в 1252 г. при короле Генрихе III был принят первый закон об осушении сельскохозяйственных земель, который стал основой для развития мелиорации в последующие столетия. Первая система закрытого дренажа в Европе была построена, по-видимому, в этой стране при Генрихе V в конце XV в.

В XVI–XVII вв. в Голландии началось строительство польдерных осушительных систем с перекачкой дренажных вод из каналов в море с помощью ветряных мельниц. Появление гончарного дренажа относится примерно к 1810 г. К. Маркс рассматривал изобретение гончарного трубчатого дренажа в Англии и его внедрение в сельскохозяйственное производство в середине XIX в. как аграрную революцию в этой стране. В 1846 г. парламентским актом дренаж сельскохозяйственных земель был признан национальным достоянием.

За период 1846–1873 гг. в Англии было осушено 4 млн га, т.е. ежегодно по 150 тыс. га. В 1880 г. площадь осушенных земель в стране составила 6,2 млн га. В настоящее время общая площадь ежегодного строительства дренажа (включая объекты реконструкции) составляет около 100 тыс. га.

В странах гумидного климата Европейского континента и в США в настоящее время наблюдается быстрый рост площади осушенных почв. Так, ежегодные темпы прироста площади дренирования в ФРГ составили 65 тыс. га (Эггельсманн, 1984). В США к концу 60-х годов закрытым гончарным дренажем было осушено около 40 млн га и открытой сетью около 20 млн га.

В Финляндии из общей площади сельскохозяйственных земель, равной 2,5 млн. га, только 12% может быть использовано в земледелии без дренажа. В настоящее время в стране осушено закрытым дренажем 0,9 млн. га (т.е. 36% от этой площади), а вся остальная территория (т.е. 52% всех сельхозугодий) дренирована частой сетью открытых каналов. Таким образом, в этом государстве осушена практически вся площадь сельскохозяйственных земель, испытывающих избыточное увлажнение:

В 1975 г. в США обрабатывалось 188,3 млн га земель, из них осушалось 59,8 и орошалось 23,4 млн га. В СССР в это время обрабатывалось 232,3 млн га земель. Из них осушалось 13,8 и орошалось 17,8 млн. га. Это распределение имело место при равной площади переувлажненных почв в США и СССР (на 1975 г.). — около 100 млн га. Таким образом, к 1975 г. в США было осушено около 60% переувлажненных почв, сельскохозяйственное использование которых возможно только после мелиорации, в СССР — 13,8%.

Интенсивное развитие работ по осушению в России первоначально было связано с деятельностью Петра I. Он предпринял осушение болот в связи с освоением побережья Финского залива, строительством Петербурга и других городов, крепостей, заводов. Действие открытых осушительных систем было описано М.В. Ломоносовым в работе «Лифляндская экономика» (1738). В конце XVIII в. А.Т. Болотов разработал вопросы осушения северных районов России. Однако в послепетровский период до второй половины XIX в. работы в области осушения почв в России велись в весьма ограниченных масштабах. Отмена крепостного права и бурное развитие капитализма явились движущим фактором мелиорации почв. В 1873 г. Министерство государственных имуществ в целях использования обширных болот северо-западных губерний под сенокосы и пастбища, улучшения государственных лесов и оздоровления местности организовало две экспедиции по осушению болот под руководством И.И. Жилинского. К этому времени относится и строительство двух первых закрытых осушительных систем гончарного дренажа в России. Они сыграли в дальнейшем важную роль в развитии этого прогрессивного способа осушения в нашей стране. Первая такая система закрытого дренажа была построена в 1853 г. на территории современной Белорусской сельскохозяйственной академии А.Н. Козловским через 10 лет после того, как в Англии в 1843 г. Д. Рид впервые изобрел гончарную дренажную трубу (Фалевич, 1860). Вторая система закрытого гончарного дренажа

была создана в Смоленской губернии в имении А.Н. Энгельгардта, близкого друга и соратника В.В. Докучаева, одного из основателей опытного дела в России. В начале XX в. в России создается система мелиоративных опытных станций и опытных полей по культуре болот (Архангельская, Яхромская, Сарненская и др.).

Однако мелиорация почв России в дореволюционный период не получила значительного развития, несмотря на настоятельную необходимость широкого внедрения осушения, орошения, культуртехнических мероприятий, агро- и фитомелиорации в сельское и лесное хозяйства. В целом в стране с разнообразными природными условиями к 1917 г. площадь орошения составляла 4080 тыс., а осушения — 1200 тыс. га.

Выше отмечалось, что почвы (верхняя толща рыхлых отложений, затронутая почвообразованием) являются непосредственным объектом мелиорации. Тесная связь почвоведения с практикой земледелия была причиной появления многих выдающихся работ в области генезиса, использования и мелиорации почв в дореволюционный период. Начало этим публикациям было положено В.В. Докучаевым (рис. 1). В 1875 г. он издает статью о проблемах мелиорации почв полесий. Она называлась «К вопросу об осушении болот вообще и, в частности, об осушении полесья». Это была первая публикация, в которой сделана попытка прогноза и экологической оценки последствий мелиорации почв.

Существенно и то, что В.В. Докучаев (1899), а затем Н.М. Сибирцев (1900) не только подчеркивали необходимость осушения переувлажненных почв лесной зоны России, но и обращали

внимание на важность дифференцированного подхода к мелиорации почв более южных регионов.

По Докучаеву, степная зона — территория, где земледелие

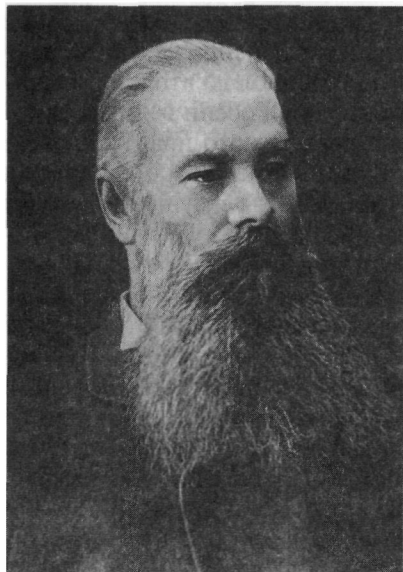


Рис. 1. Профессор ДОКУЧАЕВ
Василий Васильевич (1846–1903)

Основоположник научного генетического почвоведения. Разработал зональную систему мелиорации почв Российского государства. В фундаментальной монографии «Наши степи прежде и теперь» рассмотрел актуальные проблемы мелиорации почв страны. Показал на практике эффективность систем агролесо- и гидромелиорации почв степной зоны. Впервые обратил внимание на необходимость внедрения закрытого дренажа в земледелие лесной зоны, особенности орошения черноземов, защиты осушаемых торфяных почв от деградации

должно быть направлено на сохранение благоприятных свойств черноземов и улучшение их водного режима с помощью агрономических и агромелиоративных мероприятий, гидро- и фитомелиораций. В северных районах распространения черноземов орошение ограничивается поливом кормовых культур, садов. В сухой степи, полуаридной и аридной зонах земледелие невозможно, по его словам, без «гидратации», т.е. без ирригации. Из этого следует, что необходимость мелиорации почв предопределена природными условиями страны.

В дореволюционной России орошение было сосредоточено главным образом в Центральной Азии и Закавказье. Здесь орошалось около 3,8 млн га земель. В степной зоне страны орошение почти не применялось. В 1892 г. В.В. Докучаев при поддержке Лесного департамента организовал особую экспедицию по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России. На примере Каменной степи им была разработана система агро-, фито- и гидромелиорации, представляющая и сегодня работающую модель агрохозяйственного степного ландшафта с рациональной системой лесных полос.

Эти актуальные работы основоположников научного почвоведения не утратили своего агроэкологического значения до настоящего времени. Позднее, в 1912 г., Б.Б. Полиновым в гидромодульной лаборатории А.Н. Костякова (рис. 2) на территории бывшего Бутырского хутора в Москве были начаты экспериментальные работы по изучению закономерностей движения водорастворимых солей. Им впервые была показана различная миграционная активность хлоридов, сульфатов и карбонатов. Б.Б. Полиновым (рис. 3) была раскрыта роль различных почвообразующих пород в формировании солевых аккумуляций. В дальнейшем эти исследования, вначале имевшие преимущественно прикладное значение, были широко использованы



Рис. 2. Профессор КОСТЯКОВ
Алексей Николаевич (1887–1957)

Инженер-гидротехник, академик ВАСХНИЛ и член-корреспондент АН СССР. Разработал теорию расчетов мелиоративных систем, режимов орошения и техники полива сельскохозяйственных культур, приемы борьбы с потерями воды. Автор фундаментального учебника «Основы мелиорации», способов проектирования и строительства мелиоративных систем различного назначения. Лауреат Государственной премии за работы в области мелиорации почв

автором в его монографии «Кора выветривания» (1934), посвященной общим закономерностям почвообразования, гипергенеза и геохимии ландшафтов.

Так одновременно с развитием теории генетического почвоведения в стране формировались фундаментальные знания о почвах как объекте мелиорации.

Сельскохозяйственное производство в странах СНГ почти повсеместно реализуется в условиях несбалансированного водного режима территории, часто на почвах с неблагоприятными физическими и химическими свойствами. Из десяти почвенно-климатических зон этой территории четыре (тундра, лесотундра, тайга и субтропики) отличаются избыточным увлажнением: четыре (степи, сухие степи, полупустыни и пустыни) — засушливыми полуаридным и аридным климатами. Лишь на территории зоны широколиственных лесов и лесостепной зоны имеет место относительный сбалансированный режим, а почвы в этих условиях обычно обладают благоприятными для земледелия физическими и химическими свойствами.

Таким образом, основная территория земель сельскохозяйственного пользования России приурочена к избыточному, влажному, неустойчивому и засушливому климатам, исключающим возможность стабильного сельскохозяйственного производства без мелиорации.

После Октябрьской революции развитие мелиорации было связано с решением комплекса проблем, центральное место среди которых занимала борьба за хлопковую независимость.

В развитии мелиорации почв видели надежный рычаг подъема сельского хозяйства в разоренной империалистической и гражданской войнами стране.

В марте 1918 г. особая комиссия с правами Сов-

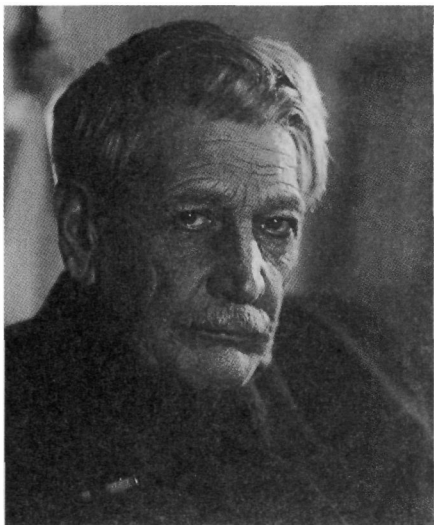


Рис. 3. Профессор ПОЛЫНОВ Борис Борисович (1877–1952)

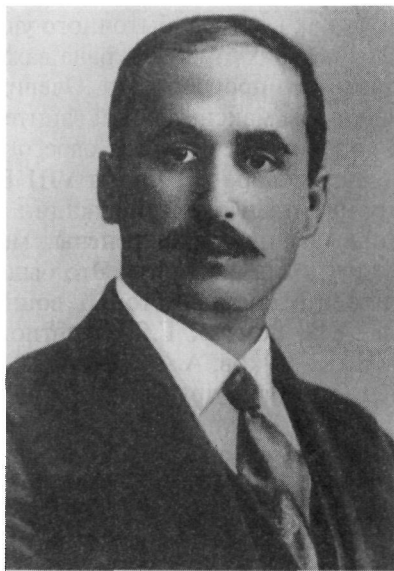
Почвовед-генетик, мелиоратор и геохимик, академик АН СССР. Раскрыл закономерности миграции элементов в почвах и корах выветривания. Разработал методы прогноза эволюции почв в условиях орошения. Ввел в мелиоративную практику понятие о «критической глубине залегания засоляющей почву грунтовой воды». Автор фундаментальных монографий «Кора выветривания» и «Учение о ландшафтах»

наркома обсуждала вопрос о развитии хлопководства в Туркестане. 9 апреля 1918 г. был подписан декрет СНК РСФСР «Об отпуске оборотных средств Комитету хлопкоснабжения для обеспечения текстильной промышленности хлопком». В апреле 1918 г. Особая комиссия обсуждает проект декрета об отпуске средств на оросительные работы в Туркестане. План ирригационных работ, разработанный Г.К. Ризенкампом, В.И. Лодыгиным и другими, был положен в основу декрета СНК РСФСР «Об ассигновании 50 млн рублей на оросительные работы в Туркестане и об организации этих работ», подписанного 17 мая 1918 г. Этот декрет явился, по существу, реальной схемой развития мелиорации почв Центральноазиатского региона на многие десятилетия вперед. Он предусматривал выполнение этих работ в течение пяти лет. В результате его реализации за пятилетие предстояло оросить более 800 тыс. га в различных районах Туркестана. Общая стоимость работ составила огромную по тем временам сумму — 4 млрд руб. Декрет предусматривал создание специального Управления ирригационных работ в Туркестане (Иртур). Председателем его коллегии и технического комитета был назначен Г.К. Ризенкампф (рис. 4). На Иртур были возложены все работы по орошению в Туркестане. Существенно, что успех работ этой организации определялся еще и тем, что к выполнению почвенных исследований и изысканий были привлечены крупные почвоведы того времени. Так, Иртур для обоснования первоочередных проектов в Средней Азии располагал картой, составленной известным почвоведом Н.А. Димо. Почвенно-мелиоративные исследования, выполненные в Голодной степи, были положены в основу учения о засоленных почвах, теории и практики их мелиорации.

Тяжелейшим испытанием была катастрофическая засуха 1921 г. 29 апреля 1921 г. было издано постановление Совета Труда и Оборона «О борьбе с засухой». Предусматривалось широкое использование засухоустой-

Рис. 4. РИЗЕНКАМПФ Георгий Константинович (1888–1943)

Инженер-гидротехник, изыскатель, проектировщик и строитель ирригационных систем в Центральной Азии. Автор первой схемы орошения почв Туркестана и первого проекта орошения почв Голодной степи. Председатель специального Управления ирригационных работ в Туркестане (Иртур). Редактор журнала «Вестник ирригации»



чивых сортов районированных культур и др. Особое внимание было сосредоточено на мелиоративных и лесохозяйственных мероприятиях. Они отличались глубиной проработки и географической широтой охвата различных районов страны, подверженных влиянию систематических засух. Постановление Совета Труда и Оборона предусматривало необходимость принятия срочных мер по приведению в порядок и ремонту ирригационных сооружений, оросительных систем и орошаемых участков, находящихся в Туркестане, Киргизской республике, на Северном Кавказе, Средне- и Нижневолжском районах; широкому использованию мероприятий по установке простейших водоподъемных приспособлений, рациональному использованию всех орошаемых площадей преимущественно под наиболее продуктивные культуры (корне- и клубнеплоды, овощи, технико-промышленные растения, другим мелиоративным работам, направленным на увеличение посевной площади в районах с оптимальными или избыточными условиями влажности и, в частности, на увеличение площади луговых и кормовых угодий.

О внимании, с которым относились к реализации мер по борьбе с засухой, свидетельствует и тот факт, что Наркомзем республики был обязан этим постановлением два раза в месяц делать доклады в Совете Труда и Оборона о ходе выполнения принятых решений по борьбе с засухой. Наряду с государственными организациями в период НЭП* была создана разветвленная сеть мелиоративных товариществ. Мелиорация реализовывалась не как самоцель, а как органически необходимое условие повышения уровня плодородия почв и сельского хозяйства. В те годы мелиорация почв как в зоне избыточного увлажнения, так и в сухих и засушливых районах страны играла важную роль в развитии сельскохозяйственного производства. Очевидно, это совпало с эпохой НЭПа, с периодом максимальной заинтересованности крестьянина в земле, в конечных результатах своего труда.

В декабре 1920 г. на VIII Всероссийском съезде Советов был принят план электрификации России. Над этим планом работали выдающиеся инженеры, мелиораторы, почвоведы, агрономы и другие специалисты. Это была блестящая плеяда ученых и практиков, в состав которой вошли И.Г. Александров, Б.Е. Веденев, А.В. Винтер, Г.О. Графтио, А.Г. Дояренко, Г.К. Ризенкамф, А.Н. Костяков, А.А. Сабанев, А.И. и Б.И. Угримовы, М.А. Шателен и многие другие. Вопросы мелиорации почв страны в плане ГОЭЛРО нашли отражение в разделе «Электрификация и сельское хозяйство». Наиболее актуальными программами мелиорации в со-

* НЭП — новая экономическая политика, проводимая государством в 1921–1927 гг., была направлена на активизацию свободной коммерческой деятельности мелкого и среднего производителя, в том числе крестьянских масс России.

ответствии с планом ГОЭЛРО были признаны: орошение земель в Заволжье, в Центральной Азии и на Северном Кавказе, осушение Колхиды и Мещеры, мелиорация земель в Белоруссии, на Украине и в других районах. Этот период подъема и развития мелиорации определил предпосылки для углубленного изучения почв, исследования теории их генезиса и совершенствования практики использования.

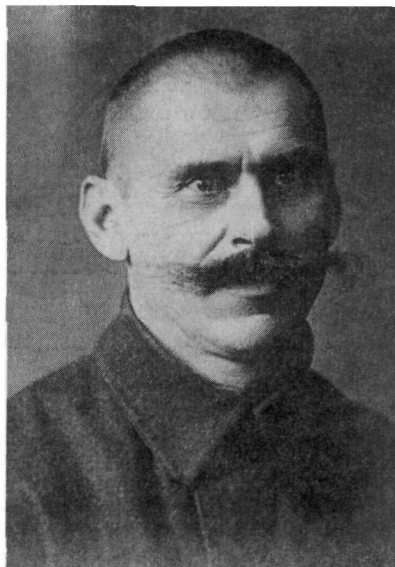
В начале 20-х годов публикуются исследования Д.Г. Виленского, посвященные моделированию процесса осолонцевания почв и мелиорации солонцов. В эти же годы К.К. Гедройц разрабатывает общую теорию поглотительной способности почв и практику мелиорации солонцов. Несколько позднее (в 1936 г.) был издан первый учебник по курсу «Мелиоративное почвоведение» Л.П. Розова — выдающегося отечественного почвоведа-мелиоратора (рис. 5).

В 1937 г. выходит в свет монография В.А. Ковды «Солонцы и солончаки», посвященная проблемам их генезиса и мелиорации. Именно в этот период Л.И. Прасоловым при участии И.П. Герасимова и Е.Н. Ивановой были начаты работы по составлению генеральной почвенной карты СССР масштаба 1:1 000 000. Возникла возможность прямого анализа почвенных ресурсов и планирования их перспективного использования.

Для теории почвоведения и практики мелиорации этот период был актуален еще и тем, что вскоре после завершения Великой Отечественной войны была опубликована серия крупных монографий, имеющих важное теоретическое и прикладное значение. Так, в 1946–1947 гг. вышла в свет двухтомная монография В.А. Ковды (рис. 6) «Происхождение и режим засоленных почв», в 1953 г. — монография И.Н. Антипова-Каратаева «Солонцы СССР и их мелиорация».

Рис. 5. Профессор РОЗОВ Лев
Пармёнович (1886–1942)

Почвовед-мелиоратор. Предложил классификацию солей по токсичности, формулу для расчета промывных норм. Исследовал эволюцию минеральных почв после осушения, процессы рассоления орошаемых почв. Автор первого учебника «Мелиоративное почвоведение». Читал лекции по этому курсу и заведовал кафедрой мелиоративного почвоведения в Московском гидромелиоративном институте



К этому периоду появляются крупные работы по проблемам мелиорации различных типов почв, приуроченных преимущественно к полупустынной и аридной зонам. К ним относятся такие важные труды, посвященные генезису почв и практике их мелиорации, как «Сероземы Средней Азии» А.Н. Розанова (1951); «Почвы пустынной зоны СССР» Е.В. Лобовой (1960); «Почвообразование и условия проведения оросительных мелиораций в дельте Арало-Каспийской низменности» В.В. Егорова (1959); «Почвы южной части Сибири (от Урала до Байкала)» К.П. Горшенина (1955); «Пойменные почвы, их мелиорация и сельскохозяйственное использование» В.И. Шрага (1969) и ряд других. Как бы ни были совершенны исследования в области мелиорации почв, их результаты могли быть использованы в практике только после необходимой систематизации, осмысления и внедрения в процесс строительных изысканий. Эта работа в послевоенный период была выполнена выдающимися почвоведо-мелиораторами В.И. Шрагом (рис. 7) и Б.А. Калачевым.

В.И. Шраг разработал первое «Руководство по производству почвенно-мелиоративных и культуртехнических изысканий для составления проектных заданий осушения и сельскохозяйственного освоения болотных и заболоченных почв» (1959). Это «Руководство» регламентировало содержание почвенно-мелиоративных изысканий, карт и других документов, необходимых для составления проектов осушения. Следует отметить, что до выхода в свет этого документа почвенно-мелиоративные изыскания на объектах осушения не выполнялись вообще.

Первый этап интенсивного развития мелиорации в стране был завершен в целом в 1966 г. Он имел важное значение для сельскохозяйственного производства всех республик. В особенно крупном масштабе

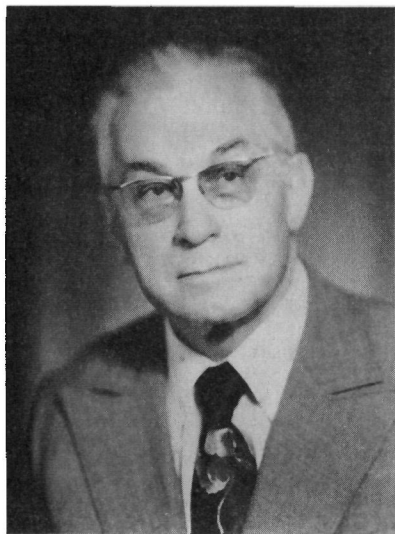


Рис. 6. Профессор КОВДА Виктор Абрамович (1904–1992)

Почвовед-генетик, мелиоратор, биогеохимик. Член-корреспондент АН СССР. Установил общие закономерности формирования засоленных почв в основных природных зонах страны и мира. Раскрыл значение содового засоления. Внедрил дренаж на орошаемых массивах страны, подверженных вторичному засолению. Автор «Международного руководства по изучению почв в связи с их мелиорацией» и фундаментальных монографий «Происхождение и режим засоленных почв», «Мелиорация солонцов» и ряда других. Первый лауреат Государственной премии за работы в области почвоведения

мелиоративные работы в те годы были выполнены в республиках Центральной Азии, Закавказья и Прибалтики.

Основным итогом первого этапа мелиорации почв был ввод в эксплуатацию 17 млн га орошаемых и осушаемых земель. Благодаря мелиорации страна получила хлопковую независимость, начала производство собственного риса, создала базы производства овощей вокруг основных промышленных центров, приступила к осушению луговых, кормовых и полевых угодий. Менее 10% мелиорированных сельскохозяйственных земель позволили получать в те годы около 25% товарной массы продукции земледелия.

Второй этап охватывал период с 1966 по 1984 гг. Он был ориентирован на расширение орошаемых массивов хлопчатника и риса, развитие орошения зерновых культур (пшеницы и кукурузы), фруктовых садов и виноградников, на осушение земель сельскохозяйственного пользования. Особое внимание было обращено на создание зерновой орошаемой зоны в Поволжье и Заволжье, на юге РСФСР, на Украине и в Восточной Сибири, а также на осушение заболоченных почв в Прибалтике, Белоруссии, Нечерноземной зоне европейской территории России, в Сибири и на Дальнем Востоке.

Была создана производственная база для мелиоративного строительства. Построено 118 крупных водохранилищ с общим объемом воды до 12 млрд м³. Реконструированы, построены и введены в эксплуатацию крупнейшие гидротехнические сооружения — Каракумский, Северокрымский, Большой Ставропольский, Куйбышевский, Каршинский, Аму-Бухарский и многие другие каналы. Построено более 5 тыс. насосных станций и введено в эксплуатацию 1,5 млн различных гидротехнических сооружений. Начаты интенсивные работы по осушению и осушению земель в Не-

Рис. 7. ШРАГ Владимир Ильич
(1890–1964)

Почвовед-мелиоратор. Обосновал необходимость, разработал методологию и внедрил в практику почвенно-мелиоративные изыскания для обоснования проектов осушения заболоченных и болотных почв. Автор первого «Руководства по производству почвенно-мелиоративных и культуртехнических изысканий для составления проектных заданий на осуществление». Создал зональную классификацию пойменных почв, автор актуальной монографии «Пойменные почвы, их мелиорация и сельскохозяйственное использование». Руководил почвенно-мелиоративной службой в Российской Федерации



черноземной зоне России, в Поволжье, Сибири, на Дальнем Востоке. Построены крупнейшие оросительные системы в Голодной, Джезакской и Каршинской степях. Выполнены работы по освоению плавней Кубани, заболоченных массивов в Прибалтике и других районах Нечерноземной зоны. Мелиорацией к 1984 г. были охвачены почти все основные площади сельскохозяйственных районов СССР. Весь хлопок и рис, 75% овощей, около 50% фруктов и винограда, чая и других культур производили на орошаемых и осушаемых землях.

Актуальной проблемой этого периода явились работы по интенсивной мелиорации почв европейского Нечерноземья — огромного, своеобразного и исключительно важного региона. Он занимает особое место в отношении социальных, природных и хозяйственных условий. Здесь проживает более трети населения и находятся крупнейшие индустриальные центры России. Дальнейший подъем сельского хозяйства в этой зоне возможен только на основе интенсивной мелиорации почв и в первую очередь осушения переувлажненных земель. Это положение впервые было сформулировано основоположником научного почвоведения В.В. Докучаевым. Еще в 1898 г., рассматривая условия сельскохозяйственного производства в лесной зоне европейской части России, В.В. Докучаев писал, что «...здесь, в тайге, среди подзолов, минерализация почв и дренаж, можно сказать, центр тяжести всего сельского хозяйства» (Соч. Т. 6. 1951. С. 388).

Мелиорация почв Нечерноземья перспективна и потому, что почвы этой зоны в отличие от других в значительно меньшей степени испытывают губительное влияние засух и эрозий. Здесь нет угрозы вторичного засоления. Заболоченные и болотные почвы этой территории, застарелые, вышедшие из освоения уголья — один из немногих еще сохранившихся источников пополнения земельных ресурсов сельскохозяйственного пользования в России. Наконец, мелиорация почв Нечерноземья — важнейшее условие ликвидации мелкоконтурности полей, заболеваний растений, улучшения условий жизни людей.

Следует подчеркнуть, что за эти периоды почвоведцами и мелиораторами страны были разработаны новые, уникальные способы мелиорации, сыгравшие важную роль в оптимизации свойств и режимов почв во многих государствах мира. Эти достижения, несомненно, заслуживают краткого упоминания. Они различны по исполнению, по масштабам применения, по степени влияния на почвы и окружающую среду. Однако все они были созданы на основе глубокого проникновения исследователей в существо процессов, происходящих в почвах.

Упомянем некоторые из них. Это, во-первых, способ самомелиорации солонцов, предложенный В.А. Ковдой и А.Ф. Большако-

вым (1937); во-вторых, система гидротехнических и химических мероприятий по мелиорации почв содового засоления путем их промывки слабым раствором серной кислоты, разработанная Г.П. Петросяном и другими сотрудниками Армянского института почвоведения, агрохимии и мелиорации почв (1969); в-третьих, система агрономических, агро- и фитомелиоративных мероприятий по мелиорации почв солонцового комплекса, обеспечивающая возможность устойчивого земледелия в условиях полупустынной зоны, предложенная А.А. Роде (рис. 8) и В.Н. Сукачевым; в-четвертых, комбинированный способ осушения тяжелых заболоченных почв субтропической зоны, основанный на сочетании закрытого дренажа и квали, предложенный Р.И. Паписовым (1973) и ряд других эффективных и экологически целесообразных способов оптимизации свойств и режимов почв.

Однако наряду с несомненно положительными результатами, связанными с широким применением мелиорации в сельском хозяйстве, к концу 60-х — началу 70-х годов в стране обозначились определенные негативные явления. Анализ причин их возникновения необходим для того, чтобы объективно понять место и роль мелиорации в народном хозяйстве страны, ее значение для сельского хозяйства и в целом для человеческого общества.

Эти негативные явления, возникающие в определенных ситуациях, имели ряд причин. Во-первых, в условиях государственного финансирования всего цикла мелиоративных мероприятий нередко наблюдалась утрата экономической заинтересованности землепользователя в конечном результате их применения. Землепользователь не вкладывал средства в мелиоративное строительство и часто был больше заинтересован в общем обустройстве территории (строительстве дорог, мостов, зданий, телефонной сети и других сооружений, предусмотренных государственным проектом мелиорации), чем в непосредст-

Рис. 8. Профессор РОДЕ Алексей Андреевич (1896–1978)

Почвовед-генетик, химик и гидролог. Автор монографий о процессе подзолообразования и эволюции почв, учебника «Почвоведение» для лесохозяйственных вузов. Его перу принадлежит фундаментальная работа «Почвенная влага», удостоенная Государственной премии. Теоретически обосновал возможность и реализовал агрофитомелиорацию почв солонцового комплекса в полупустынной зоне на территории Джаныбекского стационара



венном повышении продуктивности земель. Конечно, такое отношение не носило всеобщего характера, но тем не менее оно имело место и негативно отражалось на эффективности государственных капиталовложений (инвестиций).

Во-вторых, с низкой заинтересованностью землепользователя в проведении работ по мелиорации почв связано и опасное нарушение комплексного освоения земель. Преимущественно осуществлялись гидротехнические мероприятия по регулированию водного режима, но обычно не выполнялся весь цикл агромелиоративных, агрономических и других мероприятий, необходимых как для нормального функционирования мелиоративных систем, так и для повышения плодородия мелиорированных почв.

В-третьих, в стране к этому периоду произошел полный отказ от оправдавшей себя на протяжении многих десятилетий рациональной системы севооборотов, особенно от травопольных севооборотов. На мелиорированных полях практически господствовала монокультура (чаще всего — пропашных), негативно действующая на почвенный покров. В целом в СССР с сельскохозяйственных полей почти полностью исчезли севообороты. Однако если на богаре это только снижает урожай, то на орошаемых и осушаемых массивах становится фактором деградации и гибели почв, выхода из строя инженерных систем, низкой рентабельности капиталовложений.

В-четвертых, несмотря на предупреждения почвоведов и других специалистов, в ряде случаев использовались такие гидротехнические мероприятия, которые оказывались неадекватными реальной природной обстановке. Их применение вызывало деградацию, а в определенных условиях — исчезновение почв. Таким опасным мероприятием оказалось, в частности, глубокое осушение низинных болот европейских полесий на юге лесной зоны. В настоящее время от этого способа осушения повсеместно отказались, он признан экологически опасным. Тем не менее на территории Белоруссии его широкое использование в 60–70-х годах привело к исчезновению более 100 тыс. га низинных торфяных почв и появлению на их месте малопродуктивных или вообще бесплодных песчаных глееземов.

В степной зоне опасным мероприятием оказалось орошение равнинных черноземов на слабоводопроницаемых засоленных породах на юге России. Ирригация, нередко выполненная в условиях недостаточного дренажа, спровоцировала их засоление и осолонцевание.

В аридной зоне начатое без необходимой проверки орошение серо-бурых почв и сероземов с высоким содержанием гипса (гажевых почв) также не дало ожидаемого эффекта и оказалось бесперспективным. Таким образом, нередко оказывалось опасным применение как новых недостаточно проверенных приемов мелиорации в конкретных почвенных условиях, так и использование известных

традиционных способов мелиорации в новой природной обстановке. Известный югославский мелиоратор М. Куртагич (1958) подчеркивал, что там, где гидромелиоративные мероприятия не были согласованы со свойствами почв и почвенными процессами, важными для растениеводства, от мелиорации было больше вреда, чем пользы.

В-пятых, эффективность мелиорации непосредственно зависит от уровня сельскохозяйственного производства и его культуры. К сожалению, этот уровень до последнего времени в целом по стране остается весьма невысоким. Средняя урожайность зерновых не превышает 15–17 ц/га. На мелиорированных землях России урожаи, как правило, не превышают их уровни на автоморфных зональных почвах, так как объектом мелиорации обычно оказываются болотно-подзолистые почвы, обладающие невысоким естественным плодородием.

Очевидно, только применение рациональной системы удобрений, высокий уровень агротехники и селекции способны придать этим почвам достаточно высокое плодородие, оправдать затраты на мелиорацию.

Опыт развития земледелия на земном шаре показывает, что мелиорация является его необходимой составной частью там, где почвы испытывают избыток или недостаток влаги, обладают неблагоприятными свойствами. Из этого следует, что мелиорация может оказаться эффективным и действительно необходимым элементом сельского хозяйства только там, где успешно и одновременно решаются все другие проблемы земледелия, т.е. вопросы агрономии, селекции, удобрений, механизации и т.д. Иными словами, мелиорация может быть эффективна только на фоне культурного земледелия. Она отражает уровень этой культуры. Поэтому мелиорация может оказаться целесообразным мероприятием, если она экономически эффективна и повышает плодородие почв, опасно не нарушая окружающую среду. На мелиорированных массивах земледелие должно быть почвозащитным и природоохранным, т.е. мелиоративные мероприятия должны быть экологически целесообразными.

Поскольку почвенно-экологическое обоснование мелиоративных мероприятий предполагает проведение многолетних разноплановых исследований, следует признать, что сегодня мелиорация не должна применяться в тех условиях, где неизвестны экологические последствия ее внедрения. В центре внимания таких исследований должен быть почвенный покров мелиорируемой территории, так как почва, т.е. поверхностный слой рыхлых отложений мощностью 1–2 м, является непосредственным и обычно единственным объектом мелиорации. Одновременно необходимо учитывать ее возможное влияние (прежде всего негативное) не только на мелиорируемые почвы, но и на все элементы ландшафта, т.е. на геологическую

среду и гидрогеологические условия, животный и растительный мир, поверхностные и грунтовые воды.

Таким образом, мелиорация почв — необходимый элемент земледелия на территории практически всех природных зон страны. Она эффективна только на фоне культурного земледелия и в этом случае является важным фактором повышения плодородия, продуктивности и рентабельности почв. Ее преимущества проявляются при использовании мелиорированных почв заинтересованным в конечном продукте землепользователем. Это основной критерий при оценке роли мелиорации в развитии агропромышленного комплекса. Вместе с тем правильно построенные мелиоративные системы в руках незаинтересованного и неподготовленного землепользователя оказываются обычно малоэффективны и нерентабельны. В такой ситуации наиболее часты случаи экологических ошибок.

Следует, однако, подчеркнуть, что, несмотря на длительную историю развития, мелиорация почв в России все еще находится на начальном этапе становления. Так, по данным МКИД (Международного комитета по ирригации и дренажу), в США, Германии, Голландии — странах, успешно решивших свои продовольственные проблемы, — в настоящее время мелиорировано соответственно 60, 50 и 85% сельскохозяйственных земель. В Российской Федерации на 1993 г., по данным Министерства сельского хозяйства, из общей площади сельскохозяйственных угодий мелиорировано 11,1 млн га (орошение — 6,1, осушение — 5 млн га), или 5,3% общего массива сельскохозяйственных угодий. На нем производится, однако, 15% всей продукции растениеводства, в том числе весь рис, 75% овощей, четверть грубых кормов и др. Мелиорированные почвы обеспечивают стабильность аграрного производства.

В настоящее время складываются благоприятные условия для повышения культуры земледелия, производительности труда и продуктивности сельского хозяйства, совершенствования экономической взаимосвязи между землепользованием и государством. В таких условиях мелиорация становится необходимым и важным элементом культурного земледелия. Задача заключается в том, чтобы неуклонно повышать уровень этой культуры и обосновать целесообразность использования мелиорации. В этой связи особое значение приобретает создание совершенных мелиоративных систем. Существуют различные определения понятия «совершенная мелиоративная система». Ряд авторов считают, что при совершенной системе применяются наиболее современные строительные материалы, механизмы или такие системы, которые обеспечивают получение максимальных урожаев, прибыли и т.д. Эти определения, однако, страдают известной неполнотой. Поэтому здесь и далее совершенной мелиоративной системой (со-

вершенным способом мелиорации) мы будем называть такую систему, которая позволяет при минимальных затратах получать максимальную прибыль, обеспечивая экологическую сохранность агроландшафта и непрерывное повышение плодородия мелиорированных почв.

Уровень жизни общества, удовлетворение его важнейших потребностей, потенциал государства самым тесным образом связаны с состоянием сельскохозяйственного производства. Важнейшим условием развития и подъема сельского хозяйства является мелиорация почв в условиях экологически сбалансированного культурного ландшафта.

1.1.3. ЗАДАЧИ КУРСА «МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ» ДЛЯ ПОЧВОВЕДОВ И КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ЕГО СТАНОВЛЕНИЯ

«Мелиорация почв» — курс лекций, который знакомит студентов с современными и перспективными инженерными способами мелиорации (гидротехническими, агромелиоративными, лесомелиоративными и др.), принципами расчета мелиоративных мероприятий и систем. Он направлен на то, чтобы раскрыть внутреннюю взаимосвязь между конкретными инженерными мелиоративными решениями и генетическими особенностями почвенного покрова. Изучение этих вопросов с каждым годом приобретает все большую актуальность в связи с непрерывным процессом увеличения площади мелиорированных почв в стране, внедрением новых приемов мелиорации, глубоким изменением свойств и режимов почв под влиянием мелиорации. Почвовед должен понимать причинную связь происходящих изменений в природной обстановке под действием мелиоративных мероприятий, грамотно оценивать их последствия, представлять возможные пути оптимизации режима и свойств почв.

Курс лекций «Мелиорация почв» в системе университетского образования для почвоведов был введен в учебный процесс сравнительно недавно. Его становление и развитие происходили преимущественно в стенах Московского университета на протяжении последних 50 лет и связаны прежде всего с трудами профессоров Д.Г. Виленского, В.А. Ковды, Н.А. Качинского, С.А. Владыченского.

Д.Г. Виленский впервые в 1934 г. приступил к чтению курса «Мелиорация почв» для студентов-почвоведов почвенно-географического факультета Московского университета. Он выполнил ряд интересных исследований по генезису и мелиорации солонцов и засоленных почв, индикационной геоботанике, агропочвенному районированию, генезису и классификации пойменных почв. Ши-

рокой известностью пользуется его концепция об аналогичных рядах почв.

В.А. Ковда читал курс лекций «Мелиорация почв» с 1939 по 1941 г. для студентов почвенного отделения геологического факультета МГУ. В.А. Ковда — автор фундаментальной двухтомной монографии «Происхождение и режим засоления почв», за которую ему была присуждена Государственная премия. В.А. Ковда — инициатор издания и главный редактор «Международного руководства по орошению и дренажу аридных засоленных и щелочных почв», опубликованного ЮНЕСКО в 1969 г. Он изучил устойчивость различных растений к различному типу и уровню засоления, предложил (совместно с А.Ф. Большаковым) эффективный способ самомелиорации солонцов, вел активную борьбу за внедрение в практику орошаемого земледелия СССР дренажа для предупреждения и ликвидации вторичного засоления почв, разработал концепцию рациональной мелиорации почв степной зоны.

Интенсивное мелиоративное строительство в восточных районах страны в военный период и необходимость совершенствования и развития мелиорации почв в будущем обусловили целесообразность подготовки почвоведов, специализирующихся в области мелиорации почв.

Н.А. Качинский в 1943 г. создал самостоятельную кафедру физики и мелиорации почв при геолого-почвенном факультете МГУ. Он составил первую программу курса «Мелиорация почв» и читал лекции по мелиорации почв с 1943 по 1955 г. В этот период еще отсутствовали специальные учебные пособия по мелиорации для почвоведов. В процессе обучения в основном использовался учеб-

ник А.А. Черкасова, написанный для студентов агрофака ТСХА и других сельскохозяйственных вузов. Н.А. Качинский (рис. 9) разработал принципы агрофизической характеристики почв для обоснования проектов мелиорации, выполнил обширные почвенно-мелиоративные исследова-



Рис. 9. Профессор КАЧИНСКИЙ
Никодим Антонович (1894—1976)

Почвовед-физик и мелиоратор. Создал в 1943 г. кафедру физики и мелиорации почв в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, читал лекции по мелиорации почв с 1943 по 1955 г. Разработал оригинальные аналитические и полевые методы изучения почв в мелиоративных целях. Предложил способы агролесомелиорации почв в Поволжье и Заволжье

ния в Поволжье, Заволжье, на Дальнем Востоке и Урале. За монографию «Агрофизическая характеристика почв Центрального Урала» удостоен премии имени В.В. Докучаева АН СССР. Он автор многих актуальных методов исследования физических свойств почв, нашедших широкое применение в мелиоративной практике. Перу Н.А. Качинского принадлежат крупные работы в области агрофитомелиорации почв сухостепной зоны.

С.А. Владыченский — профессор кафедры физики и мелиорации почв — разработал курс лекций «Сельскохозяйственная мелиорация почв» и читал его для студентов почвенного отделения биолого-почвенного факультета МГУ с 1955 по 1968 г. Он написал первый учебник для студентов-почвоведов «Сельскохозяйственная мелиорация почв» (1964), а также учебное пособие «Практические занятия по мелиорации почв» (1960). С.А. Владыченский (рис. 10) выполнил значительные работы по почвенно-мелиоративной оценке дельт, пойм, речных долин, территорий, тяготеющих к искусственным водохранилищам. Им были начаты исследования по оценке эволюции подтопленных и затопленных почв в зонах влияния водохранилищ и в пределах их акваторий.

В последующие годы (1968, 1969) курс лекций «Мелиорация почв» вела доцент В.Е. Корневская. С 1970 по 1985 г. лекции по «Мелиорации почв» читались В.Е. Корневской и профессором Ф.Р. Зайдельманом, а с 1985 г. по настоящее время — автором учебника.

Основную задачу при чтении этого курса автор видит в том, чтобы ознакомить студентов с современным состоянием и перспективами развития мелиорации, показать органическую связь разработанных способов мелиорации со свойствами и режимами почв, обусловленными их генезисом и составом.

Вместе с тем в курсе «Мелиорация почв» основное внимание

Рис. 10. Профессор
ВЛАДЫЧЕНСКИЙ Сергей
Александрович (1908–1968)

Почвовед-гидролог и мелиоратор. Читал курс лекций по мелиорации почв в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова с 1955 по 1968 г. Автор первого учебника для студентов-почвоведов «Сельскохозяйственная мелиорация почв» и учебного пособия «Практические занятия по мелиорации почв». Разработал учение об эволюции почв в зонах влияния равнинных водохранилищ разных природных регионов страны, исследовал закономерности формирования засоленных почв



сосредоточено на инженерных аспектах мелиорации. Этим рассматриваемый курс существенно отличается от другого курса по вопросам мелиорации, который читается автором для студентов университетов в виде спецкурса при их более узкой специализации — «Экологические основы мелиорации почв и ландшафтов». В последнем основное внимание сосредоточено на свойствах и режимах почв как непосредственного объекта мелиорации. Здесь значительно более детально рассматриваются взаимосвязи генетических факторов почвообразования и способов мелиорации; вторичная эволюция мелиорированных почв в условиях агроландшафта; экологические вопросы, обусловленные мелиорацией почв, а также методология и методы изучения почв в мелиоративных целях.

Курс «Мелиорация почв» приобретает особенно важное значение в общей учебной программе подготовки почвоведов в настоящее время. Несомненна и его актуальная роль в обозримой перспективе в связи с активным участием почвоведов в охране окружающей среды, мониторинге, решении задач сельскохозяйственного производства, лесного и водного хозяйств, общего почвоведения и других естественных наук. Актуальность этой дисциплины обусловлена и тем, что почвоведение постепенно становится наукой о почвенном покрове Земли, интенсивно измененном активной антропогенной деятельностью. Мелиорация почв в этом процессе является одной из важнейших причин происходящих изменений, понять и управлять которыми невозможно без их всестороннего и глубокого анализа.

ФАКТОРЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ ВОДНОГО РЕЖИМА

2. ПОЧВ КАК ОСНОВА ПРОЕКТИ- РОВАНИЯ МЕЛИОРАЦИИ

Поскольку почвы — непосредственный и часто единственный объект мелиорации, то для рационального применения мелиоративных мероприятий необходим прежде всего всесторонний анализ факторов почвообразования. По В.В. Докучаеву, почвы формируются под влиянием следующих пяти факторов: климата, материнских горных пород, рельефа, растительности и животного мира, возраста страны. Каждый из пяти факторов играет важную роль в выборе наиболее целесообразных мелиоративных решений. Факторы почвообразования определяют метод или принципиальную направленность мелиоративных решений на оптимизацию свойств и режимов почв и в значительной мере способ мелиорации, т.е. состав конкретных инженерных мероприятий.

2.1. КЛИМАТ

Климат территорий определяет общую направленность мелиоративных мероприятий. Она обусловлена рядом гидрологических, термических и других параметров. Поскольку гидромелиоративные мероприятия прежде всего влияют на водный режим почв, особое значение приобретает количественная характеристика увлажненности территории. С этой целью используют гидротермические коэффициенты. Впервые такой способ оценки климатических параметров был предложен выдающимся почвоведом-гидрологом Г.Н. Выходским и затем применен для мелиоративной практики А.Н. Костяковым. По величине коэффициента влагообеспеченности А.Н. Костяков предложил дифференцировать европейскую часть страны на избыточно влажную, неустойчивую и недостаточно увлажненную зоны.

Коэффициент влагообеспеченности, по А.Н. Костякову, определяется следующим уравнением:

$$\alpha = \frac{\mu \cdot P}{E},$$

где μ — единица минус коэффициент стока; P — осадки, мм; E — испаряемость, мм.

Коэффициентом стока называют отношение объема поверхностного или грунтового стока к объему атмосферных осадков, выпавших на данную территорию за то же время.

Испаряемость — это количество влаги (мм), которое испаряется с открытой водной поверхности за определенный промежуток времени в данных климатических и погодных условиях. В избыточно влажной, неустойчивой и недостаточно влажной зонах коэффициенты влагообеспеченности, по А.Н. Костякову, равны соответственно $> 1,2$; $1,2-0,8$ и $< 0,8$.

Г.Т. Селянинов предложил оценивать увлажненность территории значениями гидротермического коэффициента:

$$K_{\text{гт}} = \frac{P}{T \cdot 10},$$

где P — сумма осадков; T — сумма температур выше 10° за вегетационный период. В общем виде, по Г.Т. Селянинову, при значениях $K_{\text{гт}} \geq 1,5$ необходимы осушительные мелиорации, при $1-1,5$ такие мелиорации не требуются; значения $K_{\text{гт}}$ в интервале $1,0-0,5$ указывают на необходимость улучшения водного режима агротехническими приемами обработки почвы; значения коэффициента менее $0,5$ свидетельствуют о необходимости орошения.

Н.Н. Иванов рекомендует характеризовать климатические и гидрологические условия с помощью коэффициента увлажнения КУ:

$$КУ = \frac{P}{E},$$

где P — осадки за год, E — испаряемость (сумма по месяцам).

Месячная испаряемость рассчитывается по формуле

$$E_m = 0,0018(25 + t)^2 \cdot (100 - \alpha),$$

где t — средняя месячная температура воздуха; α — средняя месячная относительная влажность воздуха.

В различных природных зонах коэффициент увлажнения, по Н.Н. Иванову, имеет следующие величины:

пустыни	$< 0,1$
полупустыни	$0,1-0,2$
сухие степи	$0,2-0,3$
степи	$0,3-0,5$
северные степи	$0,5-0,7$
лесостепи	$0,7-0,9$

Д.И. Шашко для характеристики естественной увлажненности предложил использовать отношение годовых осадков к годовой

бов служит изолиния сумм активных температур (выше 10°C) — 1200° (1000° — на востоке). Северной границей рисосеяния служит изолиния сумм температур 3000° . Граница хлопководства соответствует изолинии сумм температур 4000° . Следует отметить определенную условность этих границ, так как локальные условия могут определять целесообразность применения мелиоративных мероприятий и в тех случаях, когда температурные особенности климатического пояса, казалось бы, полностью исключают целесообразность применения мелиорации для ведения сельскохозяйственного производства в открытом грунте. Так, в конце 70-х—80-х годов была показана возможность и целесообразность выборочного осушения в тундре почв на донных отложениях непроточных озер термокарстовых депрессий (аласов) и возделывания здесь высокопродуктивных злаковых лугов. Такие луга в последние годы были созданы, например, в Анадырской тундре (рис. 12). На их основе оказалось возможным вести в ограниченных масштабах устойчивое молочное животноводство, полностью обеспеченное грубыми кормами местного производства.

Климатические условия, приток солнечной энергии в разных широтах лимитируют продуктивность сельскохозяйственных культур и определяют целесообразность применения мелиоративных мероприятий. К.А. Тимирязев установил, что растение может использовать только ту часть солнечного света, которую поглощает, т.е. около 20–30%. Однако, как показывают опытные данные, эта



Рис. 12. Луга на осушенных почвах аласа Александра.
Уборка на сено многолетнего злака арктофилы рыжевато-й в Анадырской тундре, Чукотка

Шкала классификации климата по условиям влагообеспеченности (по Д.И. Шашко, 1967)

	Зоны увлажнения (и соответствующие им природные зоны в умеренном поясе в местах с хорошо выраженной широтной зональностью)	Значения показателя увлажнения в форме отношений*			Вероятность различно увлажненных лет, %					
		$\frac{P}{\sum d}$	$\frac{P}{f}$	$\frac{f}{P}$	сухих	засушли- вых	полуза- сушливых	полува- жных	влажных	избыточ- но влаж- ных
1		3	4	5	6	7	8	9	10	11
Области и подобласти по типам годового увлажнения	Д. Область достаточного увлажнения (осадки превышают испаряемость или возможное испарение)	$> 0,60$	$> 1,33$	$> 0,75$	0	1	5	10	20	64
	В. Влажная (тайга и лиственные леса на подзолистых и бурых лесных почвах)	$0,60-0,45$	$1,33-1,00$	$0,75-1,00$	0	5	12	21	32	30
Н. Область недостаточного увлажнения (осадки меньше испаряемости)										
Подобласти: а) слабозасушливая	Пв. Полувлажная (лесостепь)	$0,45-0,35$	$1,00-0,77$	$1,00-1,28$	2	11	25	30	24	8

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
б) засушливая	Пз. Полузасушливая (типичная степь на обыкновенных черноземах)	0,35–0,25	0,77–0,55	1,28–1,80	7	26	40	19	7	1
	З. Засушливая (степь на южных черноземах)	0,25–0,20	0,55–0,44	1,80–2,25	18	50	25	6	1	0
	Зо. Очень засушливая (степь на темно-каштановых почвах)	0,20–0,15	0,44–0,33	2,25–3,00	41	47	11	1	0	0
С. Область незначительного увлажнения (испаряемость значительно превышает осадки, земледелие возможно только при искусственном орошении и за счет стока местных вод)	Св. Полусухая (полупустыня на светло-каштановых почвах)	0,15–0,10	0,33–0,22	3,00–4,50	75	24	1	0	0	0
	С. Сухая (пустыня на бурых почвах)	0,10–0,05	0,22–0,12	> 4,50	96	4	0	0	0	0
	Св. Очень сухая (пустыня на серо-бурых почвах)	< 0,05	< 0,12	–	100	0	0	0	0	0

величина должна быть уменьшена вдвое, т.е. до 10–15%. Это максимум солнечной энергии, который потенциально может быть утилизирован растением. В настоящее время установлено, что растение может использовать не более 2% солнечной энергии.

Максимально возможные в данной местности урожаи при благоприятных почвенных условиях могут быть определены по формуле

$$y = \frac{\eta_{\phi} \cdot Q_{\phi}}{C},$$

где η_{ϕ} — коэффициент использования фотосинтетической активной радиации посевами, (%); C — калорийность единицы урожая органического вещества, ккал/кг; Q_{ϕ} — фотосинтетически активная радиация (ФАР).

Формула позволяет рассчитать y , т.е. тот потенциальный урожай, который может быть создан сельскохозяйственным растением. Поскольку в разных зонах на единицу поверхности поступает разное количество солнечной энергии, продуктивность сельскохозяйственных растений и, следовательно, экономическая эффективность мелиорации почв при прочих равных условиях оказываются различными. Это подтверждает и практика мелиорации почв в различных зонах. Экономическая и биологическая эффективность мелиорации почв в аридных районах в 2–5 раз выше, чем в гумидных. Однако социальные, хозяйственные и экологические условия свидетельствуют о том, что и в гумидной зоне мелиорация почв также актуальна.

2.2. ОБЩИЕ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МЕЛИОРАЦИИ ПОЧВ

Исследования почвенно-климатических условий, выполненные многими авторами, позволяют дать следующую оценку целесообразности применения мелиоративных мероприятий в разных зонах и природно-климатических поясах.

Выделяют три природно-климатических пояса: А — холодный, Б — умеренный, В — теплый. П о я с — это общая единица климатомелиоративного районирования, характеризующаяся комплексом природных условий, главным из которых является теплообеспеченность. Каждый пояс включает в себя несколько зон.

За межпоясные границы принимаются изолинии сумм температур вегетационного периода (СТ) выше 10°C. Южная граница холодного пояса А проходит по изолинии сумм температур выше 10°C, равной 1600°. Южная граница умеренного пояса проходит по изолинии сумм температур выше 10°C, равной 3500° — в европейской и 2700° — в азиатской части бывшей территории СССР. Теп-

дый пояс характеризуется суммой температур выше 10°C , равной 3500° и выше на европейской территории, выше 2700° — на территории азиатской части.

Природно-мелиоративная зона характеризуется комплексом природно-климатических условий, связанных с балансом тепла и влаги, особенностями почвообразования, направлениями сельскохозяйственного производства и мелиорации. Природно-мелиоративные зоны имеют широтное распространение. Главные факторы их характеристики следующие:

1) сумма температур (СТ) вегетационного периода — более 10°C ;

2) среднегодовое количество осадков P (мм);

3) значения показателя годового увлажнения, по Д.И. Шашко, P/f , где P — годовое количество осадков, f — годовая испаряемость (см. раздел 2.1).

В границах холодного пояса выделяются следующие зоны.

Полярно-тундровая зона (А-I) — избыточно влажная, не обеспеченная теплом. СТ выше 10°C — менее 400° , P — 150 – 400 мм, P/f — более $1,33$. Зона развития оленеводства, звероводства.

Лесотундрово-северотаежная зона (А-II) — преимущественно избыточно влажная, мало обеспеченная теплом. СТ выше 10°C — 400 – 1400° ; P — 300 – 600 мм; P/f — более $1,33$. Наиболее распространенными почвами являются глееподзолистые, подзолы малоразвитые, мерзлотно-таежные и болотные почвы. Зона развития оленеводства, звероводства, очагового молочного животноводства и земледелия. Распаханность территории — $0,1\%$. Основные направления мелиорации — тепловые мелиорации, улучшение технических свойств поверхности, снижение кислотности, регулирование водного режима почв, локальное осушение заболоченных почв пойм и термокарстовых депрессий для создания лугов.

Среднетаежная зона (А-III) — преимущественно влажная и избыточно влажная, недостаточно обеспеченная теплом. СТ выше 10°C — 1000 – 1600° ; P — от 250 – 300 мм (в Якутии) до 500 – 700 мм (в европейской части зоны). По годовому увлажнению зона преимущественно влажная ($P/f = 1,00$ – $1,33$), исключение составляет Центральная Якутия — засушливая и полусухая ($P/f = 0,50$ – $0,77$). Наиболее распространенными почвами являются подзолистые, мерзлотно-таежные, болотные и мерзлотные черноземовидные (в Якутии). Здесь развиты охотничий и лесной промыслы, молочно-мясное животноводство и выборочное земледелие. Распахано до 2% территории зоны. Основные культуры: картофель, овощи, серые хлеба (овес, ячмень), кормовые. Основные направления мелиорации: осушение, тепловая мелиорация, улучшение технических свойств поверхности, снижение кислотности почв.

В границах умеренного пояса выделяют следующие зоны.

Южнотаежная зона (Б-IV) — неустойчивой влагообеспеченности, ниже среднего и средне обеспеченная теплом. СТ выше 10°C — $1600\text{--}2600^{\circ}$ для европейской части и преимущественно $1000\text{--}2000^{\circ}$ для азиатской; P — $400\text{--}800$ мм; коэффициент увлажнения $P/f = 1,00\text{--}1,33$. Преобладают дерново-подзолистые и болотные почвы. Зона развития молочно-мясного животноводства и земледелия. Распаханность в европейской части $18\text{--}28$, в азиатской — $2,5\text{--}4,0\%$. Ведущие культуры — зерновые, овощные, технические и кормовые. Основные направления мелиорации — осушение, двустороннее регулирование водного режима почв, выборочное орошение (овощных и кормовых культур), тепломелиорация, улучшение технических свойств поверхности, снижение кислотности почв, борьба с водной эрозией.

Лесостепная зона и зона широколиственных лесов (Б-V) — средне и ниже среднего обеспеченная теплом, неустойчивой влагообеспеченности, с редкими засухами. СТ выше 10°C — $2000\text{--}2800^{\circ}$ для европейской части и $1400\text{--}2200^{\circ}$ для азиатской; P — от 500 до $300\text{--}400$ мм на востоке; P/f — от $1,15$ до $0,66$. Почвы — серые, дерново-подзолистые, выщелоченные и оподзоленные черноземы. Зона интенсивного земледелия в сочетании с молочно-мясным животноводством. Распаханность — до 45% площади зоны. Ведущие культуры — озимые и яровые зерновые, зернобобовые, технические, кормовые, овощные; развито садоводство. Основные направления мелиорации — двустороннее регулирование водного режима, выборочное орошение овощных, кормовых и некоторых технических культур, тепломелиорация в азиатской части зоны, улучшение технических свойств поверхности, борьба с водной эрозией, накопление и сохранение влаги.

Степная зона (Б-VI) — средне и выше среднего обеспеченная теплом, неустойчивой влагообеспеченности. СТ выше 10°C — $2200\text{--}3500^{\circ}$ в европейской и $1400\text{--}2400^{\circ}$ в азиатской части; P — $350\text{--}800$ мм в европейской и $250\text{--}500$ мм в азиатской части; $P/f = 0,40\text{--}0,77$. Почвы — черноземы типичные, обыкновенные, южные. Зона интенсивного земледелия в сочетании с мясомолочным животноводством. Распаханность территории колеблется от 10 до 70% . Ведущие культуры — зерновые, зернобобовые, технические, бахчевые, овощные. Развиты садоводство и виноградарство. Основные направления мелиорации — выборочное орошение (овощных, бахчевых, технических культур, трав, локально — зерновых и плодовых), тепломелиорация (азиатская часть) и борьба с водной и ветровой эрозией, ликвидация солонцеватости и засоления, предупреждение слитогенеза, накопление и сохранение влаги.

Сухостепная зона (Б-VII) — выше среднего обеспеченная теплом, преимущественно неустойчивой влагообеспеченности.

СТ выше 10°C — $2700\text{--}3500^{\circ}$ для европейской и $2200\text{--}2700^{\circ}$ для азиатской части; $P = 250\text{--}350$ мм; $P/f = 0,33\text{--}0,55$. Преобладают темно-каштановые и каштановые почвы. Зона развитого земледелия и интенсивного молочно-мясного животноводства, в том числе тонкорунного овцеводства. Распаханность территории зоны — до 40%. Ведущие культуры — зерновые, масличные, технические, овощные, бахчевые, развиты садоводство и виноградарство. Основные направления мелиорации — орошаемое земледелие, борьба с водной и ветровой эрозией, ликвидация и предупреждение солонцеватости и засоления, накопление влаги, обводнение пастбищ.

В границах теплого пояса выделяются следующие зоны.

Полупустынная зона (B-VIII) — выше среднего и хорошо обеспеченная теплом, постоянного недостатка увлажнения. СТ более 10°C — $2700\text{--}3600^{\circ}$; $P = 100\text{--}300$ мм; $P/f = 0,12\text{--}0,33$. Преобладают светло-каштановые и бурые полупустынные почвы, часто в комплексе с солонцами. Распространены массивы солончаков и песков. Зона развития интенсивного молочно-мясного животноводства, тонкорунного овцеводства на отгонном выпасе и выборочного орошаемого земледелия. Распаханность — до 4% общей площади зоны. Ведущие культуры — бахчевые, овощные. Основные направления мелиорации — регулярное орошение, борьба с ирригационной и ветровой эрозией, ликвидация и предупреждение солонцеватости и засоления, обводнение пастбищ.

Пустынная зона (B-IX) — постоянного недостатка увлажнения, выше среднего и высокого обеспечения теплом. СТ выше 10°C — $3000\text{--}4000^{\circ}$; $P = 75\text{--}175$ мм; $P/f = 0,12\text{--}0,22$. Преобладают серо-бурые пустынные почвы, солончаки, такры, пески. Зона развития пустынного пастбищного молочно-мясного и мясного животноводства, овцеводства. Земледелие орошаемое. Распаханность — менее 1% территории зоны. Ведущие культуры — овощные, бахчевые, скороспелые сорта хлопчатника. Основные направления мелиорации — регулярное орошение, борьба с ирригационной и ветровой эрозией, ликвидация и предупреждение засоления и солонцеватости, обводнение пастбищ.

Предгорная пустынно-степная зона (B-X) — постоянного недостаточного увлажнения, выше среднего обеспеченная теплом. СТ выше 10°C — $2800\text{--}4000^{\circ}$; $P = 200\text{--}400$ мм; $P/f = 0,22\text{--}0,33$. Почвы — сероземы, каштановые предгорно-степные. Зона интенсивного мясомолочного животноводства, овцеводства и развитого орошаемого и богарного земледелия. Распаханность — до 16% территории зоны. Ведущие культуры — зерновые, технические, овощные, развиты садоводство и виноградарство. Основные направления мелиорации — выборочное орошение технических и зерновых культур, борьба с ирригационной, водной, ветровой эрозией, ликвидация и предупреждение засоления, обводнение пастбищ.

Субтропическая пустынная зона (В–XI) — постоянного недостатка увлажнения (очень сухая), хорошо обеспеченная теплом. СТ выше 10°C — $4000\text{--}5200^{\circ}$; P — $75\text{--}175$ мм; P/f — менее 0,12. Преобладают почвы серо-бурые пустынные, takyровидные, takyры, пески. Зона интенсивного пустынно-пастбищного мясошерстного животноводства, каракульного овцеводства и орошаемого земледелия. Распаханность — до 2% территории. Ведущая культура — хлопчатник, сопутствующие — люцерна, бахчевые и др. Основные направления мелиорации — регулярное орошение, борьба с ирригационной и ветровой эрозией, ликвидация и предупреждение засоления, обводнение пастбищ.

Субтропическая предгорно-полупустынная зона (В–XII) мало обеспеченная влагой (сухая и полусухая), хорошо обеспеченная теплом. СТ выше 10°C — $4000\text{--}5200^{\circ}$; P — $100\text{--}400$ мм; P/f = 0,12–0,33. Почвы — сероземы, лугово-сероземные, луговые. Зона орошаемого земледелия, мясошерстного и молочно-мясного животноводства. Распаханность — 20% территории зоны. Ведущие культуры — хлопчатник и люцерна, бахчевые, овощные, развито садоводство, виноградарство. Основные направления мелиорации — орошение технических, плодовых, зерновых, овощных культур, борьба с ирригационной, ветровой эрозией, ликвидация и предупреждение засоления, улучшение технических свойств поверхности, обводнение пастбищ.

Субтропическая кустарниково-степная и сухолесная зона (В–XIII) — неустойчивой влагообеспеченности, повышенно и хорошо обеспеченная теплом. СТ выше 10°C — $3400\text{--}4200^{\circ}$; P — $300\text{--}600$ мм; P/f = 0,25–0,55. Почвы — серо-коричневые и коричневые. Зона богарного и орошаемого земледелия и развитого горно-пастбищного молочно-мясного животноводства и овцеводства. Ведущие сельскохозяйственные отрасли — плодоводство, виноградарство, шелководство, возделывание зерновых, технических, овощных и кормовых культур. Распаханность — 22% территории зоны. Основные направления мелиорации — выборочное орошение технических, овощных, кормовых культур, борьба с ирригационной и водной эрозией, ликвидация и предупреждение засоления.

Субтропическая влажнелесная зона (В–XIV) — избыточно влажная и влажная, хорошо обеспеченная теплом. СТ выше 10°C — $4000\text{--}4400^{\circ}$; P — $600\text{--}2400$ мм; P/f — более 1,33. Почвы — желтоземы и красноземы. Зона интенсивного земледелия и развитого молочно-мясного животноводства, овцеводства. Распаханность — до 25% территории зоны. Ведущие отрасли сельского хозяйства — субтропическое плодоводство, чаеводство, виноградарство. Основные направления мелиорации — осушение, двойное регулирование водного режима, выборочное орошение (чай и другие культуры), борьба с ирригационной и водной эрозией.

Из краткого обзора общих почвенно-климатических условий следует, что рассматриваемая территория отличается исключительным разнообразием природной обстановки. Здесь представлены все климатические зоны мира за исключением тропиков. Это разнообразие определяет необходимость тщательного анализа общих климатических факторов при использовании тех или иных конкретных способов мелиорации как в различных природных зонах, так и в различных климатических ареалах одной и той же природной зоны.

В этой связи следует подчеркнуть, что одни и те же способы мелиорации в одних природных условиях могут оказаться безусловно целесообразными, а в других их применение малоэффективно или вообще нецелесообразно. Так, в высоких широтах при осушении мерзлотных или длительно сезонно-мерзлотных заболоченных почв в отличие от зон с умеренным климатом не применяют закрытый гончарный дренаж. В тундре, лесотундре и северной тайге он, как правило, не функционирует из-за неблагоприятных температурных условий почвенного профиля. Здесь обычно используют выборочную открытую осушительную сеть (каналы, ложбины), а также агромелиоративные мероприятия по ускорению поверхностного стока. В южной тайге и лесостепной зоне европейской территории страны (ЕТС) для осушения заболоченных почв успешно используют закрытый гончарный дренаж. Вместе с тем попытки широко использовать его в условиях Западной Сибири оказались неудачными из-за глубокого промерзания почв, их медленного оттаивания и образования в дренажных трубах ледовых пробок, исключающих сброс избыточных гравитационных вод в весенний и раннелетний периоды. Однако было бы неверным отрицать вообще возможность применения закрытого гончарного дренажа повсеместно в тех же областях южной тайги и лесостепи азиатской части, где имеет место глубокое промерзание почв. Так, в южной тайге и лесостепной зоне Дальнего Востока в отличие от Западной Сибири при осушении заболоченных луговых почв закрытый гончарный дренаж является весьма эффективным мелиоративным мероприятием, что связано с локальными особенностями климата региона. Дренаж в этих условиях (в том числе и закрытый гончарный дренаж) в основном работает на сброс избыточной гравитационной влаги, возникающей в почвенном профиле при выпадении обильных муссонных осадков в середине лета (июль — начало августа), когда почвы полностью оттаивают. В этом случае критические периоды работы закрытого дренажа совпадают с фазой полного оттаивания почв.

Можно проследить далее отчетливую зональность в конструкциях современных оросительных систем, приуроченных к различным почвенно-климатическим зонам. Так, в степной зоне при орошении черноземных высокогумусных почв широкое распростране-

ние получают различные виды полива дождеванием. Для того чтобы при орошении южных и обыкновенных черноземов избежать возникновения анаэробных условий, уплотнения и слитизации, полив должен осуществляться, во-первых, небольшими нормами и, во-вторых, дождем малой интенсивности. Вместе с тем в аридной зоне при орошении карбонатных и обычно гипсоносных сероземов, как правило, применяют поливы напуском по полосам, по бороздам или затоплением. Применение таких способов орошения в почвенно-климатических условиях аридной зоны обусловлено рядом причин. Дождевание сопровождается значительными потерями воды на испарение. Здесь возникает необходимость систематической промывки почв от водорастворимых солей в эксплуатационный период. Наконец, в этих условиях при поверхностном орошении меньше угроза развития анаэробноз, оглеения и других неблагоприятных явлений, поскольку в карбонатных почвах аридной зоны обычно низкое содержание гумуса.

Таким образом, с климатическими условиями мелиорируемой территории тесно связаны не только принципиальная направленность проектируемых мелиоративных мероприятий, но и в значительной мере конкретные инженерные и иные решения, направленные на изменение неблагоприятных свойств и режимов почв. Вместе с тем наряду с климатом выбор и особенности применения тех или иных способов мелиорации обусловлены и другими природными факторами почвообразования.

2.3. ПОЧВООБРАЗУЮЩИЕ ПОРОДЫ. ВОДОУПОРНЫЕ ГОРИЗОНТЫ, ВЕРХОВОДКА, ГРУНТОВЫЕ И НАПОРНЫЕ ВОДЫ

Необходимость всесторонней оценки свойств почвообразующих пород при разработке системы мелиоративных мероприятий в процессе проектирования и строительства определяется рядом причин.

1. Почвы наследуют основные химические, минералогические и физические свойства почвообразующих пород. Таким образом, если климат в значительной мере определяет главную принципиальную направленность и целесообразность мелиорации, то породы формируют те основные свойства почв, которые детерминируют параметры и конструкцию мелиоративных систем, состав конкретных инженерных решений, необходимых для улучшения свойств и режима почв, т.е. способ мелиорации. Почвы одного и того же генезиса и близкого или тождественного гранулометрического состава могут обладать существенными, весьма актуальными в мелиоративном отношении различиями. Например, каштановые почвы на хвалынских соленосных глинах, отложенных в период

трансгрессий вод Каспия, являются значительно более сложными и более тяжелым объектом мелиорации по сравнению с каштановыми почвами на покровных породах или на лёссах (рис. 1.11) и особенно на суглинках, близко подстилаемых галечниковым аллювием (рис. 1.3, 1.1). Почвы на хвалынских глинах отличаются повышенной солонцеватостью, малой фильтрацией и другими весьма неблагоприятными свойствами.

Черноземные почвы, формирующиеся на майкопских глинах, отличаются от черноземов на лёссах более высокими солонцеватостью, запасами солей в горизонтах профиля, менее благоприятной водопроницаемостью.

В Нечерноземной зоне толща рыхлых отложений широко и весьма разнообразно представлена дочетвертичными (рис. 2.1, 2.2) и четвертичными, преимущественно ледниковыми, отложениями. Так, в этой зоне насчитывается шесть генетически резко отличных по своим свойствам глинистых почвообразующих пород, на которых формируются однородные по генезису подзолистые и болотно-подзолистые почвы, существенно отличающиеся по своим свойствам, в частности по водопроницаемости. Поэтому, несмотря на близкий гранулометрический состав однородных по генезису почв на моренных, покровных, озерно-ледниковых, аллювиальных, пермских, морских и других тяжелых суглинках и глинах, конструкция осушительных систем и состав необходимых агро-мелиоративных мероприятий могут существенно варьировать. Например, если для мелиорации тяжелых болотно-подзолистых почв на покровных мелкоземистых породах (рис. 2.8) могут быть успешно использованы фрезерные экскаваторы, бестраншейные дренажники, глубокие рыхлители, рыхлители-кратователи, то в аналогичных условиях, но на моренных породах (рис. 2.3–2.5) из-за их высокой каменистости использование этих механизмов часто исключается. Из изложенного следует, что почвообразующие породы в значительной мере предопределяют выбор способа мелиорации почв. Этим, однако, не ограничивается значимость пород при оценке мелиоративных особенностей почв.

2. Почвообразующие породы в значительной мере предопределяют причины заболачивания почв и, следовательно, метод их осушения. Так, почвы на тяжелых слабоводопроницаемых почвообразующих породах обычно заболачены поверхностными водами. В них формируется верховодка (рис. 13, в). Верховодка (автохтонные воды) приурочена к горизонтам почвенного профиля (поверхностным или более глубоким — горизонтам В, ВС, С и G), залегающим на местных водоупорных горизонтах (иллювиальных, глеевых, мерзлотных слоях, глинистых прослойках и т.д.). Верховодка не имеет заметного водосбора и формируется локально после выпадения осадков или снеготаяния. Верховодка, как правило, не минерализована, ее уровень подвержен резким колебаниям; она способна быст-

ро исчезать под влиянием погодных факторов. Верховодка приурочена к относительно водопроницаемым структурным или легким и плохо водопроницаемым суглинистым и глинистым горизонтам почвенного профиля, размещаясь в их трещинах и крупных порах. Следует подчеркнуть, что верховодка обычно возникает в тех случаях, когда водопроницаемость почвообразующих пород или горизонтов почвенного профиля оказывается равной или ниже 0,05 м/сут. Слои профиля почв с такими коэффициентами фильтрации (K_f) следует рассматривать как водоупорные (рис. 13, в).

На легких породах (флювиогляциальных, моренных, морских и других супесях и песках) заболачивание почв обычно связано с грунтовыми водами (рис. 13, а). Грунтовыми (алихтонными) водами следует называть такие подземные воды, которые располагаются в водопроницаемом водоносном горизонте, формируются в пределах обширного водосбора данного массива или вне рассматриваемой территории и имеют обычно весьма устойчивый дебит. В условиях гумидных ландшафтов они обычно характеризуются незначительными колебаниями уровней в теплый период. Грунтовые воды образуют первый от поверхности земли постоянный водоносный горизонт, залегают на водоупорном слое, обычно не перекрытом водоупорной кровлей, и ненапорны. Грунтовые воды межморенных и подморенных горизонтов могут обладать незначительным напором. Грунтовые воды могут быть ультрапресные, пресные, минерализованные. Их химический состав тесно связан с зональным процессом почвообразования, химическим и минералогическим составом водоупорных и водоносных горизонтов. В лесной зоне они обычно пресные и ультрапресные, ожелез-

ненные, реже — жесткие. В зонах широколиственных лесов, лесостепи и степи преимущественно — жесткие карбонатные грунтовые воды, нередко с невысоким содержанием соды (лесостепь и степь). В зонах сухих степей, полупустынь и пустынь — хлоридные, сульфатные и др.

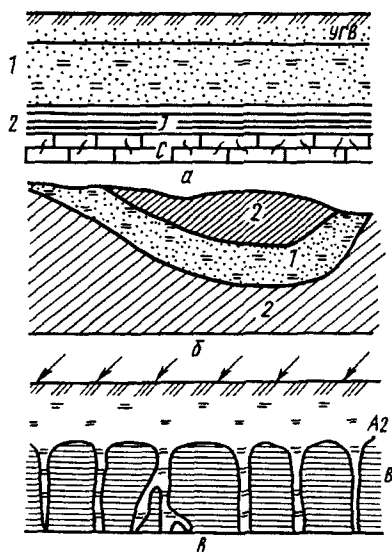


Рис. 13. Схема залегания грунтовых (а) и напорных (б) вод:

J — юрские глины, C — известняки карбона.

1 — водоносный горизонт, 2 — водоупорный горизонт.

Схема залегания верховодки в профиле тяжелой подзолистой почвы (в): A_2 — элювиальный горизонт, B — иллювиальный горизонт

Напорные воды артезианских бассейнов обычно приурочены к синклинально залегающим пластам; их водоносные горизонты всегда перекрыты водоупорными породами (рис. 13, б). В областях питания, напора и разгрузок напорные воды могут находиться в связи с грунтовыми водами. Для обоснования конкретного проекта мелиоративного строительства с целью изучения состава и генезиса почв, почвообразующих и подстилающих пород, генезиса вод и их химического состава выполняют специальные крупномасштабные почвенно-мелиоративные и инженерно-гидрогеологические изыскания.

Итак, следует признать два очевидных условия, определяющих функцию почвообразующих пород. Во-первых, почвы наследуют свойства почвообразующих пород; во-вторых, почвообразующие породы (как и почвы) являются непосредственной ареной функционирования всех без исключения мелиоративных систем. Эффективность их действия обусловлена генезисом и составом почвообразующих пород, гидрологическими условиями. Этим, однако, не исчерпывается значение почвообразующих пород при оценке условий проведения мелиоративных работ. Они определяются еще и тем, что генезис и состав почвообразующих пород предопределяют рельеф территории, вековые процессы его формирования и развития. Так, озерно-ледниковые отложения, генетически связанные с перигляциальными водоемами, имеют плоский, равнинный рельеф (рис. 2.6, 2.7). Конечно-моренные отложения формируют грядово-холмисто-волнистые пространства. Обширные территории, образованные флювиогляциальными и древнеаллювиальными отложениями — полесья, представляют собой равнинные низменности с незначительными дюнными повышениями (рис. 2.9, 2.10). Наконец, пойменные ландшафты Русской равнины, приуроченные к полирельефным поймам, представлены повышенной легкой по гранулометрическому составу прирусловой, суглинистой плоской центральной и глинистой пониженной притеррасной поймами.

С генезисом и составом почвообразующих пород непосредственно связаны развитие эрозионных процессов, интенсивность их проявления и степень опасности для земледелия и мелиоративных систем. Наконец, почвообразующие породы принимают самое активное участие в энерго-, масс- и влагопереносе в системе почва — геологическая среда. Впервые на это обстоятельство обратил внимание А.А. Роде.

Таким образом, генезис и состав почвообразующих пород предопределяют свойства почв, причины их увлажнения и заболачивания, эрозионное состояние и рельеф территории, энерго-, масс- и влагоперенос между почвой и литосферой, условия функционирования мелиоративных систем и систем земледелия, а также формирование естественной растительности, развитие ризосферы. Изло-

женное позволяет признать, что почвообразующие породы играют детерминирующую роль не только в формировании агроландшафтов, но и в значительной мере определяют направленность процессов, вызываемых современной деятельностью человека (агрономической, мелиоративной, лесохозяйственной и иной).

2.4. РЕЛЬЕФ И СТЕПЕНЬ ДРЕНИРОВАННОСТИ ТЕРРИТОРИИ

Климат определяет основное направление мелиорации почв. В итоге справедливое заключение необходимо внести одно существенное замечание: климат определяет лишь общее целесообразное направление мелиорации. В границах конкретного массива направленность мелиорации может существенно корректироваться другими природными факторами. Важное значение в этом случае приобретает рельеф. В аналогичных климатических, литологических и гидрогеологических условиях определенного геоморфологического элемента или ландшафта рельеф вызывает перераспределение поверхностных и подземных вод. Таким образом, рельеф как самостоятельный естественный фактор при мелиорации территории определяет, во-первых, необходимость выполнения определенного комплекса агромелиоративных работ по планировке поверхности на объектах осушения или орошения. Во-вторых, рельеф, как правило, определяет характер структуры почвенного покрова мелиорируемого массива, особенно когда почвы увлажняются поверхностными водами. Эта связь обусловлена тем, что рельеф является мощным фактором перераспределения поверхностного, внутрипочвенного и грунтового стоков. Перераспределение вод по рельефу обуславливает как следствие и перераспределение по рельефу стока солей и твердых частиц. Поскольку соли обладают различной растворимостью, то в засушливых районах страны на водораздельных пространствах и верхних частях склонов происходит аккумуляция углекислых солей кальция, натрия и их сульфатов. Здесь формируются гипсовые аккумуляции. На низких уровнях накапливаются хлориды натрия, кальция и магния (рис. 14). На наиболее низких отметках поверхности в особо засушливых условиях появляются аккумуляции калийной и натриевой селитры.

Закономерная смена солевых аккумуляций по рельефу обусловлена различной миграционной активностью в ландшафте карбонатов, сульфатов, хлоридов, нитратов. На это обстоятельство впервые обратил внимание выдающийся почвовед-геохимик Б.Б. Полынов. Им было показано, что общая минерализация и хлоридность почв и почвенных растворов растут к нижним частям

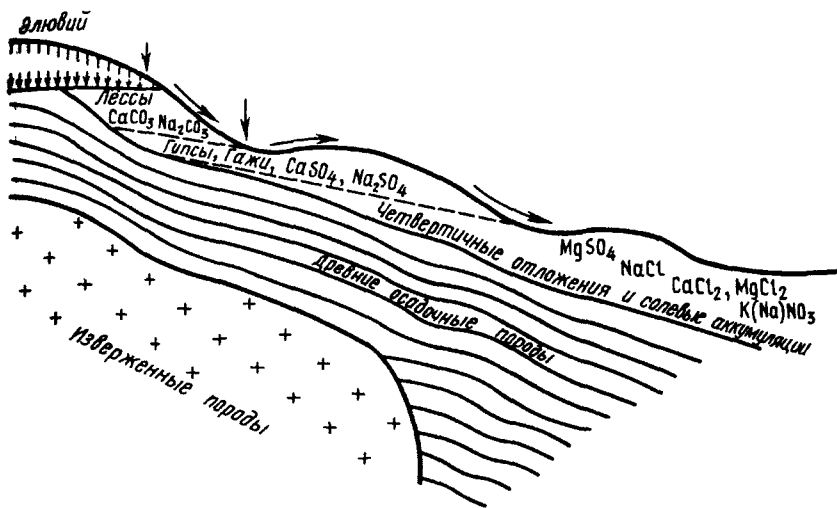


Рис. 14. Обобщенная схема миграции, дифференциации и аккумуляции солей в континентальных условиях (В.А. Ковда, 1984)

и подножиям склонов и наиболее высокими становятся во внутренних бессточных впадинах.

В зоне избыточного увлажнения, где осушение является необходимостью, обширные хорошо дренированные территории водоразделов и склонов, образованные автономными и автоморфными почвами, могут успешно использоваться в сельскохозяйственном производстве и без дренажа. На рис. 15 показано закономерное изменение структуры почвенного покрова в центре Нечерноземной зоны, обусловленное рельефом. Приуроченность почв к геоморфологическим элементам и позиции рельефа в значительной мере определяют степень гидроморфизма почв и их засоленность, дренированность местности и в конечном итоге состав мелиорированных работ в конкретных гипсометрических условиях ландшафта.

Естественная дренированность территории — важная характеристика объекта мелиорации. Она тесно связана с рельефом, породами, их водопроницаемостью, приуроченностью объекта к конкретному геоморфологическому элементу. Д.М. Кац (1969) ввел весьма важное для мелиоративной практики засушливых и аридных регионов страны понятие о степени естественной дренированности территории, тесно связанное с ее геоморфологией, рельефом, почвообразующими и подстилающими породами.

Показателем естественной дренированности является потенциальная величина подземного стока грунтовых вод (в мм или м³/га в год). Д.М. Кац и В.М. Шестаков (1981) предлага-

ют выделять по степени естественной дренированности пять зон. В основу их выделения положены следующие критерии. В орошаемых районах полупустынной и пустынной зон при существующих коэффициентах полезного действия оросительных систем и поверхностном самотечном орошении ирригационное питание грунтовых вод в среднем составляет 300—400 мм/год. В степных районах при дождевании в сумме с атмосферными осадками оно может превышать 100—150 мм/год при применении широкозахватных дождевальных машин, а при поливе ДДА-100М достигать 200—250 мм/год и более.

Исходя из этого авторы предлагают следующим образом дифференцировать зоны дренирования (табл. 2).

Естественно интенсивно дренированная — потенциальная величина подземного оттока свыше 500 мм/год, т.е. больше ирригационного питания в любых климатических условиях и при любых способах орошения и техники полива.

Дренированная — величина оттока 300—500 мм/год, что примерно соответствует ирригационному питанию грунтовых вод в пустынных и полупустынных районах и превышает питание в степных районах. При любых способах орошения дренаж не требуется.

Слабодренированная — отток 150—300 мм/год, т.е. меньше ирригационного питания в полупустынных и пустынных районах. Отток близок к верхней границе питания грунтовых вод в степных условиях при поверхностном самотечном орошении, при орошении дождевальными машинами. Необходим дренаж.

Весьма слабодренированная — отток 50—150 мм/год, т.е. значительно меньше питания в пустынных и полупустынных районах и соответствует нижнему пределу питания грунтовых вод в степных условиях. Необходим дренаж.

Практически бессточная — отток менее 50 мм/год, т.е. значительно меньше ирригационного питания в любых климатических условиях. Необходим дренаж.

В отличие от орошаемых массивов, которые характеризуются естественной дренированностью, массивы, образованные заболоченными почвами, где сельскохозяйственное производство невозможно без осушения, относятся обычно к зонам низкой дренированности. Важнейшим показателем их степени дренированности является не только режим грунтовых вод, но и верховодки, так как в зоне избыточного увлажнения более 50% территории, подлежащей осушению, приурочено к мощным толщам слабоводопроницаемых почвообразующих пород с глубоким залеганием грунтовых вод. Поэтому критерии оценки степени дренированности, рассмотренные в табл. 2, для массивов осушения следует использовать весьма осторожно. Они могут оказаться справедливыми только для условий, когда почвы заболочены грунтовыми водами.

Зоны естественной дренарованности территории (Д.М. Кап, 1976; Д.М. Кап, В.М. Шестаков, 1981)

Зона	Характеристика зон				Геоморфологические условия
	величина подземного оттока, мм/год	преобладающая об-щая минерализация грунтовых вод, г/л	преобладающая глубина залегания грунтовых вод, м	участие грунтовых вод в процессах почвообразования	
1	2	3	4	5	6
Естественно дрена-рованная	до 500—700 и бо-лее в галечниках	ультрапресные и пресные во всех климатических условиях	50—10 (в природ-ных условиях и на орошаемых землях)	не участвуют, почвы автоморф-ные	предгорные шлейфы и верхние части конусов выноса, сложенные галеч-ником (рис. 1.2); глубоко расчлененные предгорные равнины и аллювиальные террасы, высокие приречные уступы, сложен-ные сулинными отложениями, и др.
Дрена-рованная	300—500	то же	на орошаемых землях от 0 до 4—5; в гумидных обла-стях глубже 3	при неглубоком залегании вызы-вают заболачива-ние почв	аллювиальные террасы, зоны выкли-нивания подземных вод на конусах выноса; сложены галечниками с не-большим покровом сулинных от-ложений
Слабодрена-рованная	150—300	пресные в усло-виях гумидного климата, слабо-минерализован-ные в условиях аридного климата	на орошаемых землях от 0 до 3—4; в гумидных обла-стях от 1,5 до 3	при неглубоком залегании вызы-вают заболачива-ние почв, в усло-виях аридного климата и слабое засоление	средние и нижние речные террасы, центральные части конусов выноса; сложены песчано-галечниковыми отложениями с сулинными покро-вом мощностью до 5—10 м

1	2	3	4	5	6
Весьма слабоэрированная	50-150	пресные в условиях гумидного климата и повышенной минерализации при аридном климате, минерализация нарастает от степных районов к пустынным	на орошаемых землях от 0 до 2-3; в гумидных областях < 1,0-1,5	при неглубоком залегании вызывают заболачивание почв; в условиях аридного климата и засоление почв	широкие речные террасы водораздельные равнины, нерасчлененные предгорные равнины, субаральные дельты рек, периферические части конусов выноса, межконусные понижения, плоские плато озерных, озерно-ледниковых и моренных равнин и др.; сложены мощными суглинистыми отложениями, подстилаемыми песчаными или песчано-глинистыми породами
Бессточная	< 50	пресные в условиях гумидного климата и повышенной минерализации при аридном климате, минерализация нарастает от степных районов к пустынным	на орошаемых землях от 0 до 1-3; в гумидных областях < 0,5-1	при неглубоком залегании вызывают заболачивание почв, в условиях аридного климата и засоление почв	современные и древние приморские дельты рек, приморские низменности, субаральные дельты рек, плоские водораздельные равнины, котловины моренных и озерно-ледниковых равнин, предгилтинтовые низменности и др.; сложены суглинистыми и глинистыми отложениями, подстилаемыми мелкими песками, песчано-глинистыми отложениями или коренными породами

2.5. БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР

Анализ биологического фактора при оценке почв как объекта мелиорации имеет несколько аспектов. Во-первых, естественная растительность в известной мере формирует почвенный профиль, определяет особенности генезиса и эволюции почв. Например, эволюция ряда типов болотных почв в значительной мере связана со спонтанным развитием естественного растительного покрова. Наиболее рельефно это проявляется при формировании болотных почв в условиях зарастания водоемов. Закономерная смена растительных формаций и обусловленные растениями-торфообразователями накопления мощной толщи органогенных (торфяных) отложений связаны с развитием и эволюцией растительного покрова в зоне зарастания водоемов. Роль растительности не ограничивается ее влиянием на морфологию и химические свойства почв.

Во-вторых, растительный покров влияет на физические свойства почв — их сложение, структуру, плотность, водопроницаемость и другие особенности, тесно связанные с расчетными параметрами мелиоративных систем.

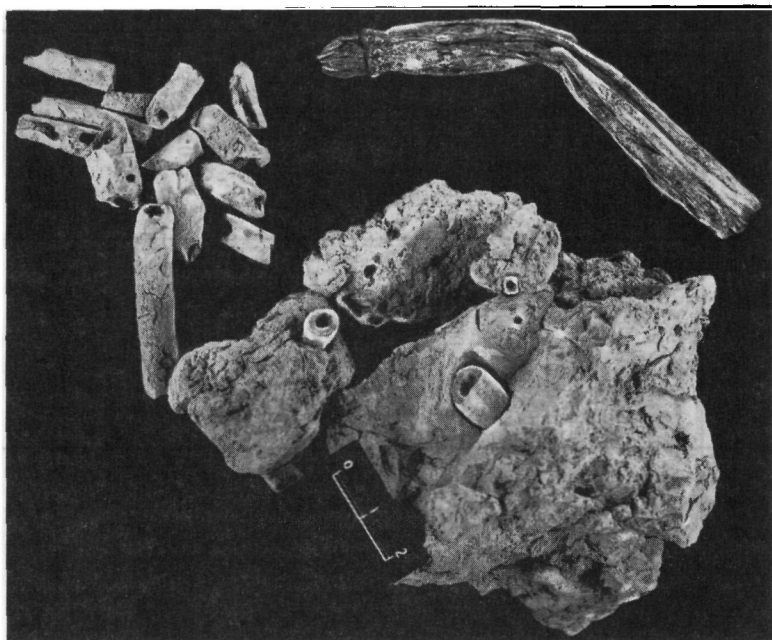


Рис. 16. Трубочатые биогенные железистые конкреции, резко увеличивающие вертикальную фильтрацию в тяжелоглинистых глеевых почвах Южного Сахалина (долина р. Сусунай). Возникают в зоне распространения крупных корней болотных растений с развитой аэренхимной тканью. Глинистая масса почвы, трубочатые железистые конкреции, крупный корень

Влияние флоры и фауны на физические и иные свойства почв в естественном состоянии оказывается весьма значительным. Хорошо известна активная роль зообиоты в формировании высокой порозности сероземов, роль огромных масс свежего перегноя корневых остатков в формировании водопрочной, агрономически ценной структуры черноземов. Велика роль корневых систем растений с развитой аэренхимой в формировании вторичных мощных трубчатых конкреций (рис. 16). Последние в определенных условиях способны резко увеличивать вертикальную фильтрацию глеевых плотных почв. Обильные заросли хвоща, поселения червей, муравьев и термитов также уменьшают плотность почв, увеличивают их порозность и водопроницаемость. Древесная и травянистая растительность оказывают определенное влияние на водный режим почв, миграцию солей. Например, в степной и сухостепной зонах естественная растительность с мощной корневой системой на значительной глубине перехватывает влагу, мигрирующую по капиллярам от зеркала грунтовых вод к поверхностным слоям профиля. Ликвидация естественной растительности в этих условиях и использование территории в качестве пахотных угодий, как показали А.А. Роде и В.В. Егоров, приводят к усилению угрозы вторичного засоления таких территорий. Поэтому, приступая к мелиорации и освоению почв, необходимо достаточно полно представить, какую роль в новых условиях будет играть биогенный фактор почвообразования, связанный с активной жизнедеятельностью различных компонентов почвенной биоты.

В-третьих, следует подчеркнуть исключительную роль естественной (и сорной) растительности в индикации почвенного покрова при проведении изысканий местности для обоснования проектов мелиорации.

2.6. ВОЗРАСТ И ЭВОЛЮЦИЯ МЕЛИОРИРОВАННЫХ ПОЧВ

Влияние возраста на изменения почв следует прежде всего рассматривать как эволюционную проблему. Под влиянием мелиорации возникают новые условия. Задача заключается в том, чтобы правильно понять основные направления вторичного почвообразования, закономерные изменения свойств и режимов почв под влиянием мелиоративных мероприятий. Действие мелиоративных систем на вторичное почвообразование проявляется весьма неоднозначно.

В гумидной зоне введение в действие дренажных осушительных систем предопределяет в одних случаях возникновение условий для интенсификации естественного почвообразовательного процесса, а в других — проявление тенденций, диаметрально про-

типоволожных естественному зональному почвообразованию. Например, дренаж почв болотно-подзолистого типа после осушения обуславливает резкое усиление процесса оподзоливания. Усиливаются темпы выноса железа, кальция, магния, калия, азота, а также наиболее плодородных структурообразующих тонких фракций мелкозема. В то же время осушение болотных почв полностью прекращает естественный процесс торфообразования: накопление органического вещества после мелиорации сменяется процессом его минерализации и гумификации.

В процессе застойно-промывного режима орошения на фоне дренажа происходит усиление признаков почвенного гидроморфизма, накопление органического вещества, в каштановых почвах и сероземах наблюдается вынос легкорастворимых солей и т.д. Вместе с тем под влиянием мелиорации возможны и нежелательные изменения почв и окружающей среды (например, подъем уровней грунтовых вод при недостаточной дренированности территории, вторичное засоление орошаемых почв, распыление их структуры). При кратковременном и тем более при длительном избыточном увлажнении черноземов слабощелочными водами происходят потеря органического вещества, слитизация почв, их осолонцевание, причем постепенно эти изменения усиливаются и могут стать необратимыми. Влияние мелиорации на окружающую среду, очевидно, не ограничивается изменением почв конкретного мелиорируемого участка, а распространяется на значительную территорию и в той или иной мере оказывает влияние на все элементы ландшафта. Например, эффективное орошение локального участка на фоне его систематической промывки и дренирования создает безусловно благоприятные условия для ведения сельскохозяйственного производства на данной территории. Однако одновременно значительные массы солей, поступающие со множества таких участков в реки-водоприемники, могут вызвать резкое увеличение их минерализации, повышение солености внутренних водоемов. Часто возникают значительные трудности, связанные с необходимостью утилизации огромных масс водорастворимых солей. Поэтому прогноз изменения свойств почв под влиянием мелиорации должен быть всесторонним, распространяться на всю территорию ландшафта или на весь бассейн реки.

Таким образом, пять факторов почвообразования, установленные В.В. Докучаевым, в значительной мере определяют свойства почв как объекта мелиорации, их эволюцию под влиянием гидротехнических и иных антропогенных воздействий, теорию и практику мелиорации и использования земель.

Основные мелиоративные мероприятия — фито- и агромелиоративные, гидротехнические, тепловые и некоторые другие — оказывают глубокое влияние прежде всего на водный режим почв. Изменение водного режима почв происходит при их орошении, осу-

шении, двустороннем регулировании режима, при реализации обширного агромелиоративного комплекса мероприятий по организации и ускорению поверхностного и внутрипочвенного стока и т.д.

Водный режим почв, таким образом, в естественном и вторичном, измененном мелиорацией состояниях, в значительной мере определяет направленность и эффективность комплекса инженерных мероприятий. Поэтому ниже рассмотрены сведения о водном балансе почв, типах их водного режима, а также о некоторых почвенно-гидрологических «константах», играющих важную роль при выполнении расчетов основных параметров мелиоративных систем.

2.7. ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ

2.7.1. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Атмосферные осадки, выпадая на поверхность почвы, подвергаются различным преобразованиям. Этот процесс А.А. Роде (1963) иллюстрирует следующей схемой (рис. 17). Часть осадков (1) задерживается растительным пологом и с его поверхности испаряется вновь в атмосферу (2). Часть влаги (3), достигнув поверхности почвы, стекает по ее уклону. Некоторое количество влаги (4) вновь испаряется с поверхности почвы в атмосферу. Остальная влага просачивается в почву (5), превращаясь в почвенную влагу. Значительная часть почвенной влаги отсасывается (десугурируется) из почвы корнями растений (6) и затем, пройдя через их тела, испаряется на-

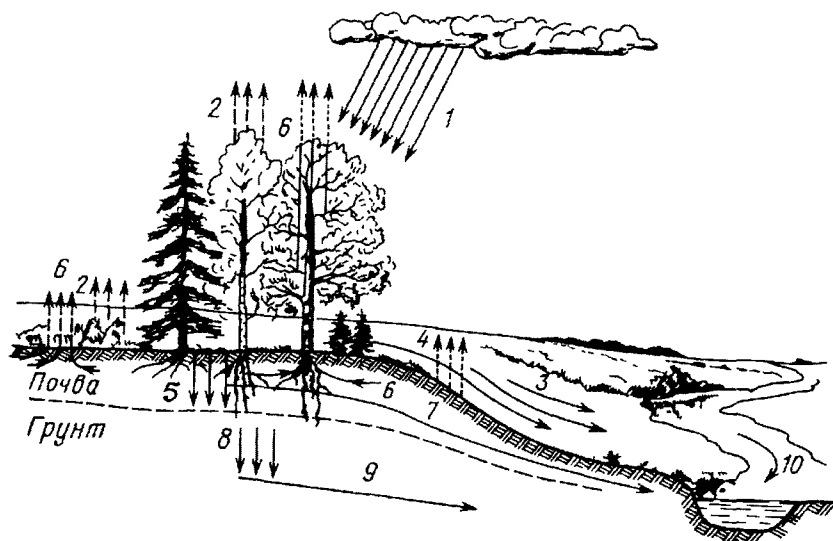


Рис. 17. Круговорот влаги в природе (А.А. Роде, 1967).

Условные обозначения см. в тексте

земными органами растений. Определенный объем почвенной влаги стекает в почвенной толще в боковом направлении, образуя внутрипочвенный сток (7), и затем поступает в ручьи и реки. Некоторое количество почвенной влаги просачивается еще глубже в грунтовую толщу (8) и питает грунтовые воды. Грунтовые воды, как правило, движутся под влиянием силы тяжести, образуя грунто- вый сток (9), причем их влага в конце концов попадает в ручьи и реки, превращаясь в воды речного стока (10). Некоторая часть грунтовой влаги может просачиваться еще глубже и превратиться в глубинные подземные артезианские воды. Таким образом, почва принимает на себя атмосферную влагу, преобразует ее в парообразную влагу, влагу поверхностного стока или в воды различных видов подземного стока. Эта роль почв в ландшафте определяет важность изучения их водного режима как в познавательном, так и в прикладном отношении. Водный режим почв — это прежде всего совокупность всех явлений, связанных с поступлением влаги в почву, ее передвижением, расходом, изменением состояния. В понятие «водный режим почв» входит не только поведение влаги в самой почве, но и обмен влагой между почвой и другими природными системами: атмосферой, почвообразующими и подстилающими породами, живыми организмами (растениями, микроорганизмами, зообиотой).

Мелиоративные мероприятия прежде всего влияют на водный режим почв, его отдельные статьи прихода и расхода влаги. Цель гидротехнических, агротехнических, тепловых, биологических и большинства других мелиораций в конечном итоге заключается в том, чтобы изменить те статьи баланса, которые определяют неблагоприятные особенности почв как объекта сельскохозяйственного, лесохозяйственного и иного использования.

2.7.2. ВОДНЫЙ БАЛАНС И ТИПЫ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВ

По А.А. Роде, водный баланс почв водоразделенных равнинных территорий в общей форме выражается следующим уравнением:

$$B_1 = B_0 + (O_c + K + GrП) - (D + Исп + ПС + ВПС + GrС),$$

где B_1 и B_0 — запас влаги в почвенной толще в конце и в начале изучаемого периода; O_c — сумма осадков; K — величина конденсации влаги; $GrП$ — количество влаги, поступившей в почву из грунтовых вод (грунтовый приток); D — величина десукции; $Исп$ — величина физического испарения; $ПС$ — величина поверхностного стока; $ВПС$ — величина внутрипочвенного бокового стока; $GrС$ — величина грунтового стока за весь период.

В зависимости от величины отдельных источников прихода и расхода влаги водный баланс почвы складывается по-разному. Г.Н. Высоцкий выделил три типа водного режима (рис. 18): про-

мывной (пермацидный), непромывной (импермацидный) и выпотной (эксудационный). При промывном типе водного режима

$$Ос > Д + Исп + ПС + ВПС.$$

Ежегодно часть осадков просачивается через почву и уходит с грунтовым стоком. Поэтому этот тип водного режима назван промывным.

При непромывном типе водного режима связь почвенной влаги с грунтовыми водами отсутствует, величины ГрП и ГрС в уравнении водного баланса равны нулю и уравнение имеет вид

$$Ос = Д + Исп + ПС + ВПС.$$

На горизонтальных участках два последних члена уравнения равны нулю, и оно принимает следующий вид:

$$Ос = Д + Исп.$$

Водный режим выпотного типа отличается тем, что сумма величин десукции и испарения превышает атмосферные осадки. Для водного режима этого типа уравнение водного баланса имеет следующий вид:

$$Д + Исп + ПС > Ос.$$

Почвы с выпотным водным режимом формируются в условиях непрерывного притока грунтовых (аллюхтонных) вод. Их горизонты постоянно находятся в пределах капиллярной каймы. Водным режимом выпотного типа обладают в различной мере засоленные

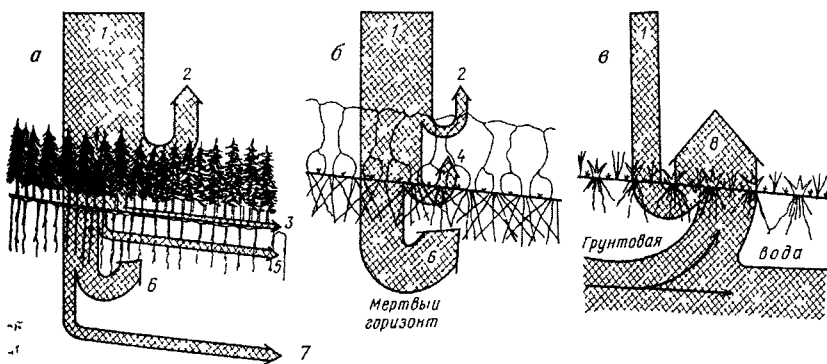


Рис. 18. Схема влагооборота водного баланса при различных типах режима (А.А. Роде, 1967):

а — водный режим промывного типа, б — водный режим непромывного типа, в — водный режим десуктивно-выпотного типа,
1 — осадки, 2 — влага, задержанная кронами, 3 — поверхностный сток, 4 — физическое испарение и десукция напочвенным растительным покровом, 5 — почвенный сток, 6 — десукция древесным пологом, 7 — грунтовый сток, 8 — испарение и десукция

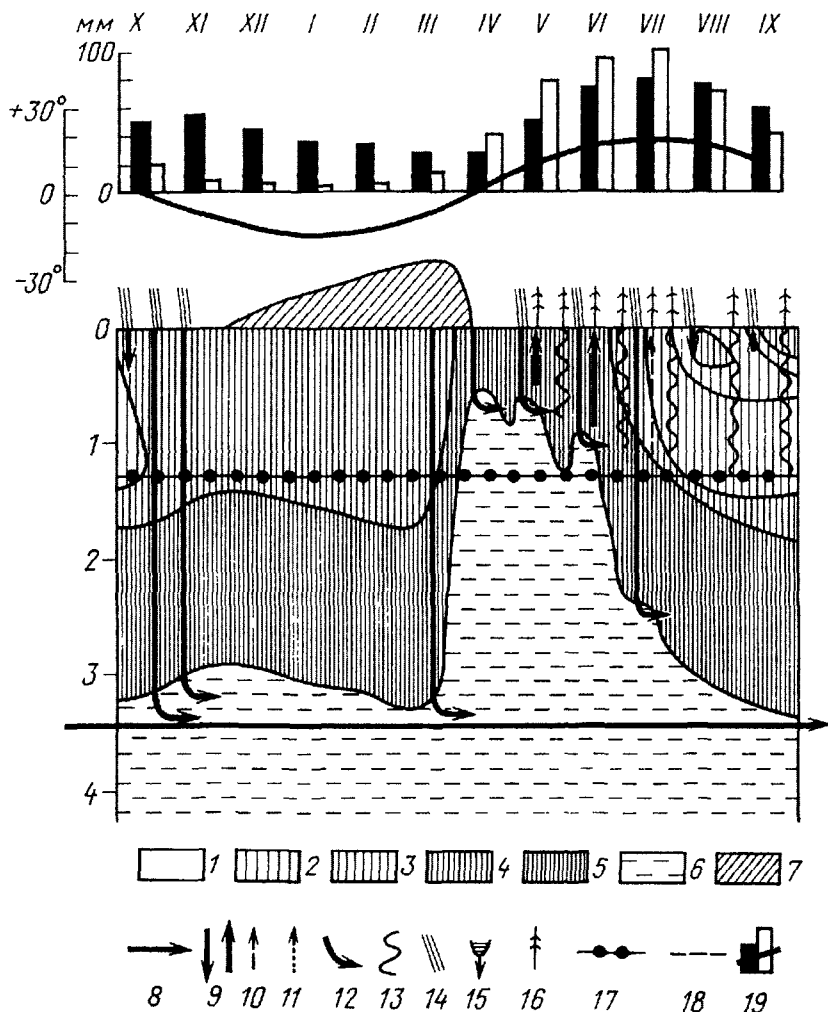


Рис. 19. Водный режим таежного класса, промывной (А.А. Роде, 1967): 1 — влажность ниже ВЗ; 2 — влажность от ВЗ до ВРК; 3 — влажность от ВРК до ППВ; 4 — влажность равна ППВ; 5 — влажность от ППВ до ПВ; 6 — влажность равна ПВ (водоносный горизонт); 7 — снег; 8 — грунтовый поток; 9 — гравитационное просачивание (слева) и капиллярное восходящее передвижение (справа); 10 — пленочно-капиллярное передвижение; 11 — пленочное передвижение; 12 — почвенный или почвенно-грунтовый сток; 13 — десукция; 14 — жидкие осадки; 15 — полив; 16 — испарение или транспирация; 17 — нижняя граница почвенного профиля; 18 — наибольшая глубина промачивания; 19 — месячные суммы испаряемости (справа) и осадков (слева), месячные суммы испаряемости (справа) и средние месячные температуры воздуха (линия)

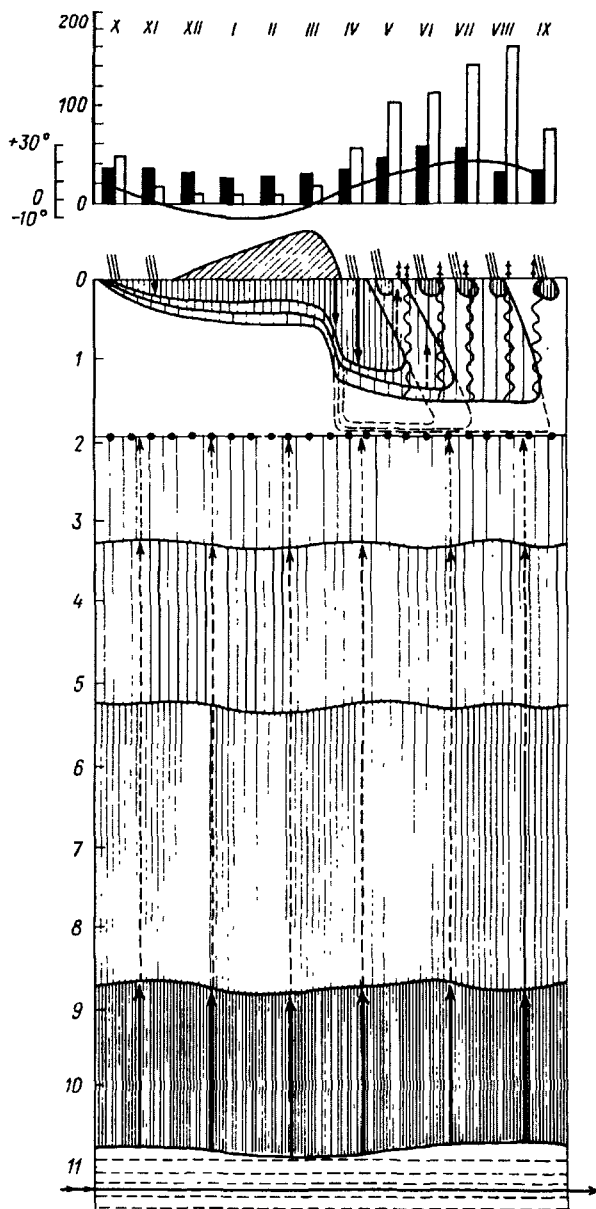


Рис. 20. Волный режим степного класса, непро-
мывной (А.А. Роде, 1967).
Условные обозначения см. на рис. 19

почвы. Причиной засоления является накопление в них солей, приносимых испаряющимися грунтовыми водами.

На основе экспериментальных данных А.А. Роде дал следующую характеристику типов водного режима, описанных Г.Н. Высоцким (рис. 19–21). Эти три основных типа водного режима (промывной, непромывной, выпотной или эксудационный) были затем дополнены А.А. Роде (1963).

В настоящее время выделяют, по Г.Н. Высоцкому и А.А. Роде, шесть типов водного режима почв: мерзлотный, промывной, периодически промывной, непромывной, десуктивно-выпотной и выпотной.

Дальнейшим развитием классификации водных режимов почв является подразделение типов режима на гидрологические подтипы и классы соответственно по источникам водного питания и характерным величинам влажности почвенного слоя в течение веге-

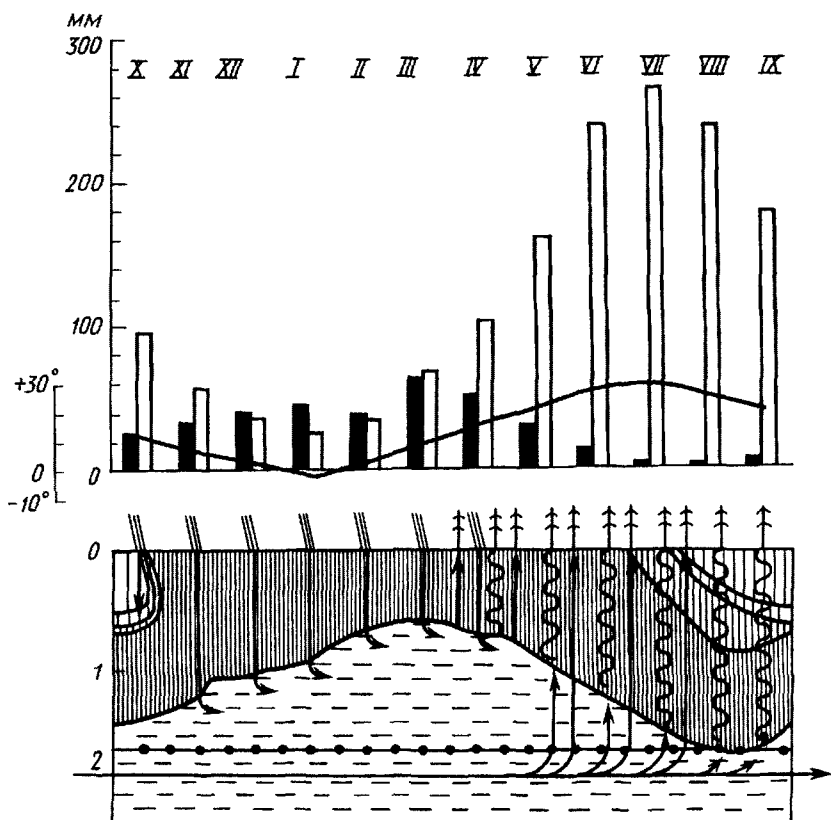


Рис. 21. Водный режим солончакового класса, выпотной (А.А. Роде, 1967).

Условные обозначения см. на рис. 19

Классификация типов водного режима (А.А. Роде, 1963)

Тип и коэффициент увлажнения КУ	Подтип (по источникам увлажнения и заболачивания)	Класс (по характерным величинам влажности почвенного слоя в течение всего вегетационного периода)	
1	2	3	
Мерзлотный (с вечной мерзлотой) КУ ≥ 1	не разработана		
Промывной КУ > 1	атмосферного питания	полного насыщения (болотный) капиллярного насыщения (полуболотный) периодического капиллярного насыщения (таежный) сквозного наименьшего насыщения (южнотаежный)	с близкими к поверхности автохтонными водами
	грунтового-атмосферного питания (с близкими к поверхности аллохтонными водами)	полного насыщения (грунтового-болотный) капиллярного насыщения (грунтового-полуболотный) периодического капиллярного насыщения (грунтового-таежный)	
	грунтового-атмосферного питания с дополнительным паводковым (с близкими к поверхности обычно аллохтонными водами)	полного насыщения (пойменно-болотный) капиллярного насыщения (пойменно-полуболотный) периодического капиллярного насыщения (пойменно-таежный) периодического капиллярного насыщения (лугового-лесостепной)	
Периодически промывной КУ ≥ 1	атмосферного питания	чередующегося сквозного наименьшего насыщения (лесостепной)	
	атмосферного питания с дополнительным поверхностным	периодического капиллярного насыщения (лугового-потускулярный) чередующегося сквозного и несквозного наименьшего насыщения (степной потускулярный)	
Непромывной КУ < 1	атмосферного питания	несквозного наименьшего насыщения (степной)	

1	2	3
Десуктивно-выпотной $KU \ll 1$	грундово-атмосферного питания (с близкими к поверхности аллохтонными водами)	периодического капиллярного насыщения (лугово-степной), капиллярного насыщения (луговой)
Выпотной $KU \ll 1$	атмосферно-грунтового питания (с близкими к поверхности аллохтонными водами)	полного насыщения (болотно-солончаковый), капиллярного насыщения (солончаковый)

тационного периода. А.А. Роде подразделил 6 типов гидрологических режимов на 9 подтипов и 20 классов. Эта классификация (табл. 3) позволила систематизировать и охарактеризовать основные группы почв по особенностям их водного режима.

2.7.3. ПОНЯТИЯ ПОЧВЕННОЙ ГИДРОЛОГИИ И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Напомним некоторые основные понятия из области почвенной гидрологии, определяющие условия работы мелиоративных систем. Одной из наиболее важных характеристик почвенной гидрологии, необходимой для оценки условий работы мелиоративной системы, является предельная полевая влагоемкость (ППВ).

Предельной полевой влагоемкостью следует называть то максимальное количество влаги, которое любая почва (однородная или слоистая) может неопределенно долго удерживать в равновесном, относительно неизменном состоянии после полного насыщения и свободного стекания гравитационной влаги при отсутствии испарения и подпора от грунтовых вод.

Дренажные осушительные системы могут отводить только гравитационную влагу. Поэтому под действием таких систем в условиях заболачивания поверхностными водами влажность почвы может быть уменьшена только до предельной полевой влагоемкости. Снижение содержания влаги ниже ППВ на осушенных почвах возможно только в результате последующего физического испарения и десукции (транспирации). Этот процесс осушения почвы ниже влажности ППВ можно ускорить с помощью ряда агромелиоративных мероприятий, например, путем создания сложного, как бы гофрированного профиля поверхности путем грядования, гребневания и др. С этой же целью целесообразно усиление транспирации. Поэтому низкие урожаи на осушенных почвах могут оказаться причиной не только низкой экономической эффективности ме-

лиоративных мероприятий, но и следствием неблагоприятного гидрологического состояния поверхности горизонтов.

Теоретически оросительные (ирригационные) системы могут увеличивать влажность почвы практически без образования поверхностного и внутрипочвенного стоков только при увлажнении расчетного слоя до величины, соответствующей ППВ. Влажность, поданная для увлажнения расчетного слоя выше ППВ, всегда формирует поверхностный и внутрипочвенный стоки, пополняет поток грунтовых вод и поднимает их уровень, вызывает анаэробизм в поверхностных горизонтах профиля.

Практически, однако, поступление поливных вод в грунтовый поток, безусловно, возможно и при влажности ниже ППВ. В суглинистых и глинистых почвах в результате их усадки и растрескивания в сухую фазу происходит проникновение гравитационной влаги в нижние горизонты профиля при влажности верхних равной или ниже ППВ по крупным трещинам и порам, ходам корней и почвенных животных (рис. 22). Растрескиванию почвы при подсыхании могут активно содействовать ее солонцеватость, особенности минералогического состава и другие свойства, обусловленные генезисом почвообразующих пород и почв.

В мелиоративном отношении большой интерес представляет еще одна форма влажности. Как известно, при осушении почв, заболоченных грунтовыми водами, дренаж не ликвидирует капиллярную кайму. От зеркала грунтовых вод к дневной поверхности всегда поднимается капиллярная кайма и влажность почвы тем выше, чем ближе к дневной поверхности поднимается уровень грунтовых вод. Влажность почвы приобретает таким образом динамический характер. Она изменяется в диапазоне от ППВ до полной влагоемкости (ПВ). Ее величина определяется не только свойствами почв, но и положением зеркала грунтовых вод. Этот вид влагоемкости мы будем называть динамической (или капиллярной) влагоемкостью. Динамическая (капиллярная) влагоемкость — то максимальное количество влаги, которое почва может неопределенно долго удерживать в равновесном, относительно неизменном состоянии после полного насыщения и свободного стекания гравитационной влаги при отсутствии испарения и определенном, заданном уровне стояния грунтовых вод. Чем ближе уровень грунтовых вод к дневной поверхности, тем больше величина динамической влагоемкости и тем меньше объем свободных пор в почве. Чем выше значения динамической влагоемкости, тем ниже абсолютное значение водоотдачи. Взаимосвязь уровня грунтовых вод, динамической влагоемкости и водоотдачи показана на рис. 23, 24.

Такое дифференцированное представление о влагоемкости имеет важное значение при расчете дренажных систем в условиях поверхностного и грунтового заболачивания, при возделывании

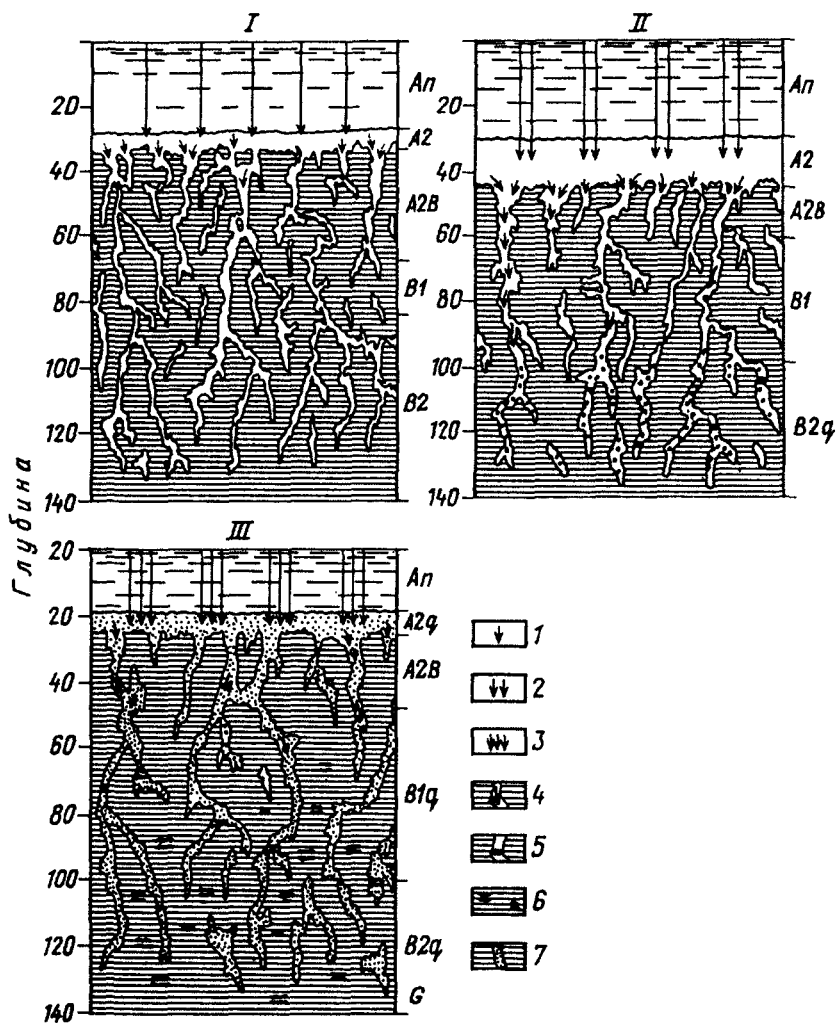


Рис. 22. Гидрологический профиль подзолистых суглинистых и глинистых почв разной степени заболаченности во влажные годы (схема). Миграция влаги по трещинам.

Почвы: I — неоглессные, II — глубокооглессные, III — глессовые и глеевые.
 Влага в поверхностных аккумулятивно-элювиальных горизонтах: 1 — влажность почвы преимущественно на уровне ППВ — 0,9 ПВ; 2 — влажность почвы преимущественно в интервале 0,9ПВ—ПВ, реже ПВ; 3 — влажность почвы преимущественно соответствует ПВ (верховодка), реже — ППВ — ПВ.
 Влага в илювиальных горизонтах: 4 — миграция гравитационной влаги в трещинах; 5 — аккумуляция гравитационной влаги в трещинах; 6 — верховодка по всей толще илювиального горизонта; 7 — оглессение стенок трещин или всего горизонта

$$\sigma = \frac{\varepsilon - C}{100},$$

The diagram illustrates the vertical distribution of porosity and the corresponding rock structure. The left side is a graph with depth in meters (М) on the vertical axis (0 to 11) and porosity in percent of porosity (% от порозности) on the horizontal axis (0 to 100). The right side is a schematic of the rock structure, divided into layers: СПВ (top), КК (middle), ГВ (bottom), and ВУ (base).

Graph Data (Approximate):

Depth (М)	Porosity (%)	Notes
0 - 5	~65	ЛПВ (Lithological Porosity)
5	~75	КК-1 (Core Sample 1)
6	~70	КК-2 (Core Sample 2)
6 - 8	~65	КВ (Core Porosity)
8	~60	ГВ-1 (Grain Porosity 1)
8 - 9	~55	ГВ-2 (Grain Porosity 2)
9 - 11	~50	ПВ (Pore Porosity)

Rock Structure Layers:

- СПВ (Сedimentary Porosity):** Top layer, indicated by a bracket on the right.
- КК (Core):** Middle layer, indicated by a bracket on the right.
- ГВ (Grain Porosity):** Bottom layer, indicated by a bracket on the right.
- ВУ (Base):** Bottom layer, indicated by a bracket on the right.

ПВП (III) — предельная полевая влагоемкость; КВ (II) — капиллярная влагоемкость; ПВ (I) — полная влагоемкость; ГВ-1 и ГВ-2 — первый и второй уровни грунтовых вод; СПВ — слой с просачивающейся влагой; ВУ — водоупор; КК — капиллярная кайма

0,04–0,08. Для торфяных почв σ изменяется от 0,03 до 0,12. Максимальные значения σ имеют их поверхностные слои (очес). В неявном виде для расчета мелиоративных систем водоотдачу характеризуют модули дренажного стока. Модулем дренажного стока называется тот объем воды, который дренажная система может отвести с единицы площади в единицу времени. Модуль дренажного стока имеет размерность л/с · га или мм/с · га.

Наиболее правильно определять модули дренажного стока непосредственно на действующих осушительных системах или дренажных устройствах ирригационных систем. Однако возможности получения непосредственных данных о модулях дренажного (или дренажного и поверхностного) стока на действующих инженерных сооружениях пока еще ограничены. Поэтому сейчас нередко используют данные о стоке, полученные в естественных условиях на действующих водотоках. Такой анализ важен и для гидрологических расчетов в бассейне тех рек, где ведется мелиоративное строи-

тельство. Очевидно, режим рек динамичен и в каждый конкретный период он определяется климатическими и погодными условиями. Обычно для гидрологической характеристики рек определяют нормы стока, т.е. среднемноголетние значения модуля стока в рассматриваемом пункте, которые характеризуют конкретный период года. Поэтому говорят о нормах стока в период пика паводка, на спаде паводка, в предпосевной период, в период летне-осенней межени и т.д.

Нормы стока обычно составляют на основе исследования расходов водотоков (ручьев, рек) в многолетнем ряду. Для получения таких данных в границах водосбора с известной площадью на реке организуют гидрологический пост. В створе

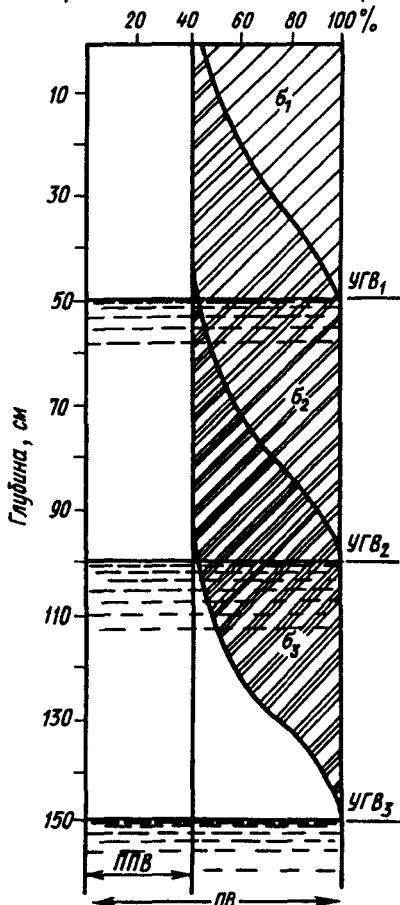


Рис. 24. Изменение динамической влагоемкости почвы и коэффициента водоотдачи при различном уровне грунтовых вод;

$\sigma_{1,2,3}$ — коэффициенты водоотдачи при уровнях грунтовых вод УГВ-1,2,3

этого поста ведутся непрерывные (обычно ежесуточные) наблюдения за расходами воды в водотоке. Зная расход воды ($\text{м}^3, \text{л}$) в единицу времени и площадь водосбора ($\text{га}, \text{км}^2, \text{м}^2$), нетрудно определить норму (модуль) стока для данного бассейна на интересующий нас период:

$$q = \frac{Q}{S \cdot T},$$

где Q — расход воды в водотоке в единицу времени; S — площадь водосбора; T — время наблюдений.

Динамику изменения объемов и модулей стока, в частности, объемов и модулей стока рек, закономерности прохождения пиков паводка и состояние межени характеризуют гидрографы рек (рис. 25).

Введем еще ряд важных показателей гидрологического состояния почв, имеющих определяющее значение для гидромелиоративных расчетов.

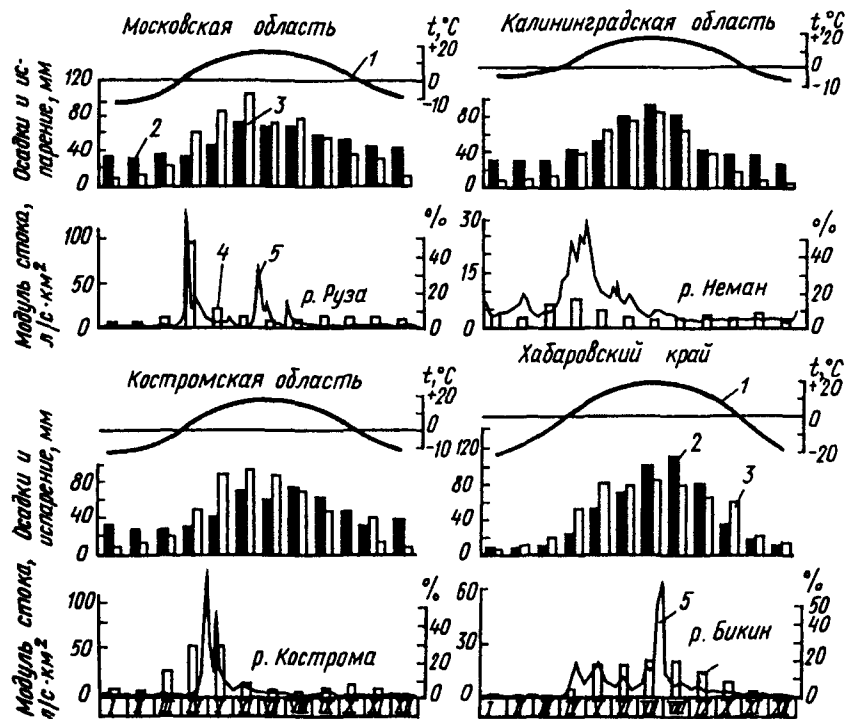


Рис. 25. Объемы и модули речного стока в различных областях Нечерноземной зоны;

1 — температура воздуха; 2 — осадки; 3 — испаряемость, мм; 4 — объемы месячного стока, % от объема годового стока; 5 — модули стока, л/с·км²

М.М. Абрамовой (1948, 1953) было установлено, что при определенном снижении влаги ниже предельной полевой влагоемкости наступает состояние, при котором прекращается восходящее передвижение подвешенной влаги к поверхности испарения. Влажность, при которой происходит разрыв сплошности капиллярного потока, устремляющегося к испаряющей поверхности, она назвала влажностью разрыва капиллярной связи (ВРК).

ВРК, по А.А. Роде (1965), является второй после ППВ константой, при которой наблюдается существенное изменение подвижности почвенной влаги. В почвах бесструктурных или микроагрегатных на лёссах, лёссовидных суглинках, моренных слабокаменистых и других суглинистых породах влажность, соответствующая ВРК, составляет примерно около 70% от ППВ. В структурных почвах величина, соответствующая ВРК, равна 80—85% от ППВ и более. Величина влажности почв, соответствующая ВРК, является, по С.И. Долгову (1948), нижним пределом оптимальной влажности роста и развития растений. Поскольку при влажности почв ниже ВРК происходит резкое ухудшение влагообеспеченности растений и снижение урожайности культур, недопустимо падение влажности почв ниже этой критической величины. Поэтому в условиях орошаемого земледелия не следует допускать снижения влажности почвы ниже ВРК. В расчетных условиях оптимальная влажность почвы удерживается в интервале от ППВ (или 0,95—0,90 ППВ) до ВРК или от предельной полевой влагоемкости (0,95—0,90 ППВ) до нижнего предела оптимальной влажности для роста и развития растений.

2.7.4. ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ МЕЛИОРАТИВНЫХ РАСЧЕТАХ

Количественное проявление факторов почвообразования в многолетнем ряду подвержено определенной изменчивости. Особенно сильно во времени варьируют гидрологические и термические параметры (осадки, температура, поверхностный сток), характеризующие климатические и погодные условия мелиорируемой территории. Их вариабельность определяет изменчивость урожая, а следовательно, и различную экономическую эффективность агрономических и мелиоративных мероприятий. Поэтому расчет мелиоративных систем только по среднемноголетним характеристикам оказывается недостаточным. В мелиоративной практике в настоящее время при характеристике основных гидрологических и иных параметров, используемых для инженерных расчетов мелиоративных систем, широко применяют их вероятностную оценку.

При вероятностной оценке расчетных параметров устанавливают частоту появления (%) определенных критических величин в многолетнем ряду. Мелиоративные сооружения строят исходя из утвержденных для расчета параметров той или иной обеспечен-

ности. Например, для расчета дамб водохранилищ, сроков их заполнения, основных элементов осушительных и оросительных систем возникает необходимость определения величин поверхностного и дренажного стоков, осадков для лет различной, установленной государственными стандартами обеспеченности. С этой целью имеющиеся данные многолетних наблюдений (например, по осадкам гидрометеослужбы, по стоку в определенном створе и т.д.) располагают в нисходящем порядке — так, как это обычно принято при построении кривых повторяемости природных факторов в математической статистике. Затем по этим кривым устанавливают абсолютные величины показателя, соответствующие заданной обеспеченности, или обеспеченность в процентах заданной величины того или иного показателя. Под обеспеченностью понимают вероятность появления (%) в данном ряду искомой величины или величины больше искомой. Например, если известно, что годовые осадки 500 мм в многолетнем ряду имеют обеспеченность, равную 10%, то это значит, что в течение 100-летнего промежутка времени встречается 10 лет с осадками, равными 500 мм и более. Следующий пример иллюстрирует методику обработки данных. Пусть в результате длительных наблюдений (ряд из 30 лет) известны данные по количеству выпадающих осадков на мелиорируемом массиве (от 250 до 450 мм) в годы разной влажности. Интервал между максимальными и минимальными значениями разбивают далее на равные промежутки — классы (например, с шагом 25 мм). Классы располагают, таким образом, в ряд по их убывающим средним значениям, которые в рассматриваемом случае укладываются в интервал от 212 до 436 мм. Затем подсчитывают число лет с количеством осадков, приходящихся на каждый класс (табл. 4). Для определения вероятности выпадения определенного количества осадков или выпадения их в большем количестве, чем искомая величина, строят кривые обеспеченности.

Для построения кривой обеспеченности (рис. 26) на оси абсцисс откладывают число лет наблюдений в процентах, принимая общее количество лет за 100, на ординате — количество осадков (температура, сток и т.д.) в интервале наблюдений. По кривой обеспеченности можно узнать процент обеспеченности (вероятность повторения) любого количества осадков (или иного расчетного фактора). Для этого из точки на оси ординат, соответствующей интересующему нас количеству осадков (например, 300 мм), проводят прямую АВ, параллельную оси абсцисс до пересечения этой линии с кривой. Затем из точки пересечения опускают перпендикуляр на ось абсцисс ВС и находят соответствующий процент обеспеченности (в данном случае 62%). Это значит, что в интервале 100 лет в течение 62 лет количество выпадающих осадков будет равно 300 мм или более. По этой кривой обеспеченности, очевидно, можно решать и другие задачи. Например, установить

Подготовка данных для построения кривой обеспеченности осадков

Класс	Осадки, мм	Средняя величина осадков, мм	Число лет в классе	Число лет с осадками, соответствующими данному и предшествующим классам
1	450,0—425,1	437,5	1	1
2	425,0—400,1	412,5	2	3
3	400,0—375,1	387,5	2	5
4	375,0—350,1	362,5	3	8
5	350,0—325,1	337,5	3	11
6	325,0—300,1	312,5	5	16
7	300,0—275,1	287,5	7	23
8	275,0—250,1	262,5	3	26
9	250,0—225,1	237,5	3	29
10	225,0—200,1	212,5	1	30

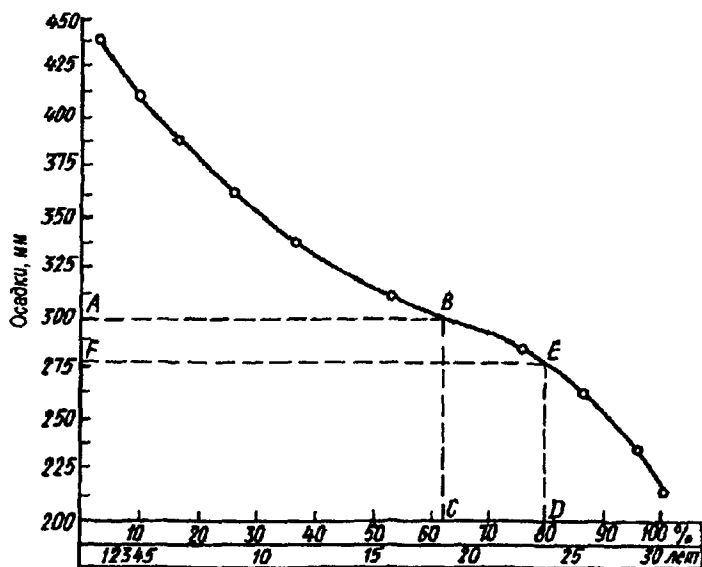


Рис. 26. Кривая обеспеченности осадков (С.А. Владыченский, 1960).
Условные обозначения см. в тексте

процент обеспеченности интересующей величины (осадков, стока и т.д.). На основе известных данных приближенный расчет обеспеченности можно выполнить по следующей формуле:

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100,$$

где P — обеспеченность, (%); m — порядковый номер класса; n — общее число классов. Например, необходимо узнать обеспеченность осадков, соответствующих классу 325–300 мм. Из данных табл. 4 следует, что эти осадки укладываются в интервал 6-го класса, а общее число классов в рассматриваемом ряду равно 10, поэтому обеспеченность рассматриваемого количества осадков равна

$$P = \frac{6}{10+1} \cdot 100 = 55\%.$$

При проектировании мелиоративных систем широко используют представление о вариабельности климатических (в частности, гидрологических) данных при расчете инженерных конструкций, оценке урожайности культур, экономической эффективности мероприятий. Так, защитные дамбы в поймах рек при использовании пойменных почв в овощных севооборотах обычно строят из расчета затопления поймы летне-осенним паводком 1%-й обеспеченности; оросительные системы в сухостепной зоне рассчитывают на 90–95% (для зерновых) и 75% (для трав) обеспеченность осадков. Осушительные дренажные системы в зоне избыточного увлажнения рассчитывают на своевременный пропуск осадков 5–10%-й обеспеченности в вегетационный период при использовании территории в полевых севооборотах и на пропуск осадков 25%-й обеспеченности при размещении сенокосных угодий. При этом водопроводящую способность дренажно-коллекторной сети рассчитывают на пропуск весеннего паводка (в европейской части России) в предпосевной период с модулями дренажного стока 10%-й обеспеченности и т.д.

ИСТОЧНИКИ ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ. ВИДЫ ОРОСИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ. ПОСТОЯННО 3. ДЕЙСТВУЮЩАЯ ОРОСИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

3.1. ЗАДАЧИ ОРОШЕНИЯ И ПОТРЕБНОСТЬ РАСТЕНИЙ В ВОДЕ

Орошение, или ирригация (от англ. *irrigation* — орошение) — система мероприятий по искусственному увлажнению почвы с целью создания благоприятных условий для роста и развития растений. Орошение, увлажняя почву, оказывает на нее многофакторное действие. При правильной организации орошения улучшаются воздушный и тепловой режимы почвы, экологические условия местообитания травянистой и древесной растительности.

Орошение используют для выращивания и повышения урожая трав, зерновых и овощных культур, хлопчатника, риса, чая, садов и виноградарников.

Его практически повсеместно применяют в сухостепной, полупустынной и пустынной зонах европейской части страны, в Закавказье, в республиках Центральноазиатского региона, в южных районах Западной и особенно Восточной Сибири — в Туве, Хакасии, Бурятии, Читинской и других областях, в Поволжье и Заволжье.

В последние десятилетия орошение значительно продвинулось на север. В той или иной форме оно теперь применяется в сельскохозяйственном производстве практически всех широт. В гумидной зоне его используют для создания высокопродуктивных зеленых угодий — сенокосов и пастбищ (долговременных культурных пастбищ — ДКП), а также для возделывания овощных культур, преимущественно в районах крупных населенных и индустриальных центров. Независимо от территориального расположения в оросительных системах расход воды на полив должен быть экономичным и соответствовать потребностям растений с целью создания планируемого урожая. При оценке потребности растений в воде принято учитывать два важных показателя — коэффициент транспирации и коэффициент водопотребления. Коэффициентом транспирации называется масса воды, транспирированная растением за время его вегетации, пошедшая на образование единицы массы

сухого вещества (сухой массы всего урожая). Коэффициент транспирации — динамичная величина. Его значения меняются в зависимости от почвенных, погодных и климатических условий. Для одних и тех же культур коэффициент транспирации возрастает с севера на юг и с запада на восток с увеличением засушливости и континентальности климата. Транспирационный коэффициент возрастает с увеличением влажности почвы. Поэтому при поливе возможно увеличение непродуктивного использования влаги. Улучшение агротехники и системы удобрений повышает урожай, способствует более экономичному использованию влаги, уменьшает коэффициент транспирации.

Расход влаги на орошаемом поле осуществляется не только за счет транспирации. Весьма существенной расходной статьей водного баланса является физическое испарение с поверхности почвы. Оно составляет около 25–50% расхода на транспирацию в вегетационный период, а в течение года эти составные расходные статьи водного баланса (транспирация и физическое испарение) приблизительно равны.

В практических целях при водобалансовых мелиоративных расчетах используют значения не транспирации (она отражает лишь физиологическую составляющую потерь воды на орошаемом поле), а суммарное водопотребление или, короче, водопотребление.

Водопотреблением называется расход воды на транспирацию и испарение с 1 га возделываемой культуры ($\text{м}^3/\text{га}$). Коэффициентом водопотребления называется объем воды в кубических метрах, израсходованный за вегетационный период на тонну (или центнер) продукции при естественной ее влажности. Коэффициент водопотребления изменяется так же, как и коэффициент транспирации. Во влажные годы на неорошаемом участке коэффициент водопотребления увеличивается, в сухие — уменьшается. Повышение урожайности обуславливает более экономичное расходование воды, снижение коэффициента водопотребления. Оросительные системы обеспечивают подачу воды на орошаемые поля, перевод воды водоисточника (реки, озера и др.) в почвенную влагу. Эта влага, а также влага осадков расходуется в вегетационный период на транспирацию и физическое испарение, т.е. на суммарное водопотребление.

Потребность растений в воде в вегетационный период при орошении удовлетворяется путем подачи воды на поле из водоисточника (реки, водоема и др.). Воды водоисточника могут быть различного состава и оказывают разное влияние на растения и на почву. Оценка их пригодности для орошения при мелиоративном проектировании имеет важное значение. Она, в частности, необходима для прогноза эффективности оросительной системы и влияния орошения на свойства почвы.

3.2. ИСТОЧНИКИ ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ И ОЦЕНКА ЕЕ ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ ПОЛИВА

3.2.1. ИСТОЧНИКИ ВОДЫ ДЛЯ ПОЛИВА

Для полива используют воды различного происхождения: речные, озер, водохранилищ, подземные, возвратные (сточные, т.е. воды, поступающие из коллекторно-дренажной сети, тепло- и энергоцентралей, промышленных предприятий) и морские. Независимо от их происхождения все воды, используемые для полива, должны отвечать одному общему требованию — не ухудшать свойства почв. Впервые на это важное обстоятельство обратил внимание В.В. Докучаев (1892) в книге «Наши степи прежде и теперь». Он писал: «Особое внимание должно быть обращено на состав оросительных вод, так как все эти минеральные, растворимые и взмученные части оросительных вод будут действовать существенно различным образом, а иногда даже и вредно на плодородие орошаемых участков, то, очевидно, состав их должен быть обстоятельно изучен, особенно в ирригационные периоды» (с. 105).

В 1906 г. американский исследователь Е. Гильгардт впервые классифицировал оросительные воды по концентрации солей и содержанию ионов, положив начало разработке количественных методов оценки состава оросительной воды. В 1954 г. в США Л. Ричардсом была разработана классификация оросительных вод по степени минерализации и натриевому адсорбционному отношению (цит. по: С.Я. Бездниной, 1997).

Речные воды, формирующиеся на площади около 90% речного водосбора Российской Федерации, имеют гидрокарбонатный состав с низкой минерализацией. В средней полосе России минерализация различных вод возрастает до 0,2–0,5 г/л.

Водосбор рек с исходной минерализацией 0,5–1,0 г/л занимает около 6% площади. В зоне Приазовья, Донбасса, Северного Кавказа распространены реки с сульфатными, а в Прикаспийской низменности, в Северном Казахстане — с хлоридными водами. Состав и степень их минерализации нестабильны. Это обусловлено действием как естественных, так и антропогенных факторов. Действие естественных факторов связано с тем, что в результате резкого увеличения объема руслового стока в период паводка происходит быстрое разбавление речных вод за счет поступления с водосбора пресных атмосферных вод, а также вод тающих ледников и снега. Второй весьма важной причиной изменения состава и степени минерализации речных вод является поступление в реки сильно минерализованного стока из коллекторно-дренажной сети оросительных систем. В наибольшей степени их отрицательное влияние, имеющее вторичное, антропогенное, происхождение, проявляется в средней и нижней частях речных долин. Нередки случаи, когда в

результате нерегулируемого сброса минерализованного дренажного стока речные воды в нижнем течении оказываются совершенно непригодными для орошения.

Для крупных рек европейской территории России в целом характерен небольшой резерв кальциевых солей при их общем благоприятном химическом составе. Это обстоятельство несколько снижает качество речных вод огромной территории.

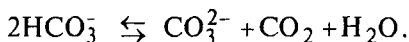
В реках Центральной Азии (Сырдарья, Амударья и др.) отношение Ca/Na равно, по данным Н.Г. Минашиной (1986), около 80–100. Вместе с тем для ЕТС это отношение значительно ниже — от 3 до 1, а в водохранилищах — около 1.

Отличительной особенностью речных вод является наличие в них твердой взвеси (твердого стока) — речного аллювия. Содержание твердого стока в воде разных рек различно. Реки Центральной Азии (например, Амударья) содержат в паводок до 4–10 кг взвешенных минеральных частиц в одном кубическом метре воды; р. Риони в Западной Грузии — 4–6 кг/м³. Как правило, после строительства водохранилища воды реки в нижнем бьефе плотины осветляются в результате осаждения твердой взвеси на дно искусственного водоема. В воде большинства сибирских рек твердый сток не превышает 0,1–0,2 кг/м³. Твердый сток, отлагаясь на поверхности почв при поливе, нередко обогащает их первичными и вторичными минералами, способствует поддержанию на высоком уровне плодородия орошаемых земель. В результате длительного орошения водами, обогащенными такой минеральной взвесью, формируется ирригационный нанос, на котором позднее возникают почвы (так называемые ирригационные почвы).

Воды озер и водохранилищ стабильнее речных вод, а их химический состав подвержен закономерным зональным изменениям.

В водах водохранилищ в летние месяцы наблюдается некоторое увеличение их минерализации в результате интенсивного испарения. Рост минерализации происходит главным образом за счет Cl^- , SO_4^{2-} и Na^+ , т.е. ионов, ухудшающих качество воды. При этом возможно неблагоприятное изменение щелочности вод. В ней появляется ион CO_3^{2-} и резко повышается pH. В воде уменьшается содержание Ca^{2+} . Механизм ощелачивания следующий.

В результате активного развития в водоемах сине-зеленых водорослей происходит активное потребление диоксида углерода, и карбонатно-кальциевое равновесие смещается в сторону образования CO_3^{2-} :



При этом карбонат кальция выпадает в осадок. По данным ряда авторов (Николаева, 1989; Новикова и др., 1982), в водах Цимлянского, Кременчугского и Каховского водохранилищ

летом рН воды возрастает на 1,0–1,8 ед. (с 7,1 до 8,9), в ней появляется CO_3^{2-} .

На юге России воды местных степных рек, прудов, лиманов, артезианские и дренажные для орошения (особенно черноземов) обычно не пригодны. Они могут быть использованы только после их мелиорации (снижения рН и увеличения резервов кальция) в результате разбавления, внесения химических мелиорантов, а также повышения содержания в почвах запасов кальция.

Подземные воды могут широко применяться для орошения сельскохозяйственных культур. Для этой цели может быть использовано до 10% от общего дебита. Их применение освобождает от необходимости устраивать дорогостоящие водозаборные сооружения, повышает влагообеспеченность территории. Однако при этом растут эксплуатационные расходы. В частности, целесообразность широкого использования этих вод подтверждается практикой США, Индии, Канады, Мексики и Франции, где из подземных горизонтов извлекают для орошения соответственно 40–45, 30 и 20%. В странах СНГ для целей ирригации используются в настоящее время не более 4–5%.

Недостатком подземных вод является их низкая температура, а также нередко высокая минерализация.

Подземным водам свойственна определенная зональность.

Их состав определяется, во-первых, минералогическим и химическим составом водовмещающей, водоносной и водоупорной толщ и, во-вторых, современными зональными почвообразовательными процессами. Общая закономерность заключается в том, что с севера на юг растет минерализация грунтовых вод.

Ультрапресные и пресные воды, часто содержащие повышенные концентрации органического вещества и железа в северных широтах, постепенно сменяются гидрокарбонатно-кальциевыми и магниевыми водами в лесостепной и степной зонах, нередко содержащих повышенные концентрации бикарбоната и карбоната натрия. Далее на юг в грунтовых водах сухостепной зоны накапливаются сульфаты натрия и кальция. В полупустынной и пустынной зонах преобладают хлориды, сульфатно-хлоридные высокоминерализованные воды. Представление о широтной зональности грунтовых вод было разработано выдающимся почвоведом-гидрологом Г.Н. Высоцким.

Коллекторно-дренажные воды, поступающие из оросительных систем в водоприемники (реки, овраги, озера и др.), отличаются повышенной минерализацией. Они редко могут быть использованы для орошения без дополнительного разбавления благоприятными для полива речными (или озерными) водами.

Морская вода является сложным раствором, содержащим множество элементов и химических соединений. Среди них преобладают хлор (55%), натрий (30%), сульфаты (7%), магний (3,7%).

В открытом океане содержание солей колеблется в интервале 33–37 г/л. В зависимости от испарения с поверхности соленость морской воды может существенно варьировать. Так, соленость вод Балтийского моря не превышает 6–8 г/л, Средиземного — 39, а Красного моря — 41 г/л. Морская вода для полива трав на легких (песчаных) почвах непосредственно используется в странах с гумидным влажным климатом (например, в Эстонии на о. Саарема, в Германии на Балтийском побережье и др.) при низкой концентрации в ней водорастворимых солей. Кроме того, полив морской водой возможен в субтропической зоне на хорошо проницаемых песчаных почвах в районах с продолжительными дождливыми зимами, в частности в странах Средиземноморского бассейна. В других случаях обычно морская вода может быть использована для орошения лишь после опреснения.

3.2.2. ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ВОДЫ ДЛЯ ПОЛИВА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПОЧВУ

Определение пригодности воды для полива осуществляется с помощью качественных и количественных тестов.

Визуальный и органолептический анализы состояния воды в исследуемом водоеме позволяют сделать общее предварительное заключение о ее пригодности для полива. Качество воды характеризуют следующие внешние признаки.

Гнилостный запах, поднимающиеся со дна водоема к поверхности пузырьки газов (метана, сероводорода, аммиака) в результате анаэробного брожения свидетельствуют о низком качестве или непригодности вод для орошения. О наличии вредных примесей промышленного происхождения свидетельствует цвет воды — перегнойные и органические вещества придают воде желто-коричневую окраску; соли двухвалентного железа — зеленовато-голубоватую; свободная сера окрашивает воду в голубой цвет. По состоянию флоры и фауны можно судить о качестве воды водоисточника. На хорошее состояние воды указывает присутствие в водоисточнике рыб, наличие амфибий и пресмыкающихся на берегах водоема, интенсивный рост рдестов и ряски. Напротив, появление осоки, ситника, камыша и других растений, приспособившихся к существованию в условиях развитого почвенного анаэробнозиса, свидетельствуют об ухудшении качества воды.

Взвешенные твердые элементы в поливной воде (твердый сток) могут указывать на различные свойства поливных вод. Так, крупные (песчаные), обычно кварцевые частицы (диаметром более 0,05 мм) не представляют ценности как удобрение. Вместе с тем они быстро оседают в каналах, что обуславливает необходимость их систематической очистки. Пылеватая фракция (0,001–0,05 мм) обычно доносится оросительной водой до поля.

Она не обладает существенным удобрительным действием. Илистая фракция ($< 0,001$ мм) легко транспортируется водой на орошаемое поле. В ее составе содержится много органических (до 50% от массы ила) и питательных веществ. Илистый материал твердого стока в определенных условиях легко коагулирует, способствует образованию микро- и макроструктуры. Анализ гранулометрического состава твердого стока производится из проб наносов, отбираемых батометрами.

Растворенные вещества в поливной воде в основном определяют ее пригодность для орошения. При оценке пригодности воды для полива надо учитывать качественный состав солей, опасность засоления (в том числе борного), возможность осолонцевания почв, карбонатного подщелачивания.

Опыт орошения в полуаридных и аридных зонах позволяет признать практически во всех случаях пригодными для орошения воды с минерализацией менее 0,2 г/л. Минерализацию, равную 0,2–0,5 г/л, считают хорошей при отсутствии в воде нормальной соды. Минерализация воды 0,5–1,0 г/л допустима при поливе устойчивых к засолению растений на легких почвах. Минерализация воды, равная 1–2 г/л, опасна с точки зрения засоления почв. Воды с большей минерализацией (например, морские) используют в районах с гумидным климатом на легких почвах с низкой поглощательной способностью.

Соли, растворимые в оросительной воде, применяемой для поливов, обладают разной токсичностью. Схема, предложенная Л.П. Розовым, отражает степень опасности различных солей:

NaCl	Na ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃
MgCl ₂	MgSO ₄	MgCO ₃
CaCl ₂	CaSO ₄	CaCO ₃

Все соли выше черты вредны для растений, ниже — безвредны. В приведенном перечне солей наиболее опасна нормальная сода. Ее относительную токсичность отражает следующая шкала:

Соль	Na ₂ CO ₃	NaCl	NaHCO ₃	Na ₂ SO ₄
Степень токсичности	10	3	3	1

Все соли натрия и все хлориды являются вредными. Карбонаты и сульфаты кальция и карбонаты магния — безвредны. Сернокислый и углекислый кальций используют как удобрения и как мелиоранты, улучшающие свойства почв. При этом, однако, следует учитывать, что свободная углекислота и анионы серной кислоты оказывают агрессивное действие на бетон, могут способствовать разрушению сооружений на оросительной системе.

И.Н. Антипов-Каратаев и Г.М. Кадер (1961) предложили использовать для оценки опасности осолонцевания орошаемых почв следующее уравнение:

$$\frac{[Ca^{2+} + Mg^{2+}]}{[Na^{+}]_{10}} \geq 0,23 C,$$

где C — общая концентрация растворимых солей, г/л; Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} — содержание ионов в воде, ммоль/л. Зная эти параметры, можно рассчитать соотношение катионов, при котором количество поглощенного натрия достигнет 10% от ЕКО. Если отношение $[Ca^{2+} + Mg^{2+}]/[Na^{+}]$ равно или выше $0,23 C$, то такая вода благоприятна для полива. При меньших значениях — вода опасна для почв, так как в результате полива возможно их осолонцевание. Индекс 10 означает критическое отношение $[Ca^{2+} + Mg^{2+}]/[Na^{+}]$, при котором количество поглощенного натрия достигает 10% от ЕКО почвы.

Необходимо особо подчеркнуть опасность полива почв оросительной водой, содержащей карбонаты и бикарбонаты натрия. Даже весьма низкие концентрации соды (1–2 ммоль (экв)/л) в оросительной воде в процессе многократных поливов вызывают сильное подщелачивание почв. Интенсивность адсорбции натрия повышается пропорционально концентрации соды в воде (рис. 27).

И.Н. Антипов-Каратаев установил следующую зависимость между сорбцией натрия почвой и концентрацией соды в поливной воде:

$$Y = K_1 + K_2 \log C,$$

где Y — обменный натрий (ммоль (+)/100 г почвы); C — концентрация соды (ммоль (экв)/л оросительной воды); K_1 и K_2 — коэффициенты ($K_1 = 12$, $K_2 = 92$).

В.А. Ковда еще в 1946 г. обратил особое внимание на важность своевременной диагностики щелочных (содосодержащих) оросительных вод низкой минерализации. Позднее Л. Вилкокс (1958) пришел к выводу, что вода, содержащая более 2,5 ммоль (экв)/л карбоната натрия, непригодна для орошения. Вода с содержа-

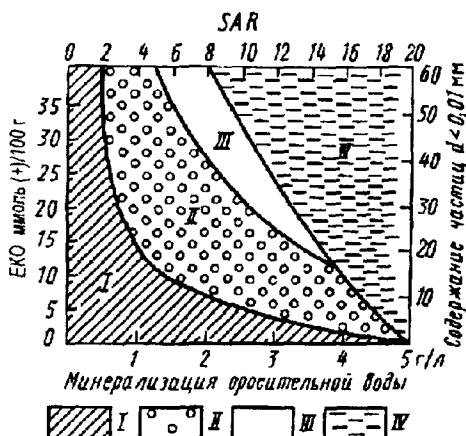


Рис. 27. Определение пригодности воды для орошения (по И.П. Айдарову и А.Н. Колькову, 1980):

I — вполне пригодная — опасность засоления и осолонцевания низкая; II — не вполне пригодная — опасность засоления и осолонцевания высокая; III — малоприспособная — отмечается осолонцевание и засоление почв; IV — вода, не пригодная для орошения

нием 1,25–2,5 ммоль (экв)/л этой соли рассматривалась как условно пригодная, а менее 1,25 ммоль (экв)/л — как пригодная. И. Сабольч и К. Дараб (1962) установили, что величина щелочности, соответствующая 10 мг/л соды, определенная по фенолфталеину, соответствует верхнему допустимому пределу содержания соды в оросительных водах.

Следует, однако, иметь в виду, что пригодность минерализованных вод для полива обусловлена не только их химическим составом, но и климатом местности, числом и способом поливов, свойствами почв. Так, оросительная вода с одним и тем же содержанием NaHCO_3 опасна для почв с $\text{pH} > 7$, но нередко улучшает почвы с $\text{pH} < 7$.

Если орошаемые почвы в верхних горизонтах богаты гипсом, то кратковременное использование щелочных вод для орошения таких почв неопасно. Однако в засушливых и полузасушливых зонах широко распространены почвы, лишенные гипса в верхних горизонтах (черноземы, каштановые, луговые и др.). Использование щелочных вод на таких почвах неизбежно приводит к их вторичному осолонцеванию. Для профилактики неблагоприятных явлений необходимы специальные мероприятия не только по предупреждению осолонцевания почв, но и по мелиорации самой оросительной воды (например, гипсование почв и вод).

Вместе с тем несоленая и нещелочная оросительная вода с концентрацией не выше 0,2–0,5 г/л оказывает положительное влияние на щелочные почвы. В таких водах среди катионов обычно преобладает кальций. В результате орошения в течение нескольких лет или десятилетий пресными кальцийсодержащими водами щелочные почвы становятся нейтральными. Их физические, химические свойства и биологические особенности улучшаются.

В ирригационной практике США и ряда других стран оценка качества поливной воды производится по электропроводности (табл. 5), натрий-адсорбционному отношению (SAR — sodium adsorption ratio) и содержанию бора.

Натрий-адсорбционное отношение вычисляют по формуле

$$\text{SAR} = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{2}}}.$$

При расчетах концентрацию катионов выражают в миллимолях эквивалентов на литр. Если величина $\text{SAR} < 10$, вода хорошего качества, 10–18 — среднего, 18–25 — неудовлетворительного, 25 и более — весьма неудовлетворительного. Однако Л.А. Ричардсом (1953) на основе экспериментальных данных было показано, что при низкой минерализации оросительных вод (< 1 г/л) и слабой уг-

Шкала солености оросительной воды
(данные лаборатории засоления почв, США)

Классификация вод	Электропроводность, мСм/см при 25°C	Приблизительная концентрация солей, г/л
Низкой солености. Пригодна для орошения большинства культур на большинстве почв	< 250	< 0,2
Средней солености. Используется в условиях умеренного выщелачивания. Культуры средней солеустойчивости можно выращивать, не применяя мер для борьбы с засолением	250—750	0,2—0,5
Высокой солености. Даже при хорошем дренаже могут потребоваться мероприятия по борьбе с засолением. Следует выбирать культуры, обладающие высокой солеустойчивостью	750—2250	0,5—1,0
Очень высокой солености, непригодна для орошения в обычных условиях. Полив при следующих условиях: высокая проницаемость почв, дренаж, подача избыточного количества оросительных вод, выращивание культур очень высокой солеустойчивости	> 2250	1—3

Таблица 6

Опасность засоления и осолонцевания почв
оросительными водами в зависимости от их минерализации и значений
натрий-адсорбционного отношения (Л.А. Ричардс, 1953)

Общая минерализация воды, г/л	Опасность засоления почвы	Опасность осолонцевания по значению SAR			
		низкая	средняя	высокая	очень высокая
< 1	низкая	8—10	15—18	22—26	> 26
1—2	средняя	6—8	12—15	18—22	> 22
2—3	высокая	4—6	9—12	14—18	> 18
> 3	очень высокая	2—4	6—9	11—14	> 14

розе засоления ирригационные воды могут вызывать значительную опасность осолонцевания (табл. 6).

Расчет SAR основан на уравнении ионного обмена Е.Н. Гапо-на, в котором учитывается не концентрация ионов, а их актив-ность. В практических расчетах SAR, как следует из приведенной формулы, используют значения концентрации ионов. Однако в вод-ной среде наряду со свободными ионами присутствуют ионные ас-социаты. При этом в такие ассоциаты кальций связан всегда выше (в 1,5–2,5 раза), чем натрий. Поэтому, очевидно, SAR, рассчитан-ный на основе аналитических концентраций, будет ниже его ист-инного значения.

В связи с этим ФАО, сельскохозяйственным департаментом ООН, предложено учитывать дополнительный эффект осолонцева-ния почв в соответствии с реальным резервом ионов кальция в воде по приведенному показателю SAR*. Приведенные значе-ния SAR рассчитывают по следующей формуле:

$$SAR^* = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \cdot [1 + (8,4 - pH_c)],$$

где pH_c — расчетная величина, учитывающая состав и содержание в воде катионов и ее щелочность:

$$pH_c = pK_2 - pK_{CaCO_3} + p(Ca^{2+} + Mg^{2+}) + p(CO_3^{2-} + HCO_3^-),$$

где K_2 — вторая константа диссоциации H_2CO_3 ; K_{CaCO_3} — произве-дение растворимости $CaCO_3$, рассчитанное по ионной силе ороси-тельной воды; $p(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ — отрицательный логарифм концен-трации ионов кальция и магния; $p(CO_3^{2-} + HCO_3^-)$ — отрицатель-ный логарифм общей щелочности (p — отрицательный логарифм).

Таблица 7

**Предельно допустимые концентрации
некоторых химических элементов и
соединений в поливных оросительных
водах, мг/л**

Элементы и соединения	Россия	США
Фенол	0,001	0,001
Фтор	1,0	1,5
Медь	1,0	3,0
Хлор	300	250
Свинец	0,1	0,1
Мышьяк	0,05	0,05

При $SAR^* < 6$ осолонцевание не ожидается; при SAR^* , рав-ном 6–9, возможно постепен-ное накопление солей в поч-ве; при $SAR^* > 9$ может прои-зойти осолонцевание почв.

Оценка качества воды должна учитывать не только ее состав, соотношения и концентрации ионов, их ак-тивность и другие параметры, но и особенности почв.

На рис. 27 приведены ре-комендации И.П. Айдарова и А.И. Королькова (1980), по-зволяющие оценить пригод-

ность вод для полива в зависимости от емкости катионного обмена и гранулометрического состава почв.

Т.Н. Хохленко (1985, 1986) для обоснования прогноза влияния ирригационной воды, преимущественно на почвы черноземного типа, предложены показатели известкового (водородно-кальциевого) и кальциево-натриевого потенциалов.

Известковый потенциал ($pH - 0,5 \text{ pCa}$) устанавливает зависимость активности ионов Ca^{2+} от реакции среды. Он определяет энергетический уровень выхода Ca^{2+} из ППК и используется для прогноза ощелачивания почв.

Натриевый потенциал ($pNa - 0,5 \text{ pCa}$) является показателем энергетического уровня сорбции Na^+ . Он используется для прогноза осолонцевания почв.

Если величина известкового потенциала ($pH - 0,5 \text{ pCa}$) оросительной воды $> 6,5$, то при поливе такими водами возможно ощелачивание почв.

При значениях натриевого потенциала воды ($pNa - 0,5 \text{ pCa}$) менее 1,5 полив вызывает развитие осолонцевания почв.

Следует отметить, что токсическое влияние на растения и почвы могут оказывать не только легководорастворимые соли, но и ряд других токсичных соединений и элементов, например, такие как фенол, свинец, медь. В табл. 7 приведены допустимые концентрации этих веществ, принятые в России и США.

По содержанию бора оросительные воды оцениваются по следующим критериям: воды, непригодные для полива всех культур при содержании бора выше 4 мг/л; воды всегда безусловно пригодны для орошения, если концентрация этого элемента меньше 0,3 мг/л.

По устойчивости к бору в зависимости от его содержания в оросительной воде выделяют три группы культур (табл. 8).

Магний оказывает вредное влияние на почву, если его количество в оросительной воде выше 50% от суммы $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$.

Хлориды не влияют отрицательно на физические свойства почв: хлор не поглощается почвой. Файрмэн, Краус (Fireman, Kraus, 1965) дифференцируют оросительные воды по содержанию хлоридов на четыре группы с предельными значениями между группами 2,8–8 ммоль (–)/л.

В известной мере неблагоприятные свойства оросительных вод, содержащих повышенные концентрации бикарбоната и карбоната натрия, могут быть улучшены путем внесения в воды, текущие в транспортирующем канале, гипса или путем разбавления минерализованных вод более пресными. Впервые такой способ был предложен в Калифорнии. В оросительные воды, содержащие натрий при общей невысокой минерализации, вносили гипс, измельченный в порошок. Такая обработка оросительной воды значительно повышала скорость инфильтрации, способствовала улучшению ранее испорченных орошением почв.

Допустимые пределы содержания бора в оросительных водах для основных сельскохозяйственных культур (данные Министерства земледелия США, 1958)

Устойчивые (2,0–4,0 мг/л)	Средне- устойчивые (2,0–1,0 мг/л)	Чувстви- тельные (1,0–0,3 мг/л)	Устойчивые (2,0–4,0 мг/л)	Средне- устойчивые (2,0–1,0 мг/л)	Чувстви- тельные (1,0–0,3 мг/л)
Свекла сахарная	Подсолнеч- ник	Слива Груша	Бобы Лук	Пшеница Кукуруза	Апельсин Лимон
Свекла кормовая	Картофель Хлопок	Яблоня Виноград	Турнепс Капуста	Овес Сорго	Грейпфрут Хурма
Свекла столовая	Помидоры Горох	Вишня Персик	Морковь Салат	Тыква Перец	Грецкий орех
Люцерна	Ячмень	Абрикос	Спаржа		

Таким образом, ирригационные воды с неблагоприятным химическим составом могут вызывать весьма опасные деградационные явления — засоление, ощелачивание, солонцеватость почв.

Однако неблагоприятные последствия орошения могут иметь место и при использовании для полива вполне благоприятных по составу пресных, неминерализованных вод. Это особый случай деградации почв при орошении, механизм которого заключается в следующем. При переполивах (особенно при кратковременных переполивах) пресными водами в верхних гумусированных горизонтах возникают анаэробные явления, которые сопровождаются глееобразованием на фоне застойно-промывного водного режима. В таких условиях глееобразование сопровождается переходом в подвижное состояние марганца, железа, щелочноземельных металлов, органического вещества, лессиважем. Эти элементы и соединения выносятся за пределы верхних слоев профиля; одновременно наблюдается резкое ухудшение физических свойств почв, так как происходит вынос веществ, цементирующих почвенные агрегаты. В результате почвы приобретают признаки слитости, резко уменьшается их активная порозность, фильтрация, возрастает плотность сложения (Зайдельман, 1998).

Поэтому важно учитывать не только объем и состав поливных вод, но и тот способ полива, который применяется в реальных условиях конкретного массива орошения.

Воды, благоприятные для полива, не вызывающие ухудшения почв, подаются на сельскохозяйственные поля инженерными оросительными системами. Инженерные оросительные системы представляют собой сложные гидротехнические сооружения, обеспечивающие подачу воды из водоисточника на орошаемое поле, перевод гравитационной воды водоисточника в почвенную влагу корнеобитаемых горизонтов.

3.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ОРОШЕНИЯ

Оросительные мероприятия могут иметь различное назначение, оказывать различное влияние на режим и свойства почв, осуществляться весьма разнообразными способами. Кроме увлажнительной функции, которую всегда осуществляет полив, орошение может быть связано и с рядом дополнительных задач. Поэтому по назначению целесообразно выделять следующие виды орошения.

Увлажнительное (основной вид орошения). Улучшает или создает благоприятный водный режим почв для растений.

Удобрительное. В воду вносят удобрения и вода транспортирует их на поля.

Утеплительное. Воду из реки в период паводка, из теплоцентралей, заводов и других источников подают на поля с целью согревания почв.

Влагозарядковое. Обеспечивает подачу обычно значительных объемов воды на поля с целью их аккумуляции в почве. Поливы производят до начала вегетации осенью таким образом, чтобы обеспечить накопление влаги в мощной толще почвы (обычно 2 м). Влагозарядковое орошение применяют в случаях, если весной из-за образования наледей в каналах или по другим причинам невозможны предпосевные поливы; если в результате поздневесенней климатической засухи в начале вегетации в почвах отсутствует или мал запас продуктивной влаги, а полив в это время невозможен. К этому виду орошения следует отнести также закачку в грунтовый поток воды через специальные каналы и фильтры с целью пополнения запасов подземных вод и их последующего использования на орошение сельскохозяйственных культур.

Промывочное. Применяют для растворения и вымывания токсичных солей из горизонтов почвенного профиля, а также в необходимых случаях для выноса солей из верхних слоев засоленных почвообразующих пород и верхних горизонтов грунтовых вод.

По срокам и характеру подачи воды на поле орошение следует дифференцировать на регулярное и нерегулярное, выборочное и сплошное.

Регулярное орошение обеспечивает подачу воды на орошаемое поле систематически на протяжении всего вегетационного периода. Оно позволяет осуществлять все виды полива независимо от их назначения (т.е. увлажнительное, влагозарядковое, промывное, утеплительное орошение и др.). Обычно при регулярном орошении производят вегетационные и влагозарядковые поливы. Регулярное орошение позволяет получить урожай в 2–3 раза выше, чем нерегулярное.

Нерегулярное орошение позволяет осуществлять в течение года обычно один массированный полив (влагозарядковый), обес-

печивающий увлажнение мощной толщи почв преимущественно путем устройства лиманных оросительных систем.

Выборочным называют орошение, при котором осуществляют полив не всех культур, а только тех, которые обеспечивают получение максимальной экономической отдачи и отличаются повышенным влагопотреблением. Обычно выборочное орошение организуют там, где нет условий (экономических, гидрологических и др.) для организации сплошного орошения (например, ограничены водные ресурсы).

Сплошным является орошение, при котором создаются условия для полива всех культур на крупном массиве. Сплошное орошение обычно осуществляется в равнинных районах с обеспеченными водными ресурсами, преимущественно в сухостепной, полупустынной и пустынной зонах.

По видам полива различают аэрозольное орошение, дождевание, поверхностное, внутрипочвенное, капельное орошение и субирригацию (рис. 28).

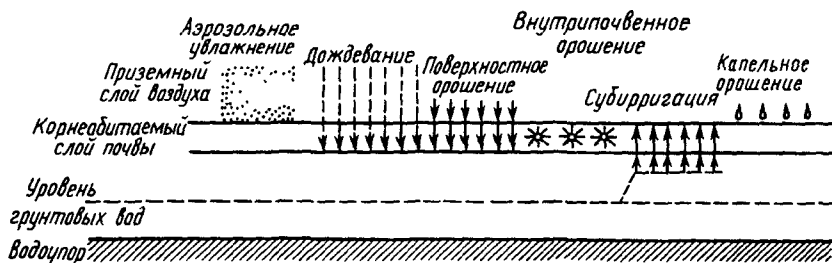


Рис. 28. Современные виды орошения (Б.Г. Штепа, 1975, с дополнениями)

Аэрозольное (мелкодисперсное) орошение — увлажнение растений, приземного слоя воздуха и поверхности почвы тонко распыленными мельчайшими каплями воды. Туман, образованный над поверхностью почвы при аэрозольном орошении, способствует защите растений от заморозков. Применяется в садах, виноградниках, на плантациях цитрусовых и чая, в теплицах и оранжереях.

Поверхностное орошение — орошение током влаги при непосредственном контакте воды, поступающей самотеком на поле, с поверхностью почвы. Различают следующие виды поверхностного орошения: затопление, напуск по полосам, по бороздам.

Дождевание — механизированное орошение, при котором оросительная вода при помощи насосов и дождевальных аппаратов

попадает под напором в атмосферу и оттуда свободно падает на растения и почву в виде капель дождя.

Внутрипочвенное орошение основано на всасывающей способности почвы транспортировать воду по капиллярам от трубувлагоувлажнителей (уложенных на глубине 0,4–0,6 м) к корневым системам возделываемых культур.

Капельное орошение — орошение, при котором вода с помощью гибких трубопроводов через специальные устройства (капельницы) по каплям поступает в зону распространения корней.

Субиригация — увлажнение корнеобитаемой зоны почвы путем активного подъема уровня грунтовых вод к дневной поверхности.

Орошение независимо от вида и назначения осуществляется оросительными системами.

3.4. СОСТАВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Оросительная система — сложное водохозяйственное устройство, которое реализует перевод гравитационной воды водоемисточника в почвенную влагу орошаемого массива. Оросительные системы могут быть постоянного и периодического действия, а по своему устройству — открытыми (когда вся система состоит из открытых каналов), закрытыми (оросительную сеть образует система закрытых трубопроводов) и комбинированными. В последнем случае крупные каналы изготавливают в земле или из бетона, а мелкие (внутрихозяйственная регулирующая сеть) — из закрытых напорных трубопроводов.

Оросительная система постоянного действия состоит из источника орошения, головного водозаборного сооружения, оросительных каналов и трубопроводов, оградительных, водосборных и дренажных каналов, сооружений на каналах, дорожной сети, мостовых переходов и переездов, водорегулирующих и полевых защитных лесных насаждений (рис. 29).

3.4.1. ИСТОЧНИКИ ОРОШЕНИЯ, ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ, ТРАНСПОРТИРУЮЩАЯ И ОРОСИТЕЛЬНАЯ СЕТИ

Источником орошения могут быть река, озеро, водохранилище, артезианская скважина и др. (рис. 1.1).

Головное водозаборное сооружение (или насосная станция) забирает воду из источника орошения в магистральный канал в необходимых количествах и в нужные сроки (рис. 1.13–1.15).

Магистральный, или главный, канал оросительной системы доставляет воду на орошаемые массивы. Магистральный

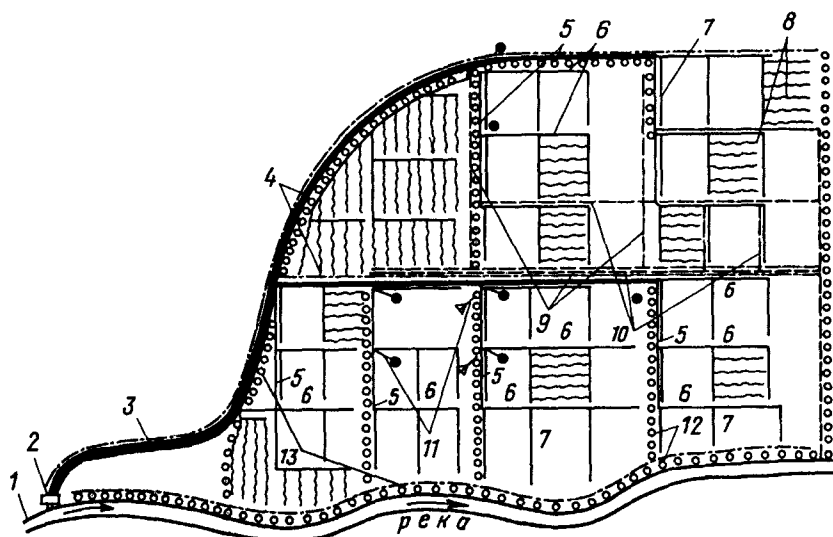


Рис. 29. Оросительная система и ее элементы (В.В. Колпаков, И.П. Сухарев, 1981):

1 — источник орошения; 2 — головное сооружение; 3 — магистральный канал; 4 — межхозяйственные распределители; 5 — хозяйственные распределители; 6 — распределители севооборотных участков; 7 — участковые распределители; 8 — временные оросители; 9 — межхозяйственная и внутрихозяйственная водосбросные сети; 10 — полевые и хозяйственные дороги; 11 — сооружения на оросительной и дорожной сетях; 12 — полевые защитные полосы; 13 — вспомогательные устройства

канал состоит из *х о л о с т о й* (от головного сооружения до первого распределительного канала) и *р а б о ч е й* (от которой отходят распределительные каналы) частей (рис. 1.16).

Непосредственно к орошаемому полю вода из магистрального канала поступает по распределительным каналам, временных оросительной и поливной сетей.

Распределительная проводящая сеть каналов в оросительной системе состоит из межхозяйственных и хозяйственных каналов.

Межхозяйственные каналы распределяют воду, подаваемую магистральным каналом, между всеми хозяйствами системы. Хозяйственные каналы подают воду каждому хозяйству, а при больших размерах хозяйств — на отдельные крупные поливные участки в хозяйстве (межучастковый канал).

Участковый распределитель подают воду только на один севооборотный участок. Групповой ороситель (или трубопровод) забирает воду из участкового распределителя и подают ее на поле севооборота. Групповой ороситель — последний элемент проводящей сети.

Временная оросительная регулирующая сеть внутри крупных поливных участков состоит из временных ежегодно возобновляемых оросителей (рис. 1.25), выводных борозд и поливных борозд и полос, распределяющих воду на полях и переводящих ее при поливе в почвенную влажность нужной величины. Оросительная регулирующая сеть при дождевании состоит из закрытых или передвижных трубопроводов и передвижных дождевальных устройств, а при подпочвенном орошении — из закрытых труб. Временные оросители перед поливом нарезают канавокопателями, а осенью после уборки заравнивают. Распределительные или секционные борозды забирают воду из выводной борозды и подают ее на секцию борозд. Секция обычно объединяет до 20 поливных борозд. Поливная сеть — это поливные борозды, полосы, чеки, позволяющие распределить воду по полю. К ней относятся и внутрипочвенные увлажнители.

3.4.2. КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНАЯ И ОГРАДИТЕЛЬНАЯ СЕТИ

Водосбросная дренажная (коллекторно-дренажная) сеть служит для удаления с орошаемых площадей излишней поверхностной воды, образующейся при опорожнении каналов, при авариях, ливнях и др. Она обеспечивает также стабильное положение уровней грунтовых вод на орошаемом массиве, ликвидирует их возможный подъем при орошении, заболачивание и вторичное засоление поливных земель. Эта сеть прокладывается по пониженным отметкам орошаемых земель в соответствии с расположением постоянных оросительных каналов. Главный коллектор водосбросной сети должен быть соединен с соответствующим водоприемником.

Таким образом, оросительные системы забирают воду из вод источника, транспортируют ее на орошаемый массив, регулируют водный, солевой, температурный и другие режимы почв. Современная оросительная система осуществляет двойное регулирование: при недостатке воды в почве подводит и распределяет ее по площади, а при избытке или нежелательном подъеме грунтовых вод отводит их через коллекторно-дренажную сеть.

Оградительная сеть оросительной (и осушительной) системы состоит из нагорных, нагорно-ловчих и ловчих каналов (рис. 30). Нагорные каналы защищают площадь оросительной системы от затопления и повреждения сооружений поверхностными водами водосбора в период прохождения ливневых дождей, снеготаяния и др. Ловчие каналы (дрены) перехватывают полностью или частично грунтовый поток и понижают его уровень. Нагорно-ловчие каналы выполняют одновременно перехват по-

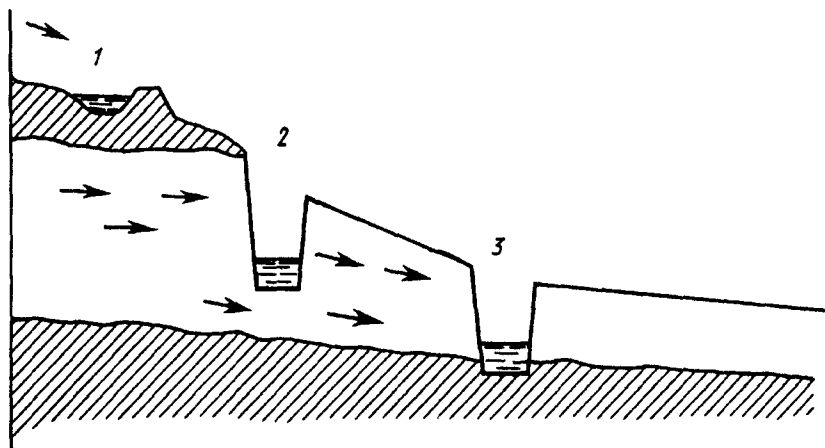


Рис. 30. Нагорный (1) и ловчие (2 — несовершенный, 3 — совершенный) каналы

верхностных и грунтовых вод. Канал или дрена называют совершенными, если они доведены до водоупора или врезаны в его толщу (рис. 34). Если дно канала или дрены находится выше водоупорного горизонта и часть грунтового потока свободно мигрирует на орошаемую (осушаемую) территорию, то такой канал называется несовершенным, или висячим.

Дренажную функцию на оросительной системе осуществляют следующие каналы.

Главный водосбросной канал, или главный коллектор, собирает и отводит все сбросные и дренажные воды с оросительной системы. В отличие от магистрального оросительного канала, который занимает командные, наиболее высокие отметки на оросительной системе, его прокладывают по самым низким отметкам орошаемой территории.

Межхозяйственный водосбросной канал, или коллектор, принимает и отводит сбросные и дренажные воды с территории нескольких хозяйств.

Хозяйственный водосбросной канал, или коллектор, принимает и отводит сбросные и дренажные воды с территории одного хозяйства.

Межучастковый водосбросной канал, или коллектор, принимает и отводит сбросные и дренажные воды, поступающие с территории, закрепленной за севооборотными участками.

Участковый водосбросной канал, или коллектор, принимает и отводит сбросные и дренажные воды, поступающие с территории, закрепленной за одним севооборотным участком.

Очевидно, что на небольшой оросительной системе межхозяйственный канал может быть магистральным. На малой оросительной системе одного хозяйства магистральный канал вместе с тем является и хозяйственным.

В известном смысле сеть ирригационных каналов, транспортирующих поливные обогащенные кислородом пресные оросительные воды к массиву орошения, регулирующая сеть, состоящая из временных оросителей, поливных полос и борозд, и коллекторно-дренажная сеть напоминают кровеносную систему живого организма. Здесь уместно вспомнить известную формулу Г.Н. Высоцкого (1927) о том, что «вода в почве... есть настоящая кровь живого организма». Оросительная система в целом представляет как бы разные отделы кровеносных сосудов (см. рис. 31). Действительно, ирригационные каналы транспортируют свежую воду — артериальную кровь, поступающую в почву через систему кровеносных капилляров: регулирующие оросительные каналы (временные и картовые оросители), поливные борозды и полосы.

Вода, отдав кислород, транспортируя продукты реакций, водорастворимые соли (обменные шлаки), поступает в коллекторно-дренажную сеть оросительной системы — ее венозный отдел. Эффективность орошаемого земледелия на освоенном для ирригации массиве находится в непосредственной зависимости от слаженной работы этой системы каналов разного назначения.

3.4.3. СООРУЖЕНИЯ НА КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Только каналы, однако, не могут обеспечить нормальную работу оросительной системы. Для ее функционирования необходимо одновременно с транспортом водных масс регулировать скорость их движения, глубину наполнения каналов, перераспределять объемы воды в соответствии с хозяйственной целесообразностью, обеспечивать ее выпуск на поля, регулировать содержание в оросительной воде твердого стока, решать другие вопросы. Все эти задачи решают с помощью различных по своему назначению специальных сооружений на оросительной сети.

Сооружения на каналах оросительной сети предназначены для регулирования и управления расходом воды (водовыпуски и регуляторы), регулирования горизонта воды в канале (перегораживающие и подпорные сооружения, водосбросы), регулирования скорости течения воды в каналах (быстроходы, перепады), транспорта воды через препятствия (акведуки, дюкеры, трубы), для осаждения взвешенных в воде частиц твердого стока (отстойники).

В зависимости от назначения сооружения на каналах можно объединить в следующие группы (схема 2).

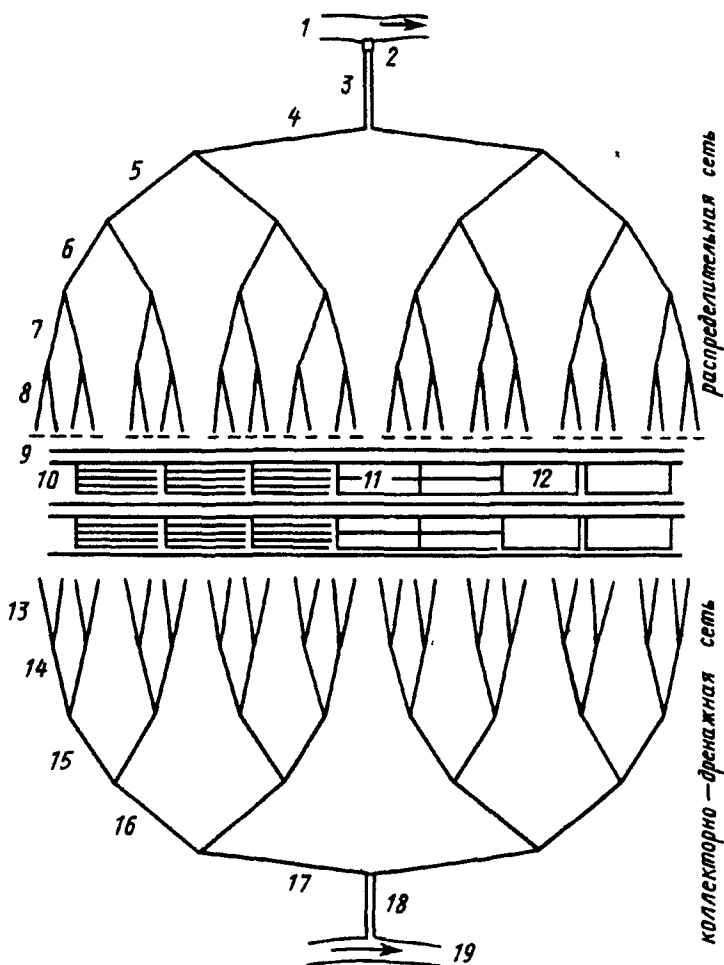


Рис. 31. Схема оросительной системы открытого типа

Условные обозначения: 1 — водосточник, 2 — водозаборное сооружение; каналы оросительные: 3 — магистральный (главный), 4 — междохозяйственные, 5 — хозяйственные, 6 — межучастковые, 7 — участковые, 8 — групповые, 9 — временные и картовые оросители; поливная сеть: 10 — борозды, 11 — полосы, 12 — чеки; канал коллекторно-дренажной сети: 13 — групповые, 14 — участковые, 15 — межучастковые, 16 — хозяйственные, 17 — междохозяйственные, 18 — главный коллектор, 19 — водоприемник

Сооружения по регулированию расходов — водовыпуски, водомеры и вододелители.

Регуляторы-водовыпуски устанавливают в голове всех распределительных каналов и временных оросителей для регулирования расходов (рис. 32, 1.17). Регуляторы-водовыпуски могут быть открытыми и закрытыми (трубчатыми). Вододелители устраива-

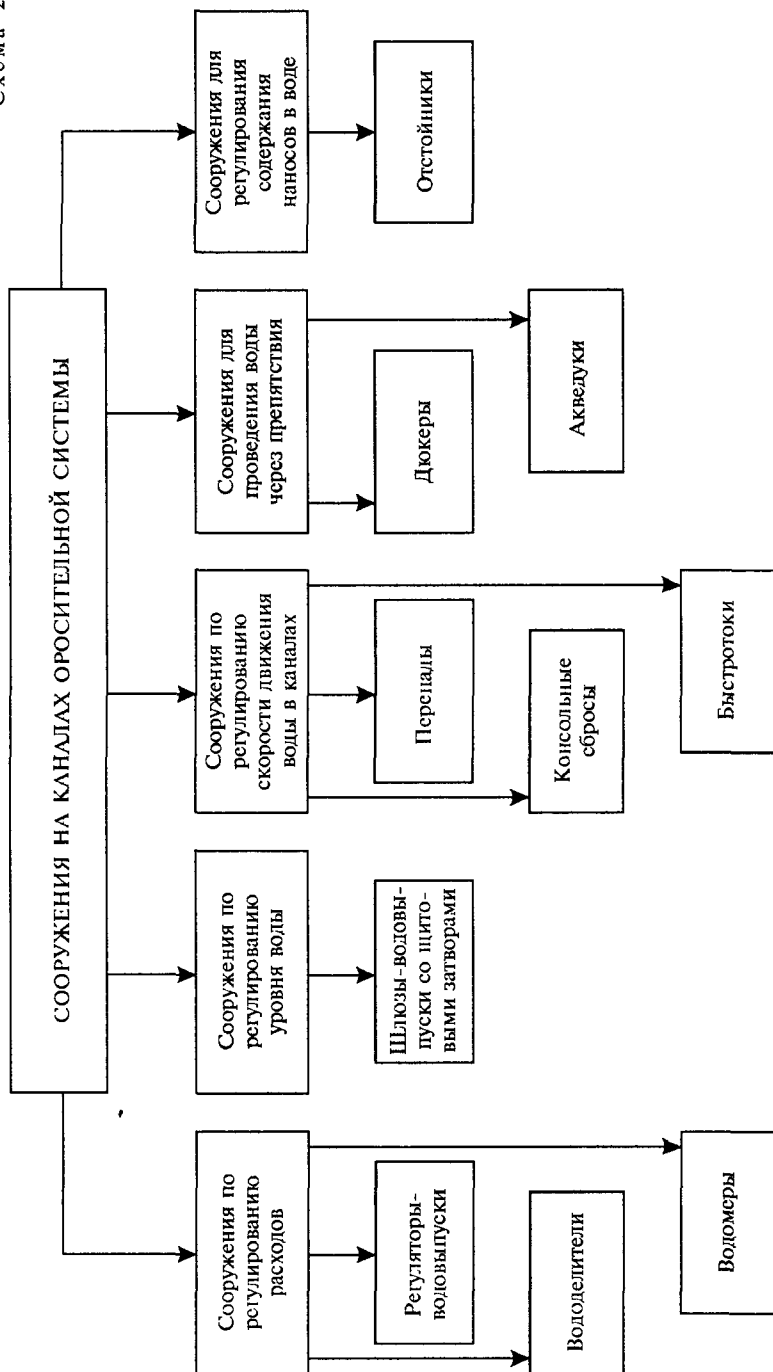




Рис. 32. Вододелитель с регулятором и подпорным сооружением на Правогорлыкской оросительной системе (Ставропольский край)

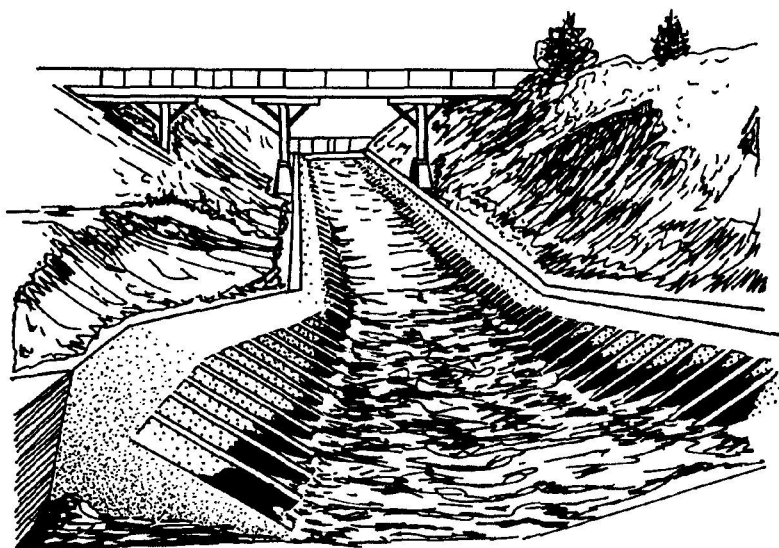


Рис. 33. Акведук и быстроток оросительной системы (А.А. Черкасов, 1958)

ют в местах разветвления канала. Водомерные устройства устанавливают на сооружениях, подающих воду на севооборотный участок или в хозяйство.

Подпорные и перегораживающие сооружения по регулированию уровня воды. Эти функции на оросительных каналах выполняют шлюзы - водовыпуски. Они могут частично или полностью перекрывать движение воды по каналу.

Сооружения по регулированию скорости движения воды в каналах. Эта группа сооружений на открытых каналах оросительных систем представлена перепадами, быстротокками, консольными сбросами, обеспечивающими изменение уклона потока на коротком расстоянии и за счет этого — резкое гашение скорости движения воды в канале (рис. 1 18).

Сооружениями для проведения воды через препятствия являются акведуки и дюкеры. Акведуки (рис. 33) служат для переброски воды над каким-либо препятствием, например над поймой, оврагом, дорогой и т.д. Дюкер предназначен для пропуска воды под препятствием, например, под другим каналом, под дорогой и т.д. (рис. 34, 1 21).

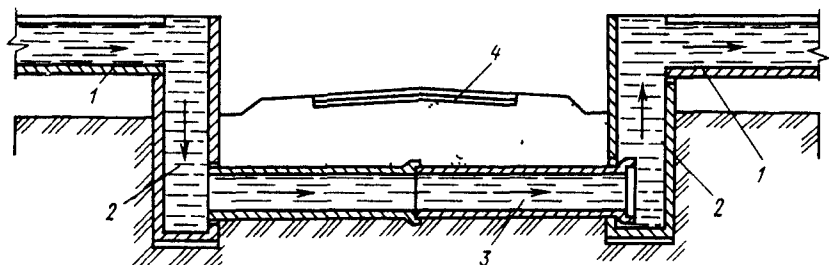


Рис. 34 Дюкер. Пересечение лоткового канала с дорогой (схема)
1 — лоток, 2 — котодцы, 3 — железобетонные трубы, 4 — дорога

Сооружения для регулирования содержания наносов в воде обычно представлены отстойниками. Отстойниками называют расширенные участки каналов (отстойные камеры), в которых происходит резкое снижение скорости потока и выпадение на дно твердого стока. Мосты - проезды над каналами различного порядка.

3.4.4. ДОРОЖНАЯ СЕТЬ, ЛЕСОПОЛОСЫ. КОЭФФИЦИЕНТ ЗЕМЕЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Дорожная сеть на оросительной системе необходима как для ее эксплуатации, так и для выполнения всего цикла сельскохозяйственных работ. Дороги создают вдоль каналов различного по-

рядка. Они получают их названия, т.е. главная дорога — вдоль главного оросительного канала и главного коллектора, межхозяйственная — вдоль межхозяйственного канала и коллектора и т.д.

Дороги вдоль крупных каналов имеют твердое покрытие, внутрихозяйственные — гравийное, полевые (грунтовые) — без покрытия, вдоль постоянных каналов, границ полей, лесных полос. Вдоль дорог, крупных каналов, вокруг водохранилищ на оросительной системе высаживают древесные культуры. Они защищают почву от водной эрозии, дефляции, выполняют функцию биологического дренажа, улучшают культурное состояние агроландшафта, создают рекреационные зоны на оросительной системе.

Составные элементы оросительной системы могут изменяться в зависимости от назначения и вида системы, техники полива. Так, на закрытых системах с применением дождевальной техники отсутствует временная оросительная сеть. Составным элементом автоматизированных систем являются линии электропередач. Элементы оросительной системы тесно взаимосвязаны, предшествующие элементы определяют параметры последующих. Водопотребление культур на орошаемом массиве определяет размеры проводящей сети, т.е. распределителей различного порядка, расход по магистральному каналу и его параметры. Последний, в свою очередь, определяет параметры головного сооружения.

На оросительной системе непосредственно поливаемая площадь, которая используется для размещения сельскохозяйственных культур, носит название *нетто*. Площадь всего орошаемого массива включает и так называемые площади отчуждения, которые необходимы для размещения каналов, дорог, лесополос, хозяйственных построек и сооружений. Общая площадь орошаемого массива вместе с площадью отчуждения является площадью *брутто*. Отношение площади *нетто* к площади *брутто* называется коэффициентом земельного использования (КЗИ). Он отражает уровень рентабельности оросительной системы.

4. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КАНАЛОВ И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Независимо от способа орошения оросительные системы обычно характеризуются наличием каналов различного порядка и других сооружений, регулирующих и транспортирующих поливную воду к орошаемому полю.

4.1. КОНСТРУКЦИЯ КАНАЛОВ

4.1.1. ОБЩИЕ ПАРАМЕТРЫ

Каналы на оросительной системе выполняют три важные функции: транспортируют воду, способствуют перераспределению тока поливной воды в почвенную влагу, обеспечивают дренаж орошаемой территории и отвод избыточных вод.

Размеры и пропускную способность оросительных каналов устанавливают по графику гидромодулей, составленных для отдельных севооборотных участков. Поэтому расчет оросительных каналов начинается с проводящих каналов, расположенных на территории каждого севооборотного участка, т. е. с групповых распределителей. При поверхностном способе полива расход воды на севооборотном участке рассчитывают по формуле

$$Q_{\text{сев}} = q \cdot \omega,$$

где q — расчетная ордината укомплектованного графика гидромодуля, л/с · га; ω — площадь, занятая культурами севооборота, га. Таким образом, каналы оросительной системы транспортируют объем воды, соответствующий расчетному водопотреблению сельскохозяйственных культур в определенной системе севооборотов на год определенной обеспеченности. В зависимости от почвенных и геологических условий, рельефа местности и других факторов применяют каналы различной конструкции.

Все каналы мелиоративных систем имеют следующие элементы (рис. 35).

Ширина канала по дну (a). Для небольших каналов она равна 0,2—1,0 м и часто определяется типом используемого канавокопателя; для крупных каналов — от 5 до 10 м и более.

Глубина канала (h). Для малых каналов — 0,6—1,0 м, для крупных каналов — 3—4 м и реже больше.

Ширина канала поверху (b). Для небольших каналов — 0,8—2,0 м, для крупных — 10—15 м и более.

Бровка канала — линия перехода горизонтальной плоскости к откосу канала. Если каналы имеют несколько уступов (берм), то у них существует и несколько бровок.

Бермы, или уступы, на каналах устраивают для придания большей устойчивости откосам.

Кавальер — дамба из извлеченного грунта, отсыпанная при строительстве канала. Ширина кавальера сверху для небольших каналов равна 0,4—1,0 м, для крупных — 3—6 м и более. Дамбы крупных каналов используют для устройства дорог, проезда и прохода транспорта и экскаваторов при эксплуатации и ремонте каналов, перемещении передвижных насосных станций.

Стенки каналов имеют откосы различной крутизны. Крутизна откоса характеризуется углом откоса, коэффициентом откоса и его заложением (рис. 36). Угол, образованный линией откоса с горизонтом, называется углом откоса. Котангенс угла откоса является коэффициентом откоса. Заложением откоса называется его горизонтальная проекция.

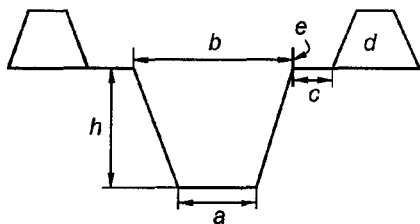


Рис. 35. Элементы канала:

a — ширина канала по дну; b — ширина канала по верху; c — берма; d — кавальер; e — бровка канала; h — глубина канала

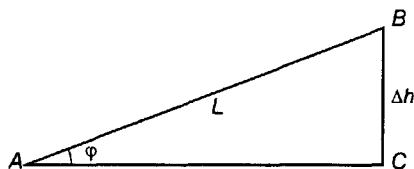


Рис. 36. Характеристики откоса канала:

φ — угол откоса; $AC/BC = \operatorname{ctg} \varphi$ — коэффициент откоса; $AC = BC \cdot \operatorname{ctg} \varphi$ — заложение откоса; уклон $i = BC/AB = \Delta h/L$

Величина откоса различна в грунтах различного генезиса и состава, кроме того, она зависит от назначения канала. Это объясняется следующим обстоятельством. В водопроводящих каналах вода фильтруется из канала в толщу грунта, давление направлено в сторону материнских и подстилающих пород, слагающих ложе канала; в дренажном водоотводящем канале давление воды имеет противоположное направление. Поэтому при прочих равных условиях водоотводящие каналы всегда имеют более пологие откосы.

Для расчета параметров канала и выбора откоса необходимо учитывать угол естественного откоса грунта. Углом естественного откоса называют угол между поверхностью грунта после осыпания и сползания грунта и горизонтом. Для большей устойчивости стенок канала целесообразно устраивать откосы более пологие, чем угол естественного откоса, или равные ему.

Для практических целей наибольший интерес представляют значения угла и коэффициента естественного откоса грунта под водой. Коэффициенты откоса грунта определяют аналитически. При проектировании оросительных каналов обычно используют следующие значения коэффициентов откоса: для глин и суглинков — 1,0–1,25, для супесей — 1,5–1,75, для песков — 1,75–2,25. Минимальное значение относится к каналам с малой глубиной наполнения (менее 1 м), большее — к каналам с глубиной наполнения 2–3 м.

4.1.2. ФОРМЫ КАНАЛОВ

Почвогрунтовые условия, характер облицовки и другие факторы определяют форму поперечного сечения каналов. Она может быть прямоугольной, трапециoidalной, параболической, полигональной, составной, треугольной и ложбинообразной (рис. 37). Прямоугольные каналы устраивают в скальных грунтах. Каналы в рыхлых отложениях обычно имеют трапециoidalную форму. Земляные каналы в процессе эксплуатации приобретают параболическую форму. Треугольная форма свойственна каналам, нарезаемым каналокопателями плужного типа (небольшим распределителям, временным оросителям, выводным и распределительным бороздам). Параболическое сечение обычно придает каналам из сборных железобетонных лотков.

Открытые каналы могут быть земляными, земляными с бетонным или другим покрытием (полиэтиленовая пленка, глинистый экран и др.) и железобетонными.

Оросительные каналы характеризуются уровнем командования, т.е. превышением уровня воды в канале над самой высокой отметкой поверхности орошаемого участка, на который должна подаваться вода. Уровень командования при поливе по бороздам должен быть не менее 5–10 см, по полосам — 10–15, при затоплении по чекам — не менее 20–25 см.

Открытые земляные каналы мелиоративных систем устраивают в выемке, в полувыемке-полунасыпи и в насыпи (рис. 38). Каналы в выемке наиболее часто строят для подводящей, водосбросной и дренажной сетей, т.е. в таких случаях, когда не возникает необходимости иметь командование или командование легко достигается подпором воды или ее подачей на необходимую отмет-

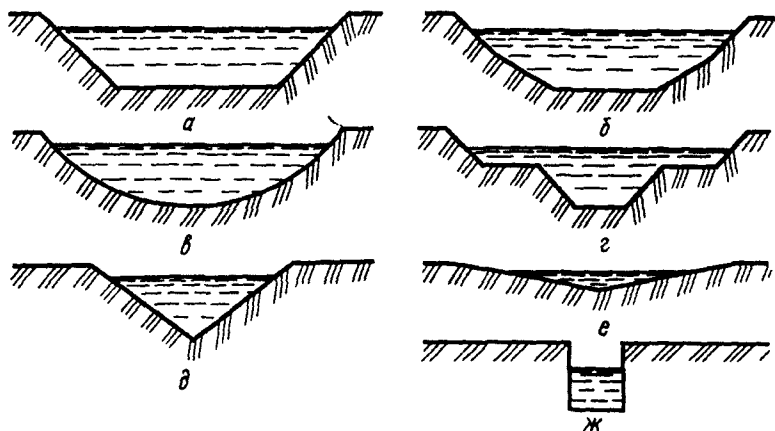


Рис. 37. Формы поперечного сечения каналов:
 а — трапециидальная; б — полигональная; в — параболическая; г — составная;
 д — треугольная; е — ложбинная; ж — прямоугольная

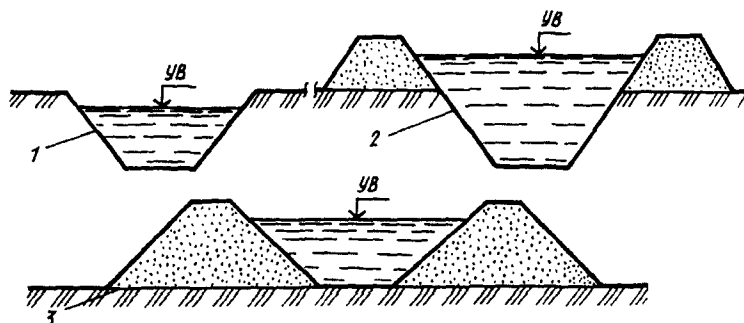


Рис. 38. Канал в выемке (1), в полувыемке-полунасыпи (2), в насыпи (3)

ку насосами. Они предпочтительнее других каналов при машинном водозаборе.

Канал в полувыемке-полунасыпи отличается тем, что часть воды по такому каналу пропускается в дамбах (кавалерах). Этот вид каналов дает наименьшую площадь отчуждения и является типичным каналом регулирующей сети. Он легко обеспечивает необходимое командование и экономичное распределение объема извлекаемого грунта.

Канал в насыпи устраивают при выровненном безуклонном рельефе, с тем чтобы создать необходимый уровень командования над орошаемым полем. Канал в насыпи обычно обладает повышенной фильтрацией и, кроме того, отчуждает значительную площадь сельскохозяйственных земель для разрывов грунта при его строительстве.

4.1.3. ЖИВОЕ СЕЧЕНИЕ КАНАЛА, ПЕРИМЕТР СМОЧЕННОСТИ, ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАДИУС

Живым сечением канала (потока) называется площадь поперечника канала, по которому протекает вода. Его определяют как площадь геометрической фигуры, чаще как площадь треугольника (половина произведения основания на высоту), трапеции (полусумма оснований на высоту) и т. п. Живое сечение канала может быть рассчитано с использованием величины коэффициента откосов канала. Площадь живого сечения каналов треугольной формы

$$F = h^2 \cdot \operatorname{ctg} \varphi,$$

а площадь живого сечения канала трапецеидальной формы

$$F = (b + h \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \cdot h,$$

где F — площадь живого сечения, h — глубина воды в канале, $\operatorname{ctg} \varphi$ — коэффициент откоса, b — ширина канала по дну. Если сечение канала имеет неправильную форму, то оно разбивается вертикалями через равное расстояние на элементарные фигуры, которые можно представить как сумму трапеций. Для определения общей площади живого сечения канала определяют (с некоторым приближением) площадь элементарных трапеций и находят их сумму по формуле

$$F = a (h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_{n-1} + h_n),$$

где a — равное расстояние между вертикалями h_1 , h_2 , h_3 и т.д.

Смоченным периметром канала P называется длина линии соприкосновения воды с дном и откосами канала. Периметр смоченности канала определяет потери воды на фильтрацию из канала, сопротивление ложа движению воды и др.

Периметр смоченности в канале треугольного сечения

$$P = 2h \cdot \sqrt{(\operatorname{ctg} \varphi)^2 + 1}.$$

Периметр смоченности в канале трапецеидального сечения равен

$$P = b + 2h \cdot \sqrt{(\operatorname{ctg} \varphi)^2 + 1},$$

где P — периметр смоченности, h — высота воды в канале, b — ширина канала по дну, $\operatorname{ctg} \varphi$ — коэффициент откоса.

Гидравлический радиус R — отношение площади живого сечения к периметру смоченности $R = F/P$. Значения гидравлического радиуса необходимы для расчета каналов и движения воды в каналах.

4.1.4. РАСХОД ВОДЫ В КАНАЛЕ

Для расчета расхода воды в канале необходимо установить уклон потока и его скорость, площадь живого сечения. В водотоке поверхность воды имеет определенный уклон. Уклоном между двумя точками называется разность высот между ними, отнесенная к расстоянию между этими точками. Если в треугольнике ABC (см. рис. 36) точка B имеет высоту h_1 , а точка A — высоту h_2 , то превышение точки B над точкой A будет равно $\Delta h = h_1 - h_2$. В этом треугольнике расстояние между A и B ($AB = L$) — гипотенуза. Таким образом, уклон $i = \Delta h / L$. Поэтому i можно рассматривать как синус угла φ (отношение катета противолежащего углу к гипотенузе). Уклон — безразмерная величина. Он выражается обычно десятичной дробью.

4.1.5. СКОРОСТЬ ВОДЫ В КАНАЛЕ

В канале (потоке) возможно ламинарное движение воды, при котором отдельные струйки движутся параллельно друг другу в направлении общего движения потока. С увеличением скорости движение становится турбулентным: в потоке образуются завихрения, отдельные струйки потока могут двигаться в направлении, противоположном общему движению потока. Скорость, при которой ламинарное движение воды в потоке переходит в турбулентное, называется критической.

Движение воды в канале должно осуществляться при некоторых средних оптимальных значениях, поскольку при малых скоростях из потока на дно оседает много взвешенных минеральных частиц и происходит быстрое заиливание канала, а при больших скоростях возникает угроза его эрозии и размыва.

Минимальные скорости потока воды в канале должны исключать возможность осаждения на его смоченной поверхности частиц твердого стока определенного размера и вызывать опасность заиливания проводящих элементов в ходе эксплуатации оросительной системы. В любом случае скорость воды в канале не должна быть меньше 0,25–0,30 м/с.

Максимальная допустимая скорость воды в канале обусловлена грунтовыми условиями. В табл. 9 приведены максимально допустимые скорости воды в каналах, заложенных в некоторых грунтах и материалах.

Скорость потока определяется расчетом или экспериментально. Для расчета скорости равномерного движения воды в канале используют формулу Шези $V = C \sqrt{R \cdot i}$, где V — скорость потока (м/с, см/с и т.д.); C — скоростной коэффициент; R — гид-

равлический радиус; i — уклон потока. Скоростной коэффициент учитывает шероховатость дна и стенок канала и таким образом зависит от грунтовых условий. Наиболее распространенной формулой для расчета C является формула Павловского

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y,$$

где R — гидравлический радиус; n — коэффициент шероховатости; y — показатель, зависящий от R и n .

При $R < 1$ $y = 1,5 \sqrt{n}$.

При $R > 1$ $y = 1,3 \sqrt{n}$.

Коэффициент шероховатости n приведен в специальных справочниках.

4.1.6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И РАСХОДА ВОДЫ В КАНАЛЕ (ПОТОКЕ)

Расход потока Q — объем воды, протекающий через его поперечное сечение в единицу времени $Q = V \cdot F$, где Q — расход; V — скорость; F — живое сечение потока.

Расход воды в канале может быть определен с помощью водосливов различной конструкции или путем непосредственного изучения скорости потока и его живого сечения.

4.1.6.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ В КАНАЛЕ С ПОМОЩЬЮ ВОДОСЛИВОВ

Водосливом называют водомерное устройство, состоящее из подпорной стенки, перегораживающей поток, через специальный вырез которой происходит свободный перелив воды. Важное преимущество метода определения расходов потока с помощью водосливов заключается в том, что определение расхода воды можно производить только по величине напора, который создается выше водослива. Если отношение напора H к толщине стенки водослива C

Таблица 9

Максимально допустимые скорости воды в каналах в различных почвогрунтовых и других условиях

Ложе канала	Максимально допустимые скорости воды в канале, м/с
Илистые отложения	$\leq 0,20$
Песок	0,25–0,50
Средний суглинок	0,45–0,65
Тяжелый суглинок	0,50–0,70
Глина	0,50–0,80
Бетон	2,00–8,00
Чернозём (гумусовый горизонт)	0,35–0,40

$H/C > 2$, то такой водослив называется водосливом с тонкой стенкой. При $H/C < 2$ водослив называется водосливом с широким порогом.

Водосливы называются незатопленными, если уровень воды в нижнем бьефе ниже его порога.

По форме выреза, через который проходит поток, водосливы подразделяют на прямоугольные, трапециевидные, треугольные и др.

В ирригационной практике наибольшее распространение получили два вида водосливов, отличающихся по форме выреза, через который переливается вода: трапециевидный водослив Чиполетти и треугольный водослив Томпсона (рис. 39 а, б; 40).

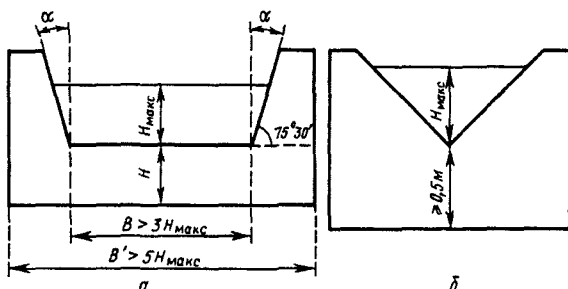


Рис. 39. Водосливы Чиполетти с трапециевидным вырезом (а) и Томпсона с треугольным вырезом (б)

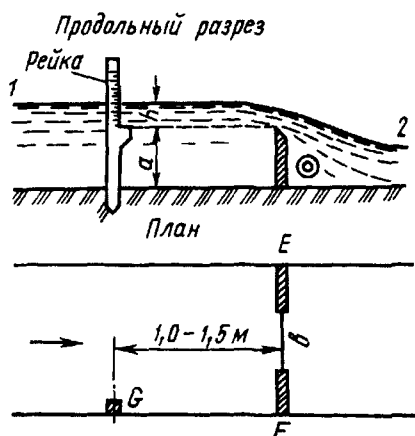


Рис. 40. Схема установки измерительного водослива:

1 — уровень верхнего бьефа; 2 — уровень нижнего бьефа; h — напор; b — ширина порога водослива; a — высота порога водослива; G — водомерная рейка; EF — водослив (в плане)

Водослив Чиполетти — незатопленный трапециевидный водослив с тонкой стенкой. Угол бокового откоса выреза водослива $75^\circ 30'$, ширина порога B 0,3–1,5 м, напор H 0,025–0,60 м. Расчет расхода воды в канале производят по формуле

$$Q = 1,86 \cdot B \cdot H^{1,5},$$

где Q — расход воды в канале, л/с, m^3/c ; B — ширина порога, м; H — напор, м.

При установке водослива в канале необходимо создать условия ламинарного движения воды на подходе к водосливу. Это условие обеспечивают устройством перед водосливом «успокоителя» (не-

большого расширения). Напор воды определяют по показаниям рейки, которую устанавливают в успокоительной камере вне зоны спада воды, обусловленной ее истечением через водослив. Ноль рейки водослива должен строго совпадать с отметкой основания порога водослива. Напор воды должен быть меньше $1/3$ ширины порога, но больше 2,5 см (рис. 39, б). Для измерения малых расходов (до 20 л/с) используют водосливы Томпсона с треугольным вырезом. Если угол выреза равен 90° , то расчет производят по формуле $Q = 1,40 \cdot H^{2,5}$. Существуют водосливы и с иными формами выреза водосливного отверстия.

4.1.6.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ В КАНАЛЕ ПО СКОРОСТИ ПОТОКА И ЖИВОМУ СЕЧЕНИЮ

Расход воды в канале экспериментально можно определить замерами скорости потока и живого сечения. Скорость потока измеряют поплавком, батометром и гидрометрической вертушкой. Определение скорости п о п л а в к о м производят между двумя гидрометрическими постами. Скорость прохождения поплавка между постами принимают за скорость потока. Вместе с тем очевидно, что у берегов и у дна скорость потока ниже, чем на фарватере. Для того чтобы получить осредненные данные, часто используют глубинные поплавки (рис. 41). Глубинный поплавок состоит из двух соединенных тонкой нитью поплавков, верхнего (поверхностного) и нижнего (глубинного), опускаемого на определенную глубину.

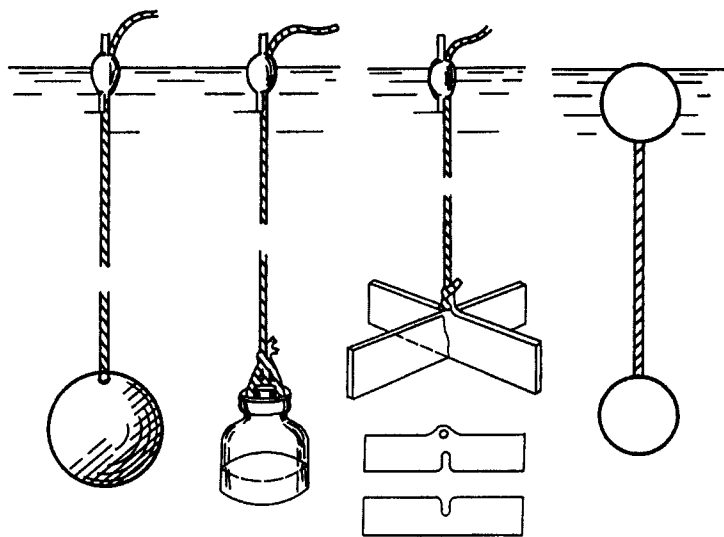


Рис. 41. Типы глубинных поплавков (из стеклянных шариков, бутыли, пластмассовых пластин, металлических шаров)

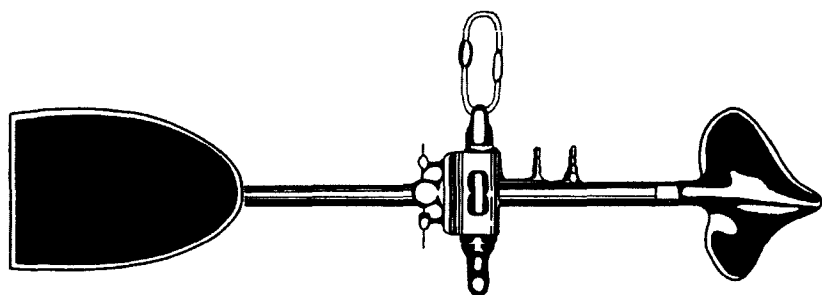


Рис. 42. Гидрометрическая вертушка Жестовского ВЖМ-3

Скорость движения такого поплавка приблизительно равна скорости течения воды на глубине погружения глубинного поплавка. Верхний поплавок лишь фиксирует положение глубинного. Поверхностный поплавок изготовляют из пенопласта или пробки; глубинный — из стеклянного шарика, целлулоидных пластин и других материалов.

Измерения скорости можно выполнить батометром и гидрометрической вертушкой при послойном измерении абсолютных значений ее величин в потоке. Батометр Глушкова представляет собой резиновый мешок вместимостью 1 л, в который через трубку диаметром 6 мм поступает вода. Батометр тарируют и устанавливают зависимость между скоростью потока и количеством воды, поступающей в мешок.

Измерение скорости потока в производственных условиях чаще производят с помощью гидрометрической вертушки Н.Е. Жестовского. Она состоит из корпуса со счетным механизмом,

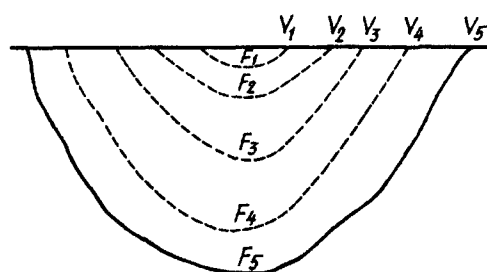


Рис. 43. Изотахы (V — скорости потока; F — площади с равными скоростями)

лопастей и стабилизатора (рис. 42). Стабилизатор удерживает вертушку против потока воды, а по числу оборотов лопастей с использованием тарировочных таблиц судят о скорости потока. С помощью батометра и вертушки можно определять скорости на разных глубинах потока. Линии, объединяющие точки потока с равными скоростями,

называются *изотахы* (рис. 43). Зная скорости разных зон потока и их площадь, можно с достаточной для решения практических задач точностью рассчитать его расход.

4.1.7. ПОТЕРИ ВОДЫ НА ФИЛЬТРАЦИЮ ИЗ КАНАЛОВ

Движение воды в каналах происходит в разных породах и материалах, которые обладают различной порозностью, трещиноватостью и водопроницаемостью. Поэтому коэффициент полезного действия и экономичность оросительных систем, состояние орошаемой территории, ее вторичное засоление и заболоченность в значительной мере определяются потерями воды на фильтрацию из оросительных каналов различного порядка. Количественно оценить потери воды на фильтрацию из канала достаточно просто. С этой целью в двух створах изучаемого отрезка канала определяют расходы воды и по разности расходов в верхнем и нижнем створах рассчитывают ее потери. Если при этом известна площадь смоченной поверхности канала, то делением потерь расхода воды между двумя створами на смоченную площадь канала можно рассчитать фильтрацию на исследуемом участке:

$$K_{\phi} = \frac{Q_1 - Q_2}{S} = \frac{\Delta Q}{S},$$

где K_{ϕ} — фильтрация из канала, м/с; Q_1, Q_2 — расходы соответственно в верхнем и нижнем створах, м³/с, л/с; ΔQ — потери воды на фильтрацию между двумя створами; S — площадь смоченной поверхности канала между двумя створами, м².

А.Н. Костяковым была предложена эмпирическая формула для определения Δ — процента потерь расхода на 1 км длины канала:

$$\Delta = \frac{A}{Q^m},$$

где Q — расчетный расход воды (нетто) в канале (м³/с); коэффициенты A и m приняты равными для малопроницаемых грунтов — $A = 0,7, m = 0,3$; для средних по водопроницаемости $A = 1,9, m = 0,4$; сильнопроницаемых — $A = 3,4$ и $m = 0,5$. Расчет по формуле А.Н. Костякова возможен при отсутствии данных о параметрах канала.

Для расчета абсолютных значений потерь воды на фильтрацию при отсутствии подпора и глубоком залегании грунтовых вод с учетом известных данных о свойствах почвогрунтовой толщи расчет потерь на фильтрацию может быть выполнен по формуле Костякова

$$W = K_{\phi} \left[b + 2\sqrt{h} \cdot \sqrt{(\text{ctg } \varphi)^2 + 1} \right],$$

где W — потери воды на фильтрацию на 1 м канала, м³/с; K_{ϕ} — коэффициент фильтрации, м/с; b — ширина канала по дну, м; $\sqrt{h}$ — поправка на капиллярность почвы (изменяется от 1,1 до 1,4); h — глубина воды в канале, м; $\text{ctg } \varphi$ — коэффициент откоса.

Расходы брутто и нетто можно определить прямыми экспериментальными замерами расходов потока в голове и на выходе из канала. Эти данные позволяют произвести расчет коэффициента полезного действия оросительного канала:

$$\eta_k = \frac{Q_{\text{нт}}}{Q_{\text{бр}}}.$$

Коэффициент полезного действия оросительной системы в целом — отношение объема воды, поданной непосредственно на поля, к объему воды, поступившей в голову системы:

$$\eta_{\text{сист}} = \frac{\Sigma Q_{\text{нт}} \cdot t}{Q_{\text{бр}} \cdot T},$$

где $\Sigma Q_{\text{нт}}$ — сумма расходов воды, подаваемой на поля; t — продолжительность подачи воды на поля в течение оросительного периода, с; T — продолжительность работы магистрального канала, с; $Q_{\text{бр}}$ — расход воды в голове магистрального канала или системы, $\text{м}^3/\text{с}$.

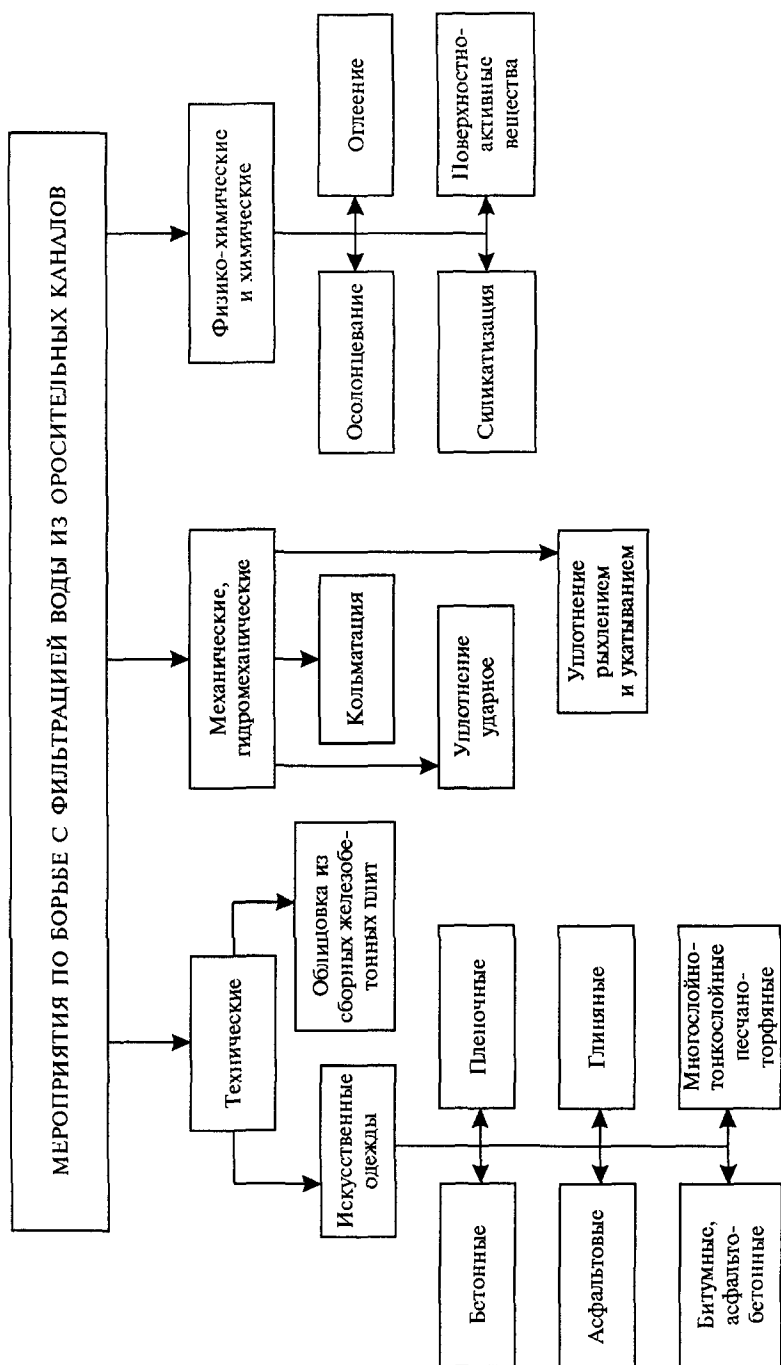
В соответствии с нормативами КПД каналов оросительной системы должен быть равным для каналов в земляном русле — 0,90; в бетонной, пленочной одежде или асфальтобитумной одежде, а также в железобетонных лотках — 0,96; для трубопроводов — 0,98. В целом КПД оросительных систем с каналами в земляном русле должен быть не менее 0,75–0,80. При меньших значениях КПД систем на оросительных каналах применяют противофильтрационные мероприятия.

4.1.8. ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА КАНАЛАХ В ЗЕМЛЯНОМ РУСЛЕ

Мероприятия по борьбе с высокой фильтрацией из оросительных каналов можно дифференцировать на три следующие группы: технические, механические, химические и физико-химические (схема 3).

Технические мероприятия по борьбе с фильтрацией заключаются в создании на поверхности канала или в теле грунта, слагающего русло канала, противофильтрационной одежды из искусственных или привезенных материалов с низкой водопроницаемостью. Такими материалами являются бетонные одежды, пленки, асфальтовые, битумные, глиняные покрытия, а также многослойно-тонкослойные экраны.

Бетонные облицовки изготавливают толщиной 6–10 см, покрытие из сборного железобетона — 6 см (рис. 44). Бетонные и железобетонные облицовки делают однослойными, на ответственных местах канала — многослойными. Возможно сочетание бетонных



и пленочных покрытий. Бетонные и железобетонные покрытия сооружают на предварительно подготовленном основании. Для этого производится замочка и уплотнение просадочных, неплотных и насыпных грунтов, устройство дренажа при наличии грунтовых вод и др. Продольные и поперечные швы железобетонных облицовок заполняют битумной мастикой.

Битумные, асфальтовые, асфальтобетонные одежды могут быть поверхностными и скрытыми. При укладке на поверхности грунта создается экран из этих материалов слоем

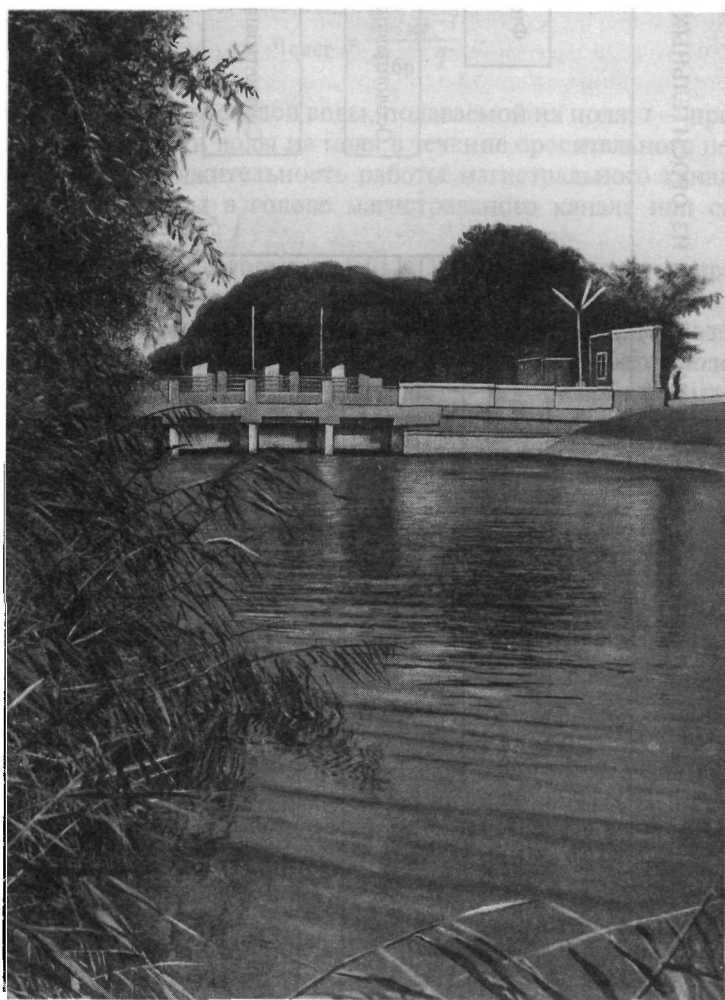


Рис. 44. Магистральный оросительный канал в Голодной степи в железобетонной облицовке. Мост — переезд. Узбекистан

5–8 см; при скрытой — слой битума, асфальта, пленки, асфальтобетона перекрывается 30–50-сантиметровым слоем грунта.

В качестве глинистых экранов используются бентонитовые глины и грунтобентонитовые смеси, которые так же, как и битумные экраны, перекрывают слоем грунта мощностью 30–50 см.

Пленочные экраны из полимерных пленок толщиной 0,2–0,6 мм всегда устраивают только закрытыми с защитным слоем грунта. Пленка располагается только по смоченному периметру канала.

Многослойные экраны, предназначенные для снижения потерь воды на фильтрацию, были впервые предложены почвоведом-гидрологом А.Ф. Лебедевым при строительстве крупных гидротехнических каналов. Он покрывал поверхность канала закономерными чередующимися слоями грунтов, резко отличающихся по своим свойствам (например, торфом и супесью). Эти материалы, легко пропускающие воду при однородной укладке, в условиях закономерного переслаивания (торф, супесь, торф, супесь и т.д.) на контакте слоев образуют мениски, которые затрудняют фильтрацию воды и оказывают значительное сопротивление мигрирующему потоку. Впоследствии почвовед-физик профессор Н.А. Качинский установил, что чем чаще чередуются и чем тоньше слои, тем больше формируется менисков и тем резче снижается водопроницаемость многослойного экрана. Действие многослойных грунтовых экранов основано на известном эффекте Жамена (рис. 45).

Механический и гидромеханический способы борьбы с фильтрацией заключаются в уплотнении ложа и откосов каналов ударным действием на грунт трамбуемой плиты экскаватора (вес 0,5–3 т, высота падения 1–3 м). Таким образом создается уплотненный слой мощностью до 1 м. Снижение общей порозности грунта на 10% позволяет в 5–7 раз снизить потери воды на фильтрацию. Уплотнение грунта ложа канала может быть достиг-

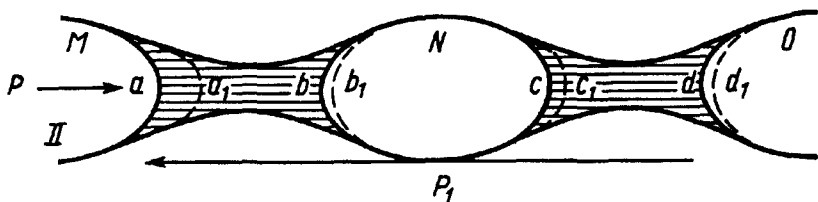


Рис. 45. Жаменовские цепочки, возникающие при создании тонкослойно-многослойных противифльтрационных экранов из торфа и песка (Н.А. Качинский, 1970)

Крупные капиллярные поры (слой песка М, N, O) и капиллярные перемычки (слой торфа). Система противостоит давлению слоя воды (P) в водоеме (водотоке) за счет капиллярного противодействия менисков (P_1). Положение менисков до (a, b, c) и после (a_1, b_1, c_1) затопления. Цепочка выдерживает давление столба воды в несколько атмосфер

нута прикатыванием специальными прицепными катками (гладкими, ребристыми, кулачковыми). Длительность последствия мероприятий по уплотнению 3–4 года.

Весьма эффективным способом борьбы с потерями воды из каналов в сильнофильтрующих грунтах (песках, галечниках, рис. 46) является *кольматация*. Кольматация заключается в том, что в крупные поры грунта ложа каналов вместе с фильтрующейся водой внедряются взвешенные частицы твердого стока и задерживаются в них. Обычно в результате кольматации в верхней толще грунта канала формируется тонкий слой (мощностью около 10 см), обогащенный глинистыми и пылеватыми частицами. В песчаных грунтах кольматация снижает фильтрацию в 2–6 раз, причем чем крупнее песок, тем выше эффект кольматации. В песчано-галечниковом, песчано-галечниково-валунном аллювии кольматация является весьма эффективным противофильтрационным мероприятием. В этом случае потери воды на фильтрацию из оросительных каналов можно снизить в 10–50 раз и более (табл. 10). Последствие антифильтрационного экрана, созданного в процессе кольматации, может сохраняться неопределенно долго. Его антифильтрационный эффект возрастает со временем в результате непрерывного заиливания пор грунта тонкими фракциями наноса, влекомого по каналу оросительной водой (рис. 1.4). Механизм и эффект кольматации тождествен весьма распространенному в почвообразовании процессу лессиважа. Действие естественной кольматации может быть резко усилено, если искусственно вносить в поток воды, транс-

портируемый по оросительному каналу, тонкую минеральную взвесь.

Водопроницаемость ложа каналов снижают с помощью физико-химических и химических способов борьбы с фильтрацией. Она заключается в обработках грунта, слагающего ложе канала, полимерами, жидким стеклом и другими веществами. Для снижения фильтрации в толще грунта ложа каналов искусственно активизируют также такие почвообразовательные процессы, которые вызывают обесструктури-

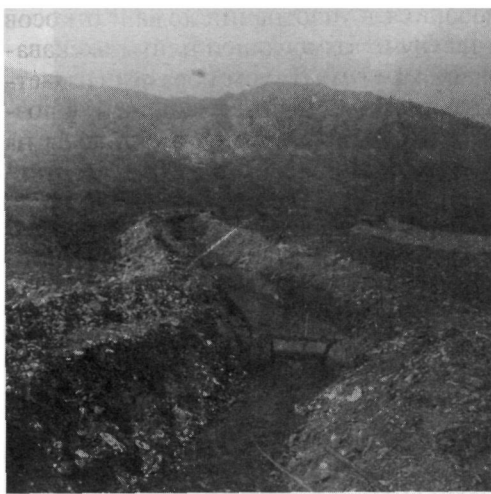


Рис. 46. Оросительный канал в сильнофильтрующем валунно-галечниково-песчаном аллювии после многолетней естественной кольматации. Сут-Хольская степь. Тува

**Изменение фильтрации и потерь воды из оросительных каналов, проложенных в
валунно-галечниковом аллювии с песчаным заполнителем под влиянием
кольматации. Сут-Хольская степь, Тува (Ф.Р. Зайдельман, 1965)**

Период наблюдения за фильтрацией	K_f поверхностных слоев грунта, слагающих ложе канала, м/сут	Потери воды на фильтрацию, % на 1 км длины канала
Вновь построенный канал после 3-суточного напол- нения	12,0–16,0	58–77
Равномерная фильтрация на 2–4-е сутки после на- полнения	4,5–7,0	21–33
После кольматации в тече- ние 8 ч.	0,5–0,6	2,5
После кольматации и эксплуатации в течение 10 лет	0,2–0,1	0,5

рование верхних слоев породы и снижают их водопроницаемость. Это достигается осолонцеванием рыхлых пород и их оглеением. Способ осолонцевания грунтов ложа оросительных каналов был предложен почвоведом-химиком А.Н. Соколовским. Для осолонцевания грунта ложа канала на 1 м² поверхности вносят 2–5 кг поваренной соли. По понятным причинам этот способ малоэффективен на карбонатных породах, песках, галечниках, песчано-галечниковом аллювии. Последствие осолонцевания — 5–6 лет, после чего это мероприятие необходимо повторить. Осолонцевание в 3–5 раз снижает потери воды на фильтрацию.

Чтобы вызвать оглеение ложа канала, в зоне смоченного периметра укладывают растительный материал (трава, листья, солома и др.) слоем 5–10 см и перекрывают его защитным слоем грунта мощностью до 10–15 см. В анаэробной среде при оглеении происходит переход в подвижное состояние железа, органического вещества, кальция. Минеральная масса грунта утрачивает агрегированность, уменьшается в 6–10 раз ее водопроницаемость. Осолонцевание и оглеение как способы снижения потерь воды на фильтрацию из оросительных каналов наиболее эффективны в суглинистых и глинистых грунтах. Способ борьбы с потерями из оросительных каналов оглеением был предложен А.С. Вознесенским и С.Г. Хлебниковым (1950). Наиболее эффективным мероприятием по борьбе с фильтрацией на оросительной системе является устройство проводящей сети в бетонном русле или применение закрытых трубопроводов.

4.2. ЛОТКОВАЯ ОРОСИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ

Лотковая оросительная сеть изготавливается из железобетона и имеет различные параметры. Лотки монтируют на опорах высотой 0,2–2,0 м (рис. 47, 48). Швы между лотками герметизируют резиновыми водонепроницаемыми прокладками, асфальтовой мастикой, специальными клеями, высокопрочными армированными тканями. Лотки изготавливают из ненапряженного и напряженного железобетона. На железобетонных каналах-лотках монтируют водовыпускные устройства для подачи воды в сеть временных оросителей. Лотки применяют для транспорта расходов в диапазоне от 0,5 до 5 м³/с при уклонах 0,0005. Поэтому в лотках устраивают внутрихозяйственные и хозяйственные каналы. Все лотковые каналы имеют концевые сбросы, из которых вода отводится водосборно-сбросной сетью. Стандартные параболические железобетонные лотки имеют длину 6–8 м, высоту 0,4–0,8, ширину сверху 0,8–1,1 м. Наряду с лотками параболического сечения используют лотки полукругового и трапециевидного очертаний. Лотки параболической формы являются наиболее распространенными в ирригационной практике.

Лотковая оросительная сеть позволяет резко снизить потери воды на фильтрацию КПД (до 90–95%), повышает коэффициент

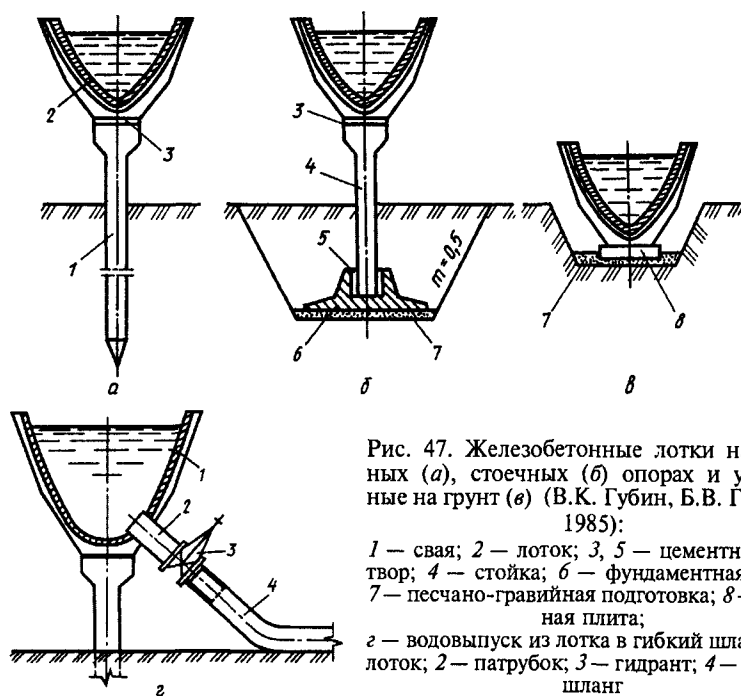


Рис. 47. Железобетонные лотки на свайных (а), стоечных (б) опорах и уложенные на грунт (в) (В.К. Губин, Б.В. Гордеев, 1985):

1 — свая; 2 — лоток; 3, 5 — цементный раствор; 4 — стойка; 6 — фундаментная плита; 7 — песчано-гравийная подготовка; 8 — опорная плита;
2 — водовыпуск из лотка в гибкий шланг; 1 — лоток; 2 — патрубок; 3 — гидрант; 4 — гибкий шланг



Рис. 48. Монтаж лотковой оросительной сети

земельного использования, исключает возможность зарастания, заиления и размыва. Она обеспечивает лучшие условия командования над орошаемой площадью. При использовании лотковой сети возникают необходимые условия для индустриализации процесса строительства.

Наиболее серьезными недостатками лотковых каналов являются потери воды из стыков звеньев лотков при некачественной герметизации, а также возможность механического повреждения торцов, углов и бортов отдельных звеньев лотков.

4.3. ОРОСИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ ИЗ ЗАКРЫТЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Появление новых материалов, внедрение современных способов орошения с применением широкозахватной дождевальной техники, необходимость резкого повышения КПД оросительных систем и снижения потерь воды на фильтрацию определили возможность создания и целесообразность широкого применения оросительной сети из закрытых трубопроводов. Она позволяет повысить КЗИ до 0,97 и увеличить КПД систем до 0,94—0,98, автоматизировать весь процесс полива. Использование оросительной сети из закрытых трубопроводов резко ослабляет или исключает пополнение грунтового потока ирригационными водами и, как следствие, заболачивание и засоление почв.

4.4. ПЛОТИНЫ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Бесперебойное обеспечение орошаемого массива обычно связано с наличием зарегулированных масс воды, объем которых определяется, во-первых, режимом орошения и, во-вторых, КПД системы. С этой целью на оросительной системе сооружают водоемы и водохранилища различных типов.

Для создания водоемов и водохранилищ, служащих источником водоснабжения, для сооружения водозабора и в других целях на оросительных системах предусматривается строительство плотин. Строительство плотин в целях создания водохранилищ особенно широко применяется для орошения сельскохозяйственных полей на местном стоке. По назначению и конструкции различают три вида плотин, используемых в практике орошения, — водозадерживающие, водосливные и водозаборные.

Водозадерживающие плотины, сооружаемые на водотоке, предназначены для аккумуляции в водоеме или водохранилище необходимого для орошения объема воды. Водозадерживающая плотина на 1—3 м выше, чем уровень воды в водохранилище. Водозадерживающие плотины устраивают из различных материалов — грунта, смеси грунта и камня, камня, железобетона. Оптимальным материалом являются суглинки с отношением глины к песку 1:1—1:2. Нельзя использовать для формирования тела плотины глину, торф, пески, так как глина при высыхании образует глубокие и крупные трещины, а торф и песок обладают высокой водопроницаемостью (рис. 49).

Водосливные плотины предназначены для подпора воды на реке с целью организации самотечного водозабора или для подъема воды на реке до отметок, благоприятных для строительства насосной станции и последующего механического водозабора.

Высота гребня водосливных плотин ниже уровня воды в реке. Такие плотины — барражи — сооружают также для затопления каменистых порогов и подъема воды над отмелями. Водосливные плотины удерживают относительно небольшие объемы воды. Основная масса воды перекачивается через гребни. Их строят обычно из железобетона (рис. 50).

На малых реках и ручьях в настоящее время используют мягкие резиновые конструкции водосливных плотин. Их высота не превышает 3 м. Мягкая оболочка плотины закрепляется на дне специальными анкерными устройствами. Оболочка из прорезиненной ткани наполняется водой. Достоинством мягких тканевых водосливных плотин является простота монтажа и демонтажа, их невысокая стоимость. Такое устройство позволяет устраивать запруды на временных водотоках, создавать искусственные водоемы глубиной до 3 м (рис. 49, 50).

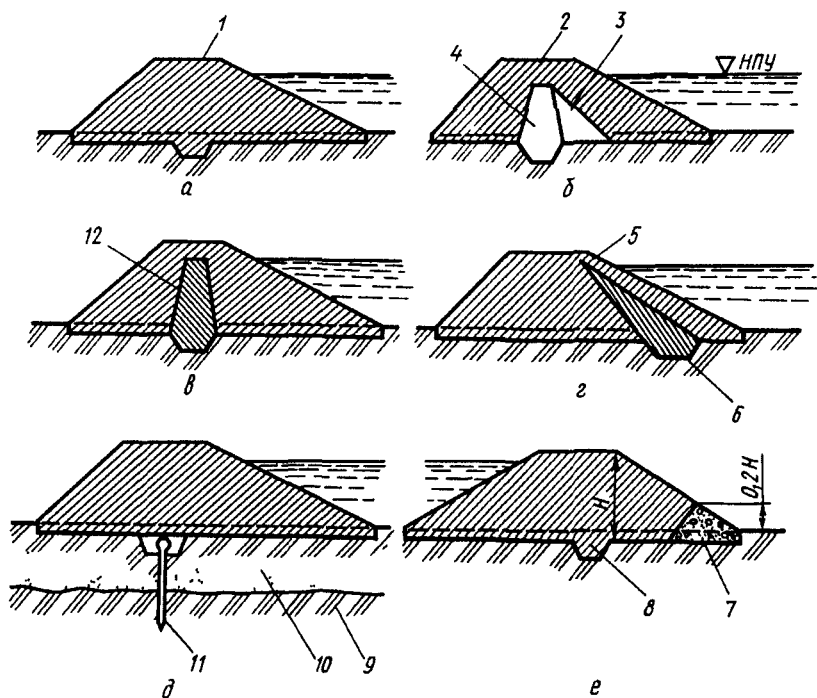


Рис 49 Типы земляных плотин (В В Колпаков, И П Сухарев, 1981)
 а — из однородного грунта с замком, б, в, г — с глиняным ядром и замком, д — из однородного грунта со шпунтом, е — из однородного грунта с дренажной песчано-гравелистой отсыпкой, 1 — гребень плотины, 2 — супесь, 3 — суглинок, 4 — глина, 5 — песчаный грунт, 6 — глиняный зуб и экран, 7 — песчано-гравелистая отсыпка (дренаж), 8 — замок, 9 — водоупорный слой, 10 — песок, 11 — шпунтовый ряд, 12 — ядро

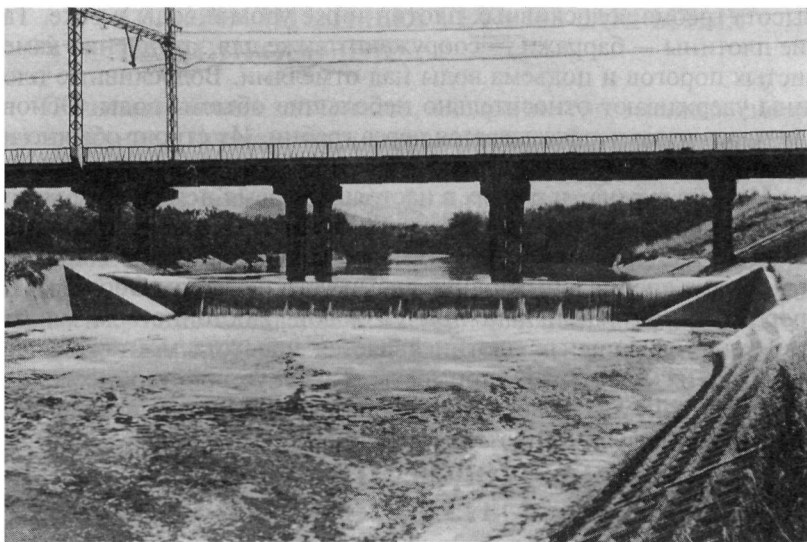


Рис. 50. Водосливная бетонная плотина (барраж)

Водозаборные плотины используют для задержания местного стока. Их строят главным образом из грунта. Различают два вида водозаборных плотин — однородные, или простые, и сложные. В первом случае плотину из малопроницаемого грунта возводят на слабоводопроницаемом основании. Во втором — водозаборная плотина сооружается на проницаемом основании (песке, известняке, меле) с залеганием на глубине 2–3 м и более водоупорных пород. В этом случае плотина сооружается из проницаемого грунта.

По гребню водозадерживающих и водозаборных плотин, т.е. по их самой высокой части, обычно прокладывают дорогу, укрепляют ее щебнем, асфальтом или железобетонными плитами. Откосы плотины зависят от механического состава используемого грунта и от смоченности их поверхности. Для мокрого откоса (т.е. откоса, обращенного к акватории водохранилища) приняты следующие коэффициенты откосов бортов плотины: для суглинков — 2,5–3,0; супесей — 3–3,5; песков — 3,5–4,0. Для сухого откоса — 1,5–2,0; 2–2,5; 2,5–3,0 соответственно. Мокрый откос плотины укрепляют каменной отмосткой, бетонными плитами, наброской камней в клетку из ивовых прутьев и кольев и посадкой ивы вдоль уреза воды.

Независимо от назначения при строительстве плотин предусматривают комплекс специальных мероприятий по борьбе с фильтрацией под телом плотины и в обход плотины. Наиболее простым антифильтрационным мероприятием является устройство



Рис. 51. Водосливная плотина из мягких (прорезиненных) оболочек

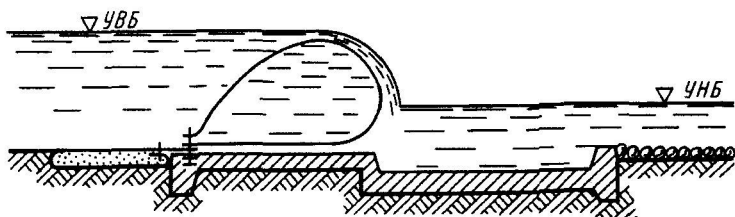


Рис. 52. Схема установки водосливной плотины из мягких оболочек.
УВБ — уровень верхнего бьефа; УНБ — уровень нижнего бьефа

з а м к а. Замки врезают в водоупорный слой на глубину 0,5–1,0 м. Для устройства замка по всей длине трассы будущей плотины роют траншею, которую заполняют мягкой глиной. Если плотина создается из проницаемых материалов, в ее теле предусматривают устройство непроницаемого глиняного ядра или ядра и экрана. Наконец, если между основанием замка и водоупором залегает водоносный горизонт, то замки дополняют шпунтовой стенкой (рис. 49, д). Шпунтовая стенка представляет собой плотно забитый в грунт сплошной ряд деревянных или бетонных свай. Если же сваи полностью проходят водоносный горизонт и врезаются в водоупорный слой, возможно практически полное перекрытие фильтрационного потока под телом плотины.

В крупных земляных плотинах с целью отвода профильтровавшейся воды в основании сухого откоса устраивают дренаж. Для этого слоями по 15–20 см отсыпают вначале мелкий, затем крупный песок, щебень, средние и крупные камни. Ширина такой дре-

нажной отсыпки поверху не менее метра, а ее высота должна составлять не менее $1/5-1/4$ высоты плотины. Плотина работает нормально и в ней не наблюдается явлений суффозии, если дренажные воды чистые и не содержат мути.

Искусственные водоемы (водохранилища) рассчитывают на аккумуляцию только части паводкового или ливневых расходов. Их основная часть обычно пропускается через плотину. Для пропуска этого объема воды при строительстве водозадерживающих и водозаборных плотин предусматривают водосбросные и водосливные сооружения. Они представлены водосбросным земляным или бетонным каналом и водосливным сооружением в теле плотины.

Водосбросной канал, выполняемый часто в сочетании с перепадами и быстротоками, строят в обход плотины. Дно водосбросного канала должно находиться на отметке нормального проектного уровня (НПУ). Поэтому сброс воды по каналу осуществляется автоматически. Водосливные сооружения в теле плотины выполняют из дерева или бетона. Их оборудуют подъемными щитами (затворами) для регулирования сброса.

Кроме того, плотина оборудуется трубчатыми донными водовыпусками для полного спуска воды при ремонте плотины, очистке дна от аккумуляции твердого стока и для вылова рыбы.

Расчет объема воды, аккумулируемой водоемом (водохранилищем), производят исходя из потребностей орошаемого земледелия, рыбного хозяйства и других народно-хозяйственных и природоохранных задач. Если объектом орошения являются незасоленные почвы, то мелиоративные мероприятия ограничиваются задачами регулирования водного (и пищевого) режима почв. Вместе с тем в засушливых районах страны весьма распространенным объектом орошения оказываются засоленные и солонцеватые почвы, использование которых в сельскохозяйственном производстве тесным образом связано с необходимостью выполнения специального и достаточно сложного комплекса мелиоративных мероприятий по изменению и улучшению их химических и физических свойств, предупреждению угрозы вторичного засоления и осолонцевания. В этом случае объем водохранилищ должен предусматривать аккумуляцию воды не только исходя из расходов, связанных с водопотреблением культур, потерь воды на фильтрацию, но и на опреснение почв (или почвообразующих пород и поверхностных горизонтов засоленных грунтовых вод).

5. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПОЛИВНОГО РЕЖИМА

В естественных богарных условиях водопотребление сельскохозяйственных и других растений осуществляется за счет атмосферных осадков, почвенной влаги, а также в результате миграции воды к корням по капиллярам от зеркала грунтовых вод. Однако этой влаги часто бывает недостаточно для создания проектируемого урожая или для поддержания оптимального режима увлажнения для декоративных или иных культур. Поэтому возникает необходимость в дополнительном увлажнении почв с помощью орошения. Разработка режима орошения предполагает анализ следующих параметров.

5.1. ОРОСИТЕЛЬНАЯ НОРМА

Оросительной нормой называют общее количество воды, которое необходимо подать на орошаемое поле для того, чтобы получить планируемую урожайность:

$$M = E - P \pm \Delta W - W_{\text{гр}},$$

где M — оросительная норма; E — водопотребление; P — осадки расчетной обеспеченности, используемые за вегетационный период; ΔW — используемый запас влаги из почвы; $W_{\text{гр}}$ — объем воды, поступающий из грунтовых вод (размерность всех значений — $\text{м}^3/\text{га}$). Используемый запас влаги из почвы $\pm \Delta W$ — разность между запасами влаги в начале и в конце вегетации. Объем воды, поступающий от зеркала грунтовых вод $W_{\text{гр}}$, зависит от их уровня, физических свойств почв, климатических условий, возделываемых сельскохозяйственных культур, степени развития корневых систем растений. Если грунтовые воды залегают на глубине 2–2,5 м, их вклад в водный режим корнеобитаемых горизонтов невелик. При залегании грунтовых вод на глубине ≥ 3 м поступлением влаги от их зеркала при практических расчетах можно пренебречь.

При расчете оросительной нормы учитывают атмосферные осадки более 5 мм. Абсолютные величины оросительных норм при

прочих равных условиях зависят от климата местности и погодных условий года. Так, оросительная норма для люцерны, по данным Л.В. Скрипчинской, А.М. Янголя и др. (1977), в засушливой зоне составляет 5800 м³/га, в зоне недостаточного увлажнения — 4400, а в зоне неустойчивого увлажнения — 3400 м³/га. Резко изменяется оросительная норма по годам в одном и том же районе. Например, в сухой степи оросительная норма для озимой пшеницы в год 95%-й обеспеченности осадками составляет 3400 м³/га, 25%-й обеспеченности — только 1100 м³/га.

При расчете оросительных норм для обоснования проекта орошения их обычно определяют для условий засушливого года с осадками 95%-й обеспеченности. Засушливость года характеризуется не только осадками, но и дефицитом влажности воздуха.

5.2. ПОЛИВНАЯ НОРМА И ВИДЫ ПОЛИВОВ

Поливной нормой называют то количество воды, которое необходимо для одного полива. Сумма поливных норм, необходимых для поддержания влажности почвы на уровне, благоприятном для роста и развития культур в течение всего периода вегетации, соответствует оросительной норме. При расчете поливной нормы необходимо исходить из того, что при поливе в почву должно быть подано только то количество воды, которое не нарушит жизнедеятельности растений, не будет просачиваться в глубокие слои почвы и не будет пополнять грунтовый поток.

Влажность почвы при поливе поэтому не должна превышать ППВ — верхнего предела оптимального увлажнения почвы при поливе. Нижний предел ориентировочно соответствует влажности, равной 0,7 ППВ (0,65–0,75 ППВ), что равно или близко к влажности разрыва капиллярной связи. Таким образом, объем поливной нормы в любом случае не должен быть больше, чем запас влаги в почве, равный разности ППВ — 0,7 ППВ. В общем виде поливные нормы определяют по формуле

$$M = 100 \cdot H \cdot \rho_b \cdot (W_{\text{ППВ}} - W_{0,7\text{ППВ}}),$$

где M — поливная норма, м³/га; H — активный слой почвы, м; ρ_b — средневзвешенная плотность активного слоя почвы, т/м³; $W_{\text{ППВ}}$ — оптимальная влажность активного слоя почвы после полива, практически равная или несколько меньшая ППВ (0,90–0,95 ППВ); $W_{0,7\text{ППВ}}$ — влажность активного слоя почвы перед поливом ($W_{\text{ППВ}}$ и $W_{0,7\text{ППВ}}$ — влажность почвы в % к сухой массе).

Известная динамичность верхнего предела оптимальной влажности активного слоя ($W_{\text{ППВ}}$ — от ППВ до 0,90–0,95 ППВ), отражает общую современную тенденцию уменьшения расхода воды на орошение и снижения ее потерь на инфильтрацию в грунтовый по-

ток (главным образом по крупным трещинам). Следует, однако, подчеркнуть, что такое снижение значений верхнего предела оптимальной влажности обычно сопровождается некоторым падением урожая (например, по зерновым на 5–15%, иногда больше). Поэтому определение оптимальных значений поливной нормы представляет собой в значительной мере агроэколого-экономическую задачу, связанную с выбором таких объемов поливных вод, при которых это снижение урожая оказывается оправданным сокращением расхода воды на полив.

Основным видом полива является вегетационный полив. Вегетационный полив может быть увлажнительным, направленным на поддержание в активном слое благоприятной влажности почвы для роста и развития растений, и освежительным, который необходим для повышения влажности приземного слоя воздуха, очистки поверхности листьев от пыли, удобрений, их охлаждения. Освежительные поливы производят нормой 50–100 м³/га. Они особенно полезны при атмосферной засухе для овощей, чая, картофеля, свеклы.

При определении поливных норм для вегетационных увлажнительных поливов ориентируются на мощность активного слоя, т.е. такой толщи почвы, в которой сосредоточено 90% корней растений. Орошение эффективно, если при поливе хорошо увлажняется активная корнеобитаемая толща почвы. Мощность такой толщи изменчива. Это обусловлено как изменением корнеобитаемой зоны у одних и тех же культур во время вегетации, так и разной мощностью корневых систем у разных растений в одну и ту же фазу вегетации. Так, в плодоносящих садах во время вегетации необходимо промачивать при поливе слой почвы мощностью 0,8–1,0 м; для зерновых в начале и конце вегетации активный слой промачивания равен соответственно 0,4–0,5 и 0,7–0,8 м; для многолетних трав — 0,5–0,6 и 0,8–0,9 м. Рекомендуются следующие ориентировочные глубины расчетного (активного) слоя для различных сельскохозяйственных культур при поверхностном орошении (табл. 11).

Размер поливной нормы связан не только со свойствами почв и культурой, но и со способом полива. Чтобы добиться равномерного увлажнения при поверхностном поливе, поливная норма не должна быть меньше 600 м³/га. Максимальные размеры поливных норм при поверхностном поливе имеют место при орошении напуском по полосам (до 1000–1400 м³/га). Вместе с тем при дождевании обычно используют поливные нормы, равные 200–300 м³/га. Теоретически при дождевании можно вылить любую величину поливной нормы и равномерно увлажнить почву, но при конкретном проектировании расходов следует иметь в виду, что потери влаги на испарение в этом случае будут значительными — до 10–40%. Поэтому и мощность расчетной толщи при определении поливной

Ориентировочная мощность расчетного слоя увлажнения
при вегетационных поливах

Культура	Фаза развития	Мощность активного слоя, м
Зерновые	кущение	0,4–0,5
	выход в трубку	0,6–1,0
Кукуруза	до выброса метелки	0,4–0,5
	после выброса метелки	0,6–1,0
Сахарная свекла	укоренение	0,3–0,4
	развитие листьев	0,4–0,6
	образование корнеплодов	0,6–0,7
Многолетние травы	кущение	0,4–0,5
	бутонизация (выход в трубку)	0,5–0,6
	до цветения и после укоса	0,8–1,0
Хлопчатник	бутонизация	0,5–0,6
	цветение	0,7–1,0
	созревание	0,5–0,6
Капуста, лук, огурцы	укоренение	0,2–0,3
	максимальное развитие	0,3–0,6
Картофель, корнеплоды, томаты	укоренение	0,3–0,4
	максимальное развитие	0,5–0,7
Сады и виноградники	в период вегетации	0,8–1,5

нормы связана со способом полива. Так, при дождевании обычно увлажняют слой не более 0,5–0,6 м; при напуске по полосам и затоплении по чекам — 1,0–1,5 м.

В зонах недостаточного увлажнения с сухой весной, малоснежной зимой практикуют влагозарядковые поливы. Они необходимы для того, чтобы к моменту сева влажность почвы была благоприятна для развития растений. Влагозарядковый полив производят осенью или весной до посева. Его осуществляют на большую глубину (до 1,0–1,5 м) более крупными нормами, чем вегетационные поливы. Так, для легких почв — 800–1200, для тяжелых — 1500–2000 м³/га. Влагозарядковые поливы, очевидно, недопустимы при близком залегании грунтовых вод. Норму влагозарядки определяют по формуле

$$m_{вз} = 100 \cdot H \cdot \rho_b \cdot (W_{ппв} - W_{ест}) - \alpha \cdot P + \varepsilon_1,$$

где $m_{вз}$ — норма влагозарядки, м³/га; H — мощность расчетного слоя почвы, м; ρ_b — средневзвешенная плотность расчетного слоя почвы, т/м³; $W_{ппв}$ — оптимальная влажность расчетного слоя почвы после полива, практически равная или несколько меньшая ППВ (0,90–0,95 ППВ); $W_{ест}$ — естественная влажность расчетного

слоя почвы перед поливом ($W_{ппв}$ и $W_{ест}$ — влажность почвы в % к сухой массе); P — объем осадков осенне-зимнего периода, $м^3/га$; α — коэффициент использования осадков; ε_1 — испарение за осенне-зимний период, $м^3/га$.

Вневегетационные, или специальные, поливы обычно производятся следующими нормами. Предпосевной полив — перед севом второй культуры (летом), норма — $800–1000 м^3/га$. Посадочный полив — при высадке рассады; полив дождеванием, норма — $150–200 м^3/га$. Промывной полив применяют для удаления избытка солей из почвы, выполняют обычно путем подачи на поля крупных норм воды. Промывные поливы позволяют удалить соли через дренажную сеть с орошаемого поля. Различают капитальные промывки, осуществляемые обычно 1–2 раза за ротацию севооборота нормами 4–6 тыс. $м^3/га$ и более, и профилактические, или эксплуатационные, промывки, которые производят через 1–2 года. Последние выполняют в виде влагозарядкового полива нормой 2–5 тыс. $м^3/га$ напуском по полосам или по чекам.

5.3. РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ, ОРОСИТЕЛЬНЫЙ ГИДРОМОДУЛЬ И ОРОШЕНИЕ СЕВООБОРОТНОГО УЧАСТКА

Распределение поливов во времени с определенными поливными нормами называется режимом орошения. Поскольку в орошаемом земледелии полив производят таким образом, чтобы влажность почвы постоянно находилась в интервале от нижнего предела оптимальной влажности для развития растений (обычно 65–75% ППВ) до предельной полевой влагоемкости, сроки назначения поливов могут быть определены графически на основе расчета водного баланса по методике А.Н. Костякова (1951). Для проектирования режима поливов (или режима орошения) необходимо изучить и уточнить для конкретных условий следующее:

- 1) общую потребность данной культуры в воде для создания необходимого урожая;
- 2) суточное водопотребление по фазам развития культуры;
- 3) мощность активного слоя и его изменение в ходе вегетации;
- 4) нижний допустимый предел содержания влаги в почве;
- 5) запас влаги в активном слое почвы;
- 6) количество и распределение осадков на протяжении вегетационного периода.

На графике (рис. 53) строят две кривые. Нижняя $A-A_1$ отражает изменение запаса влаги в активном слое почвы при возделывании данной культуры, соответствующего нижнему пределу оптимальной влажности роста и развития растений (0,65–0,75 ППВ).

Кривая имеет S-образную форму, поскольку активная толща в начале вегетации быстро нарастает, а затем достигает максимума и выходит на «плато», т.е. остается некоторое время стабильной или несколько уменьшается к концу вегетации культуры. Верхняя кривая $B-B_1$ отражает запас влаги, соответствующий верхнему пределу оптимальной влажности, т.е. равному ППВ почвы или несколько меньшему этой величины (обычно 0,90–0,95 ППВ). В условиях орошаемого земледелия влажность почвы должна находиться в интервале между этими кривыми. Зная необходимый запас влаги, осадки за расчетный период определенной обеспеченности (95%), суточное водопотребление, рассчитывают время первого полива, которое совпадает с моментом падения влажности почвы до нижнего предела кривой $A-A_1$. Этот срок соответствует времени первого полива. Почва в толще активного слоя увлажнена до ППВ. Далее рассчитывают время снижения влажности в активном слое на основе перечисленных параметров до уровня, соответствующего запасам нижнего предела оптимальной влажности. Это время второго полива и т.д.

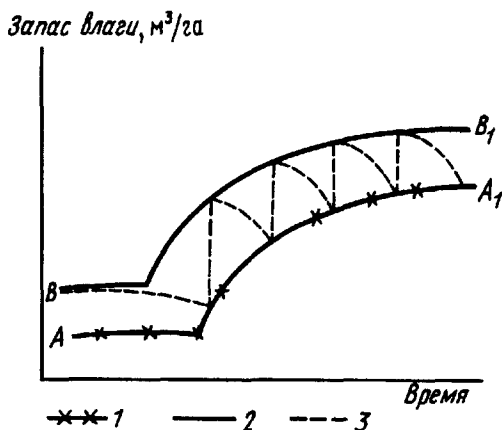


Рис. 53. График определения нормы и сроков полива культур:

1 — нижний предел оптимальной влажности для развития сельскохозяйственных культур ($A-A_1$);
2 — предельная полевая влагемкость активного слоя почвы ($B-B_1$); 3 — запас влаги в почве

Время полива может быть установлено непосредственно в поле путем контроля влажности почвы следующими методами.

Тензиометрическим (с помощью тензиометров), используя достаточно простые приборы, регистрирующие давление почвенной влаги. Тензиометр калибруют на автоматическую регистрацию критической влажности, соответствующей нижнему уровню оптимальной влажности почв для развития данной культуры.

Физиологическим, т.е. диагностикой влажности почв по стабильности тургора листьев возделываемой культуры: полив необходим, если нижние листья культур в дневное время завядают и это состояние сохраняется затем в ночное время и рано утром.

Термостатно-весовым, при котором сроки полива диагностируют путем прямого контроля влажности почв.

Время полива необходимо согласовать с критическими фазами развития растений. Так, при орошении хлопчатника важными фазами его развития являются фаза от посева до начала цветения, затем фаза цветения. В период до цветения производят 1–3 полива, в период цветения — 3–6 поливов. В период созревания коробочек — 1–2 полива. В зависимости от климатических условий при орошении хлопчатника применяют 4–10 поливов. Меньшее число поливов обычно дается при близком залегании грунтовых вод.

Для зерновых хлебов особенно важно обеспечение растений влагой в фазе кущения, колошения и формирования зерна. Озимым культурам необходима достаточная влажность почвы с осени. В Заволжье озимая пшеница получает один предпосевной (влагозарядковый) полив и 2–3 вегетационных полива. При орошении яровой пшеницы в этом же регионе выполняют три полива: в фазе кущения, колошения и формирования зерна (перед наливом).

Фруктовые сады первый полив получают до цветения (в период цветения сады не поливают), второй полив — после окончания цветения, третий — в период максимального роста вегетативных органов, четвертый — в период формирования плодовых почек, пятый (и шестой) во время формирования плодов.

Овощные культуры поливают обычно от 4 до 12 и более раз небольшими нормами. Промежутки между поливами в первые фазы развития делаются несколько больше, в период созревания — короче. Особенно напряженными являются поливы после посадки овощей: 2–3 полива через короткие промежутки времени.

Люцерна и другие многолетние травы первого года жизни без покрова при весеннем посеве. 4–5 поливов в фазу укоренения и развития листовой розетки, перед бутонизацией, после первого укоса, между первым и вторым укосами, после второго укоса, после третьего укоса или стравливания.

Люцерна и другие многолетние травы второго и третьего годов жизни на сено. Общее число поливов 6–8 в фазу весеннего отрастания, после первого укоса, между первым и вторым укосами, после второго укоса, между вторым и третьим укосами, после третьего укоса, между третьим и четвертым укосами, после четвертого укоса. Последний полив влагозарядковый, на засоленных землях — промывной. Расчет оросительных и поливных норм, времени и вида полива является основой для разработки режима орошения отдельной сельскохозяйственной культуры. Од-

нако в орошаемом земледелии на севооборотном участке обычно возделывается несколько культур в системе севооборота. Каждая культура обладает индивидуальными особенностями и предъявляет свои требования к режиму орошения. Поэтому необходимо в производственных условиях разработать режим орошения полей севооборота, учесть потребности в воде каждой культуры севооборота, ее планируемую урожайность, почвенно-мелиоративные, гидротехнические и иные условия.

Режим орошения в севообороте отражает график оросительного гидромодуля (рис. 54). Гидромодуль q соответствует необходимому расходу воды в литрах в секунду на гектар (л/с·га) для полива сельскохозяйственных культур орошаемого севооборота. Гидромодуль позволяет связать потребность в воде орошаемого хозяйства в границах конкретного севооборота и дебит водоемного источника. Таким образом, оросительный гидромодуль — это количество воды, которое необходимо подать на севооборотный участок для орошения всех культур севооборота. Гидромодуль используют для гидрологического расчета оросительной сети.

Оросительный гидромодуль позволяет связать водопотребление культур севооборота с оросительной сетью, параметрами каналов и сооружений.

Расчет гидромодуля производят следующим образом. Пусть вся поливная площадь севооборота ω га в течение t суток. Поливается культура, площадь которой составляет долю a от всей поливной площади; полив производят круглосуточно нормой m м³/га. Тогда площадь под данной культурой равна $a \cdot \omega$ га; на эту площадь должно быть подано воды $a \cdot \omega \cdot m$ м³, что составляет в сутки $a \cdot \omega \cdot m / t$ м³, в секунду $a \cdot \omega \cdot m / (86400 \cdot t)$ м³. Если расчет производится на 1 га (т.е. $\omega = 1$ га) и на 1 литр (1 м³ = 1000 л), то

$$q = \frac{a \cdot \omega \cdot m}{86400 \cdot t} = \frac{a \cdot 1 \cdot m \cdot 1000}{86400 \cdot t} = \frac{a \cdot m}{86,4 \cdot t} \text{ л/с} \cdot \text{га}$$

является частным гидромодулем, отражающим гидромодуль полива данной культуры в системе севооборота. Общий гидромодуль оросительной системы равен сумме частных гидромодулей.

Для построения графика гидромодуля на оси абсцисс откладывают время полива, на оси ординат — абсолютные значения оросительного гидромодуля. В верхней части графика наносят дебит водоемного источника. Если поливы разных культур совпадают по времени, то тогда частные гидромодули откладывают один на другой (рис. 54). По продолжительности полива, показанной на абсциссе, и величине ординаты гидромодуля можно построить прямоугольник, характеризующий условия полива конкретной культуры (высота — абсолютное значение частного гидромодуля, его ширина — время полива). Следовательно, площадь прямоугольника соответствует поливной норме.

При наличии в верхней части графика кривой, отражающей дебит водоисточника, нетрудно установить, может ли он обеспечить поступление в оросительную сеть такого объема воды, который необходим для полива. Совпадение сроков полива может привести к тому, что сумма частных гидромодулей будет характеризоваться значительными абсолютными величинами общих гидромодулей (рис. 54). Это значит, что за короткий отрезок времени окажется необходимым подать через проводящую сеть слишком большой объем воды. Последнее потребует резкого увеличения пропускной способности проводящей сети, строительства крупного водозаборного сооружения, усиления сбросных сооружений и т.д.

График с таким расположением частных гидромодулей является неукомплектованным графиком гидромодулей (рис. 54, а). Для того чтобы система работала экономично и эффективно, с максимальным сохранением водных ресурсов и минимальным объемом выполнения земляных и бетонных работ, необходимо уменьшить значения гидромодулей, по возможности снять

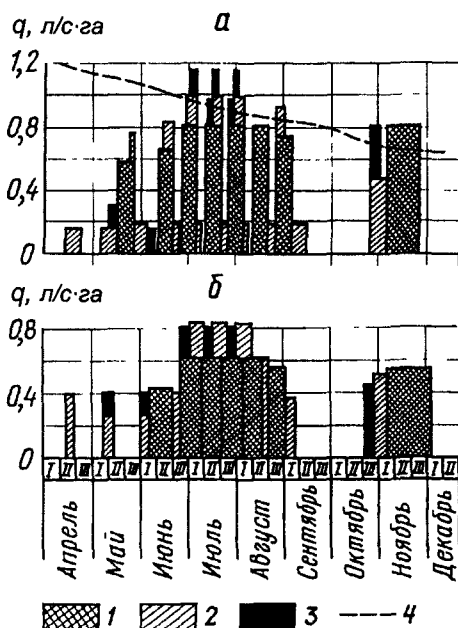


Рис. 54. График гидромодуля (В.В. Колпаков, И.П. Сухарев, 1981):

а — неукомплектованный; б — укомплектованный; 1 — хлопчатник; 2 — люцерна; 3 — кукуруза на зерно; 4 — расход водоисточника

пики и совмещения частных гидромодулей в одни и те же сроки, т.е. укомплектовать их график.

Укомплектование производят таким образом, чтобы исходное произведение $q_1 \cdot t_1$ (t_1 — время полива) после укомплектования было равно произведению $q_2 \cdot t_2$, т.е. объем воды, необходимый для полива культуры, оставался всегда одним и тем же. Таким образом, уменьшение q происходит за счет увеличения продолжительности полива t . При этом t вычисляют по формуле $t = a \cdot m / (86,4 \cdot q_{\text{ср}})$, округляя поливной период культуры до полных суток или до 0,5 сут. Такие расчеты производят для всех культур. При этом сроки полива не должны выходить за пределы допустимых, а влажность почвы не должна опускаться ниже оптимальных значений. Укомплектование графика гидромодулей происходит главным образом за счет изменения сроков и времени полива в рамках допустимых отклонений.

Средняя дата полива может сдвигаться для зерновых, кукурузы, трав, овощных и технических культур на 4–5 сут, хлопчатника — на 3–4 сут. При укомплектовании графика межполивной период может изменяться на 6–7 сут. Значения частных максимальных гидромодулей следует сопоставлять со значениями дебита водоисточника, контролируя таким образом его оросительную способность. Укомплектованный график полива приведен на рис. 54, б. Если орошаемый массив достаточно велик и обладает неоднородными климатическими, почвенно-мелиоративными и гидрогеологическими условиями, то в проекте и при эксплуатации необходимо использовать рекомендации мелиоративного районирования режима орошения. В этих случаях строят графики гидромодуля для каждого мелиоративного района.

6. ТЕХНИКА ПОЛИВА

Понятие «техника полива» включает три элемента: способ полива, распределение оросительной воды и организацию полива.

Рациональный выбор способа полива, увязка способа полива с почвенно-мелиоративными и гидрогеологическими условиями, с одной стороны, и с пропускной способностью проводящей сети — с другой, имеют важное значение для эффективной работы оросительной системы в целом.

В практике, как отмечалось выше, в настоящее время приняты следующие способы орошения: поверхностное, дождевание, аэрозольное или мелкодисперсное, внутрипочвенное, сублиригация, капельное. Независимо от применяемого способа полива орошаемое поле должно быть подготовлено к его проведению. Такими подготовительными мероприятиями являются культуртехнические и агромелиоративные работы. Особое значение в практике орошения имеют планировочные работы.

6.1. ПОДГОТОВКА ПОЛЯ К ПОЛИВУ И ПЛАНИРОВКА ПОВЕРХНОСТИ ОРОШАЕМОГО МАССИВА

При подготовке поля к поливу следует выполнять ряд специальных мероприятий, из которых особое значение имеют культуртехнические работы. Культуртехническими мероприятиями и называют комплекс специальных работ по улучшению технического состояния поверхности территории, обеспечивающих возможность ведения культуры земледелия на мелиорированном поле. Культуртехнические работы на массивах, проектируемых для орошения, складываются из удаления крупных камней, препятствующих обработке почв, срезки кустарника, удаления древесной растительности и корчевки пней, засыпки ям, расчистки строительных и иных площадок и т.п.

Для организации орошения особое значение имеет тщательная планировка (выравнивание) поверхности будущего орошаемого

го поля. Это необходимо потому, что на неспланированном поле в понижениях практически при всех видах полива застаивается вода, возможно вымокание растений, развитие неблагоприятных для растений и почв анаэробных условий. Одновременно на повышениях происходит недополив сельскохозяйственных культур и снижение их урожая. На спланированном поле можно применять более совершенные способы поверхностного полива, например широкие и длинные полосы и борозды (400–500 м), использовать большие расходы поливной струи. Планировка поверхности в 4–8 раз повышает производительность труда поливальщика и на 15–25% и более увеличивает урожай возделываемых культур. Планировка необходима практически для всех способов полива, но она особенно актуальна для поверхностного орошения. Требования к планировочным работам в значительной мере определяются проектируемым способом орошения. Так, при поливе по полосам и бороздам орошаемую территорию планируют под наклонную плоскость с уклонами, близкими к естественным. При орошении риса затоплением необходимо тщательно выровнять поверхность под горизонтальную плоскость. Такие же требования к планировке (выравнивание поверхности под горизонтальную плоскость) следует предъявлять при подготовке территории для промывки засоленных почв и при организации орошения на безуклонных массивах.

Планировка может быть капитальной (или строительной) и эксплуатационной. Капитальная планировка выполняется в период строительства оросительной системы, а эксплуатационная производится систематически в процессе сельскохозяйственного использования (эксплуатации) орошаемой территории.

Капитальная планировка, выполняемая в период строительства, может быть двух видов: сплошной или выборочной. Сплошную планировку применяют на участках со сложным рельефом, а также при строительстве рисовых оросительных систем. Выборочная планировка необходима и достаточна на выровненных массивах. При выполнении планировочных работ стремятся к минимизации и сбалансированному перемещению земляных масс, т.е. к тому, чтобы объем срезок соответствовал объему насыпи. Все подготовительные работы (культуртехнические, планировочные) предусматриваются проектами орошения.

Для выполнения планировочных работ составляется специальный проект на крупномасштабной топографической основе (М 1:2000, 1:1000) с сечением рельефа горизонталями через 0,1 или 0,25 м. Для строительных планировок используют бульдозеры, скреперы, а для окончательного выравнивания поверхности — длиннобазовые планировщики. Важным условием хорошего качества планировочных работ является сохранение гумусового горизонта и плодородия почвенного покрова. С этой целью в последние

годы применяют кулисную планировку орошаемого поля. Кулисная планировка необходима при малой мощности гумусового горизонта, а также в тех случаях, когда мощность слоя срезки и насыпи превышает 15–18 см. При кулисной планировке предусматривается предварительная срезка гумусового горизонта и его складирование в буртах. В дальнейшем для восстановления плодородия почвы после планировки поверхности гумусовый горизонт вновь наносят на спланированный участок.

На спланированных площадях обязательно предусматривают внесение крупных доз минеральных и органических удобрений. После завершения капитального строительства и сдачи объекта в эксплуатацию в процессе использования орошаемого массива выполняют эксплуатационную планировку. Она может быть текущей и ремонтной. Задачей эксплуатационной планировки является поддержание выровненности поля, которая нарушается при поливах, обработке и использовании. Текущая эксплуатационная планировка заключается в ежегодном предпосевном выравнивании орошаемого поля при выполнении обычного цикла агрономических работ. В этом случае нивелируют с помощью волокуш неровности высотой 10–12 см и длиной 10–15 м, гребнистость пашни, борозд.

Ремонтную планировку выполняют один раз в ротацию севооборота в тех случаях, если на орошаемом поле появляются неровности высотой 25–40 см и протяженностью 35–40 м. Ремонтные планировки проводят длиннобазовыми планировщиками и грейдерами.

На рисовых полях возможно выполнение планировочных работ мокрым способом: чек заполняют водой слоем до 10 см. Планировку по воде производит трактор, колеса которого имеют специальные уширители для улучшения проходимости по мокрому полю. При этом используют брус-планировщик. При такой планировке повышается качество работ, меньше тяговые усилия, снижаются потери воды на фильтрацию в результате интенсивной кольматации подпахотных горизонтов тонкой минеральной взвесью. Поле, освобожденное от помех для обработки и выровненное для полива, может быть весьма эффективно использовано в орошаемом земледелии. Технические, социальные и хозяйственные, природные, прежде всего почвенно-мелиоративные, условия определяют выбор конкретного способа орошения.

6.2. ПОВЕРХНОСТНОЕ ОРОШЕНИЕ

Различают следующие виды поверхностного орошения: напуском по полосам, бороздам, затоплением. Независимо, однако, от вида орошения при поверхностном поливе вода всегда движется по поверхности почвы.

6.2.1. ПОЛИВ НАПУСКОМ ПО ПОЛОСАМ

Полив напуском по полосам используют при орошении узкорядных культур, культур сплошного сева и при влагозарядковых поливах на почвах разной водопроницаемости. Существенное преимущество полива по полосам заключается в том, что равномерный слой воды, покрывающий поверхность почвы, не вызывает перераспределения солей, их миграции к неполиваемым участкам поверхности. Такой полив приводит к известному перемещению солей в глубь почвенного профиля.

Недостатком полива по полосам является разрушение структуры, коркообразование, перемещение и смыл частиц почвенного мелкозема. Для образования поливных полос применяют полосообразователи различных типов. Полосообразователи формируют на поверхности орошаемого участка невысокие земляные валики высотой 12–18 и шириной в основании 45–60 см, которые ограничивают размер полосы и направляют движение воды.

Расстояние между валиками делают кратным захвату сеялок (3,6; 7,2 м и т.д.). Чем меньше расстояние между валиками, тем легче распределить воду на поливной полосе, но тем труднее применить комплексную механизацию, произвести уборку зерновых, сенокошение. При этом, кроме того, снижается коэффициент земельного использования. В последнее время получил распространение полив напуском по широким полосам с расстояниями между земляными валиками до 20–30 м. Предельно допустимую длину полосы при проектировании полива по полосам определяют по формуле

$$l = \frac{q \cdot t \cdot 10000}{m},$$

где q — расход воды на 1 м полосы, м³/с; t — время полива, с. Для расчета t используют следующую зависимость:

$$t = \left(\frac{m}{10000 \cdot k_0} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}},$$

где m — поливная норма, м³/га; α — показатель степени, зависящий от свойств почв (обычно равен 0,2–0,6); k_0 — средняя скорость впитывания за первый час, м/с. Параметры k_0 и α определяют при изучении в полевых условиях процесса впитывания поливной нормы. По А.Н. Костякову, $k_{\text{ср}} = k_0 / t^\alpha$, где $k_{\text{ср}}$ — средняя скорость впитывания поливной нормы за период впитывания t . Наиболее распространенная длина полос — 150–200 м. В некоторых случаях длина полос достигает 400 м и более. Вода на полосу поступает из временного оросителя через выводную борозду (рис. 55). Подачу воды на полосу при благоприятном рельефе производят головным напуском или при сложном рельефе — головным и боковым напусками. Из выводной борозды вода на

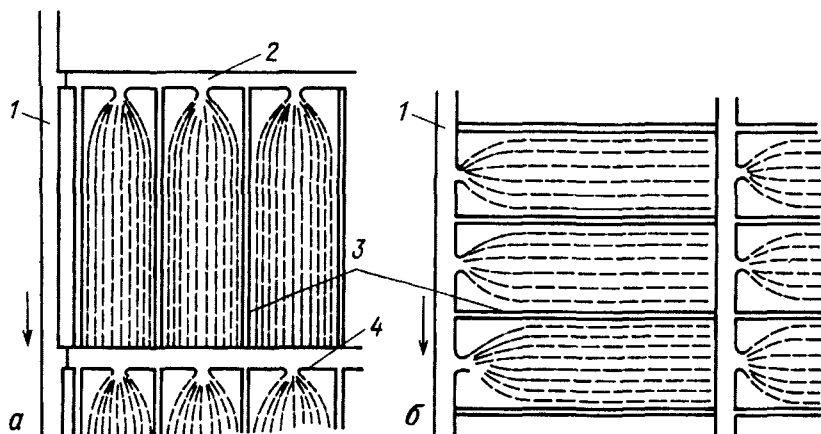


Рис. 55. Расположение поливных полос:

а — параллельно временным оросителям $i < 0,005$; *б* — перпендикулярно временным оросителям при $i > 0,005$.
 1 — временный ороситель; 2 — выводная борозда; 3 — валик; 4 — поливная трубка, щиток или сифон

полосу поступает через сифоны или через небольшие земляные разъемы. Полосы устраивают всегда перпендикулярно или под углом к горизонталям. В зависимости от размера полосы меняется удельный расход поливной струи. Удельным расходом поливной струи называют объем воды, подаваемый в одну секунду на один метр ширины полосы. Полив напуском по полосам выполняют после тщательной планировки поверхности. Поливальщик движется перед фронтом воды и мотыгой регулирует ее равномерное движение. Полив заканчивают после того как вода прошла $2/3$ длины полосы. Скорость движения воды при поливе по полосам не должна превышать в супесчаных, суглинистых и глинистых почвах $0,15—0,30$ м/с. Для юга России рекомендованы следующие параметры поливных полос в зависимости от скорости впитывания воды в почву и уклона орошаемого участка (табл. 12).

Из табл. 12 следует, что чем больше уклон поверхности, тем длиннее могут быть поливные полосы. Техника полива тесно связана с физическими свойствами почв, особенно с их водопроницаемостью. С увеличением скорости впитывания уменьшается длина поливных полос и увеличивается удельный расход воды. Полив по полосам не производят при уклонах, больших $0,02$.

Параметры поливных полос в зависимости от скорости впитывания и уклона орошаемого участка (рекомендации ЮЖНИИГиМ)

Средняя скорость впитывания воды в почву с поверхности, мм/мин	Уклон орошаемого участка	Длина полосы, м	Удельный расход воды, л/с · м
> 1,5	0,002–0,004	250–300	8–6
	0,004–0,007	300–350	6–5
	0,007–0,01	350–400	5–4
1,5–3,0	0,002–0,004	200–250	10–8
	0,004–0,007	250–300	8–6
	0,007–0,01	300–350	6–5
> 3,0	0,002–0,004	150–200	12–10
	0,004–0,007	200–250	10–8
	0,007–0,01	250–300	8–6

Следует иметь в виду, что при поливе напуском по полосам, особенно при применении широких (до 20–25 м) и длинных (300–500 м) полос, можно получить сельскохозяйственную продукцию с минимальной себестоимостью. Однако этот полив (как и затопление) оказывает наиболее неблагоприятное влияние на физические свойства почв и их плодородие. Поэтому при его использовании особенно важны мероприятия по защите почв от деградации.

6.2.2. ПОЛИВ ПО БОРОЗДАМ

Среди способов поверхностного полива полив по бороздам является наиболее совершенным. Он может быть использован на всех основных орошаемых почвах, не требует значительных объемов планировочных работ. Полив по бороздам не вызывает столь интенсивного разрушения структуры, как полив по полосам. Наконец, по сравнению с другими видами поверхностного полива он наиболее экономичный в отношении затрат воды, поскольку позволяет применять значительно меньшие поливные нормы. Его отрицательные особенности заключаются в том, что при поливе слабосолончаковых почв на гребень поливной борозды по капиллярам может перемещаться некоторое количество легкорастворимых солей.

Полив по бороздам применяют для орошения пропашных культур (овощных, хлопчатника, кукурузы), плодовых насаждений и виноградников. Различают глубокие и мелкие, проточные и тупые, затопляемые и незатопляемые поливные борозды. Наиболее распространенными являются проточные борозды, в которых вода впитывается в почву при движении. При достижении водой конца борозды должна впитываться вся заданная поливная норма без сброса. Полив по проточным бороздам со сбросом обычно применяют в горных районах при больших уклонах по-

верхности (0,03–0,05). В этом случае вода, поданная в голову борозды, проходит ее полностью и поступает на сброс, не задерживаясь в конце. Она перехватывается затем выводной бороздой и используется для полива почвы на ниже расположенном участке. Такие поливы по проточным бороздам со сбросом используют на почвах с неразвитым или укороченным профилем, с близким залеганием галечника. В этом случае применяют мелкие борозды.

Полив по тупым затопляемым бороздам производят на почвах с низкой водопроницаемостью, где невозможно впитывание поливной нормы за время движения воды по борозде. Полив по тупым затопляемым бороздам применим на участках с малыми уклонами поверхности (менее 0,005), так как это позволяет равномерно увлажнять почву и исключает возможность переполнения нижних частей поливной борозды. При поливе по бороздам вода из временного оросителя поступает в выводную (секционную) борозду и затем из нее через переносные сифоны (рис. 56) или трубы — в борозду. Применяют две схемы расположения борозд и временных оросителей — продольную и поперечную. При продольной схеме временный ороситель располагают вдоль поливных

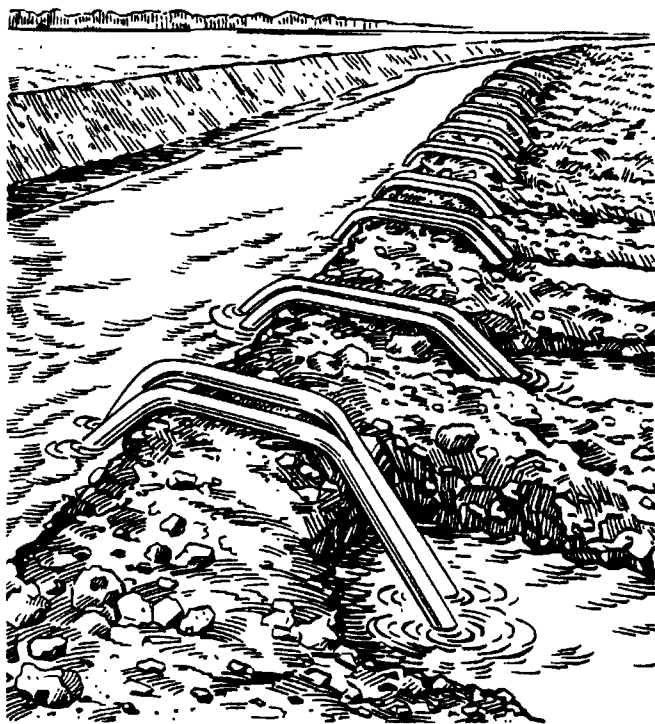


Рис. 56. Подача воды сифонами из оросителя в поливные борозды (В.В. Колпаков, И.П. Сухарев, 1981)

борозд, при поперечной — перпендикулярно поливным бороздам (рис. 57). Вода в борозды как в первом, так и во втором случаях поступает из выводных борозд. Применение схем зависит от уклона поверхности. Обе схемы применяют при уклонах 0,005–0,01. При уклонах менее 0,005 временные оросители при бороздовом поливе применяют по продольной схеме. Оптимальный уклон временных оросителей 0,001–0,005.

Длина поливных борозд находится в прямой зависимости от уклона поверхности (табл. 13).

Глубина поливных борозд определяется следующими условиями. Мелкие борозды имеют глубину 15–20 см, ширину по верху 30–45 см. Глубокие борозды устраивают глубиной 20–30 см и шириной 45–60 см. Мелкие борозды применяют для культур с узкими междурядьями и при ленточных посевах в пахотных горизонтах легких почв с хорошей водоотдачей. Глубокие борозды прокладывают в почвах с низкой водоотдачей, они рассчитаны на большой объем заполнения. Расстояние между бороздами обусловлено шириной междурядий возделываемых культур и физическими свойствами почв. Для равномерного увлажнения необходимо вести полив таким образом, чтобы произошло смыкание контуров промачивания (рис. 58).

Контуром промачивания называют ареал увлажнения поливной нормой верхних слоев почвенного профиля в плоскости, нормальной к оси борозды. Ареал контура промачивания установ-

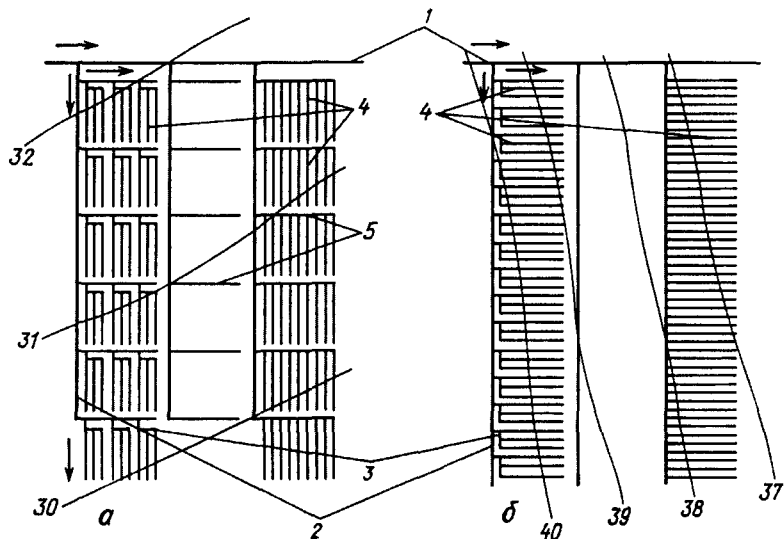


Рис. 57. Схема расположения временной оросительной сети:
а — продольная; б — поперечная; 1 — распределительные каналы; 2 — временные оросители; 3 — распределительные борозды; 4 — поливные борозды; 5 — выводные борозды; 30–32, 37–40 — горизонтالي

Параметры поливных борозд и расходов воды в зависимости от водопроницаемости почв и уклона поверхности для вегетационных поливов (рекомендации ЮЖНИИГМ)

Средняя скорость впитывания воды в почву с поверхности, мм/мин	Уклон орошаемого участка	Длина полосы, м	Расход воды в борозде, л/с
< 1,5	0,002–0,004	250–300	1,5–1,2
	0,004–0,007	300–350	1,2–0,8
	0,007–0,01	350–450	0,8–0,5
1,5–3,0	0,002–0,004	200–250	1,5–1,2
	0,004–0,007	250–300	1,2–1,0
	0,007–0,01	300–400	1,0–0,8
> 3,0	0,002–0,004	120–200	2,0–1,5
	0,004–0,007	200–250	1,5–1,2
	0,007–0,01	250–350	1,2–1,0

ливают эмпирически, путем непосредственного определения в полевых условиях после нормированного увлажнения почвы при поливе по бороздам. Если наблюдения показывают отсутствие смыкания контура промачивания, то расстояние между осями борозд уменьшают. В легких и структурных тяжелых почвах при поливе по бороздам происходит более глубокое промачивание профиля, но здесь слабее капиллярное растекание влаги в боковом направлении по сравнению с тяжелыми почвами. Поэтому на легких почвах обычно борозды устраивают с меньшими расстояниями между их осями, чем на почвах тяжелого гранулометрического состава. При поливе по бороздам примерно 35% площади увлажняется в результате непосредственного соприкосновения с водой, 65% — за счет капиллярного перемещения воды. Площади, орошаемые по бороздам, характеризуются большим коэффициентом земельного использования, чем орошаемые напуском по полосам.

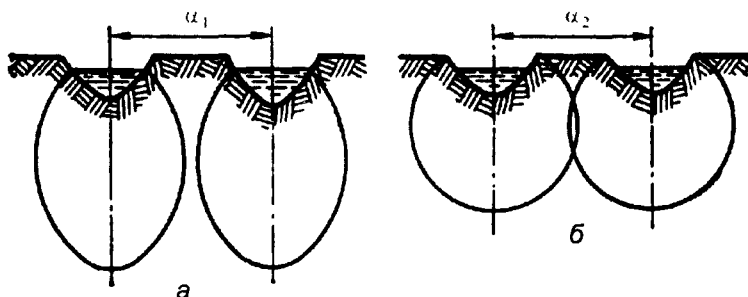


Рис. 58. Контуры промачивания легких (а), средних и тяжелых (б) почв при поливе по бороздам (α_1, α_2 — расстояния между осями борозд)

6.2.3. ПОЛИВ ЗАТОПЛЕНИЕМ

Полив затоплением, наиболее древний способ орошения, применяют для возделывания тех культур, которые способны выносить кратковременное затопление слоем воды. Кроме того, такой полив используют для влагозарядки, промывки почв от солей, при орошении риса. Полив затоплением применяют при возделывании риса, лиманном орошении.

Преимущество полива затоплением заключается в его простоте, высокой производительности, а также в том, что он обеспечивает равномерное покрытие поверхности почвы водой (за исключением затопления почвы при лиманном орошении). При поливе затоплением соли равномерно оттесняются в глубокие слои почвенного профиля.

Очевидны, однако, и отрицательные стороны этого полива. При поливе затоплением применяются высокие поливные нормы, что обуславливает возможность быстрого подъема уровня грунтовых вод. Наконец, затопление вызывает возникновение анаэробных условий в поверхностных горизонтах профиля, увеличивает подвижность органического вещества, разрушение почвенной структуры, коркообразование, слитизацию и другие неблагоприятные явления.

Полив затоплением осуществляют по чекам или по обвалованным участкам. Площадь чека обычно составляет 1–50 га. Вода, поступившая в чек из выводной борозды временного оросителя, заполняет его слоем 10–25 см. Такой полив возможен при выполнении тщательных планировочных работ. Неровности рельефа исключают возможность равномерного затопления, обуславливают застой воды в понижениях после окончания полива и вымокание культур. Поэтому при затоплении не допускается перепад высотных отметок на поле более 0,2–0,3 м. Вода в чеки подается из временных оросителей через распределительную борозду. Каждый чек обслуживает одна такая борозда. При поливе затоплением используют значительные удельные расходы воды. Так, при поливе затоплением чек площадью 4–5 га удельный расход воды составляет 20–40 л/с · га, при площади чека 15–20 га удельный расход увеличивается до 60–80 л/с · га, при 40–50 га — соответственно до 100–150 л/с · га.

6.2.3.1. ОРОШЕНИЕ РИСА

Рис — основной продукт питания более половины населения земного шара. На протяжении многих веков он возделывается на поливе. Это весьма урожайная зерновая культура. Рис выращивают в странах тропического и субтропического климата, где в течение одного года в условиях полива удается получать 2–3 урожая (рис.59). Рис — теплолюбивая культура. Она растет там, где сумма

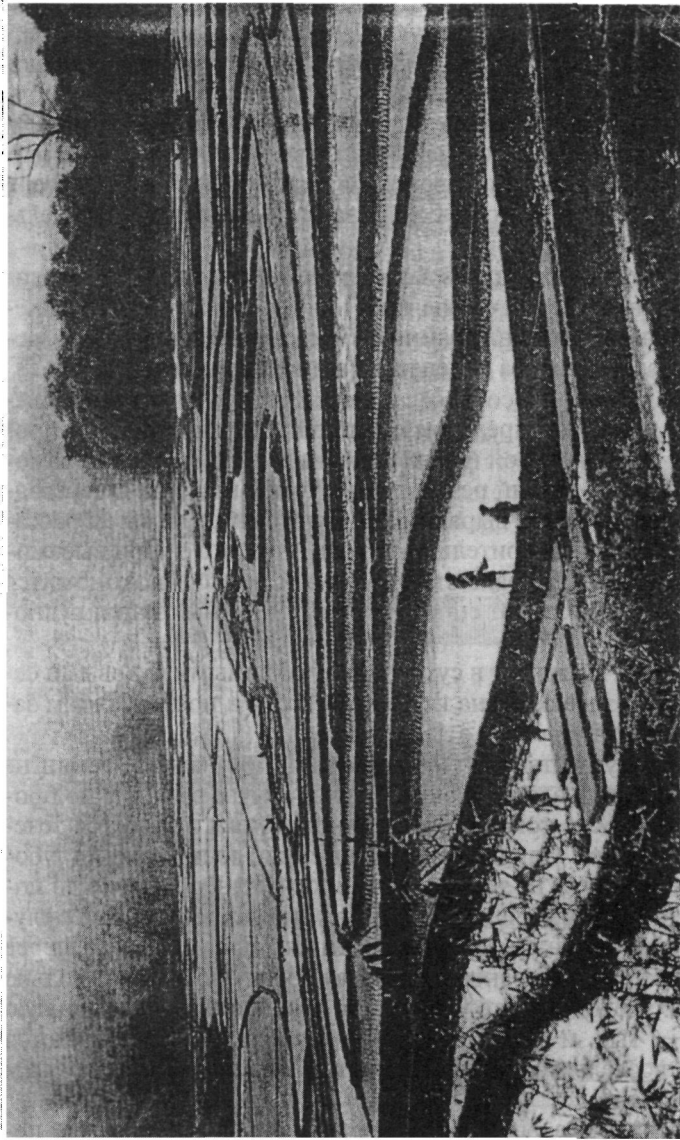


Рис. 59. Оросительная рисовая система во Вьетнаме. Фото Нгуен Суан Хай

активных температур превышает 3000°. В нашей стране рис выращивают в Краснодарском и Ставропольском краях, в Ростовской области, в Южном Поволжье, на Дальнем Востоке, в Приморском крае в бассейне оз. Ханка, в республиках Северного Кавказа. В целом в России, по данным 1973 г., рисовые оросительные системы занимали общую площадь, равную 219 тыс. га. Средняя урожайность риса составляла 38,6 ц/га (Зайцев, 1975). Рис возделывают преимущественно на тяжелых незасоленных или засоленных почвах с низкими значениями водопроницаемости (менее 0,1–0,004 м/сут). Известны, однако, случаи культуры риса на проницаемых почвах, но при этом обычно происходят катастрофические потери воды на фильтрацию и частое заболачивание и засоление сопредельных территорий.

Весьма затруднено возделывание риса на торфянисто- и особенно на торфяно-глеевых осушенных почвах, так как при затоплении чеков происходит всплывание значительных масс торфа, осложняющих развитие риса и перетекание воды по чекам.

Известны разные способы сева риса. В старых районах орошения его сеют в воду на предварительно затопленные и спланированные поля. В США с этой целью используют высев семян с самолета. Более благоприятный результат получают при севе с пересадкой. Вначале семена риса выращивают в питомнике, а затем рассаду высаживают на предварительно затопленном поле. При высаживании риса рассадой сокращается поливной период и экономится поливная вода. Однако этот способ требует огромных затрат ручного труда.

В России рис высевают в сухую почву обычными рядовыми сеялками с мелкой заделкой (на глубину 1–2 см) и последующим затоплением.

Хорошие результаты можно получить и при заделке семян на глубину 4–5 см во влажную почву. В этом случае затопление производят только после того, как поверхность поля покроется зелеными всходами риса. Однако если почва сухая, то при такой глубокой заделке рис может не взойти. В этом случае необходимо до посева произвести влагозарядковый полив. Способ посева риса с глубокой заделкой семян имеет определенные преимущества перед обычным: сев проводят раньше, первую подачу воды дают только после полных всходов. Это позволяет уменьшить оросительную норму (на 3–4 тыс. м³/га). Созревание и уборка риса начинаются раньше. Рис возделывают в севообороте с люцерной (на Дальнем Востоке — с соей).

Рис орошают (рис. 60) затоплением (затопляемый рис) или периодическими поливами (увлажняемый рис).

Наиболее распространенным является орошение затоплением. При этом в зависимости от почвенных условий применяют три типа водных режимов. Постоянное затопление применяют

на засоренных и засоленных (сильнозасоленных) почвах (токсичных солей более 2%) с коэффициентом фильтрации (K_f) менее 0,5 см/сут. Однако такой полив дает изреженные всходы риса. Лучшим является режим укороченного затопления, при котором всходы посевов не затапливают. Он используется на незасоленных или средnezасоленных почвах с K_f более 0,5 см/сут. Прерывистое затопление применяют на водопроницаемых почвах. Интервалы между фазами затопления в этом случае составляют 5–6 сут. Это позволяет в два раза и более сократить оросительную норму.

Периодическое орошение (рис. 60) применяют во влажных районах, используя относительно небольшие поливные нормы для дополнительного увлажнения растений. Как правило, однако, урожаи увлажняемого риса оказываются ниже, чем затопляемого.

Одним из вариантов полива затоплением является культура так называемого плавающего риса в странах тропической зоны (Вьетнам, Индия и др.). Это возможно в поймах, где рис затапливается мощным слоем паводковых вод (до 2–3 м). Растения развивают в этот период длинный и эластичный стебель.

Поливные карты рисовой оросительной системы (длина 400–1500, ширина 150–200 м) разделены земляными валиками на чеки. Площадь чека может быть от 0,25 до 4 га. Чек формируют земляные

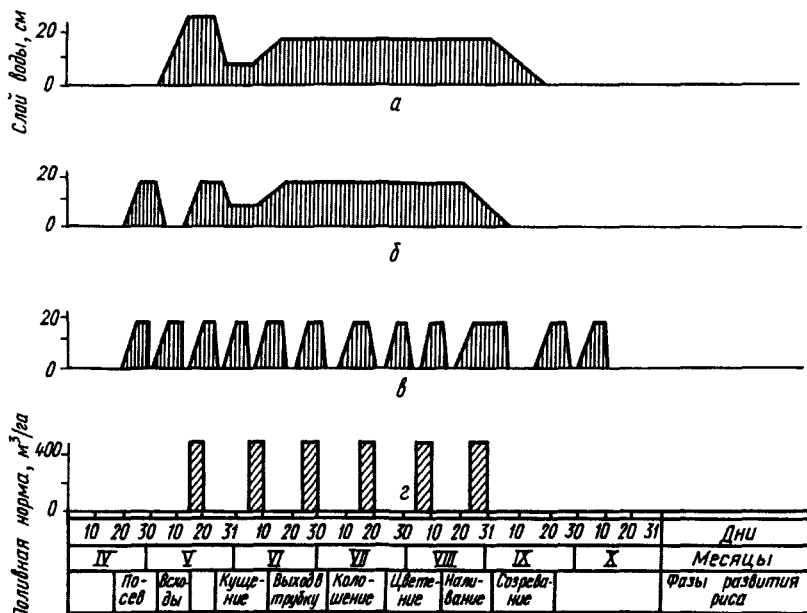


Рис. 60. Режимы орошения риса (Л.В. Скрипчинская и др., 1977):

а — постоянное затопление; б — укороченное затопление; в — прерывистое затопление; г — периодические поливы

валики, проложенные параллельно ходу сельскохозяйственных машин и направлению картового оросителя (продольные валики) и перпендикулярно ходу машин (поперечные валики). Поперечные валики не должны препятствовать свободному движению сельскохозяйственной техники, поэтому откосы у поперечных валиков делают более отлогими, чем у продольных (соответственно 1:4 и 1:1,5). Возможно применение временных валиков, которые запахи-вают после уборки урожая. Чеки по уклону местности располагают цепочкой для последовательного перетекания воды из одного в другой самотеком. Вместе с тем подача воды может быть параллельной, т.е. одновременно в несколько чеков с выводом воды в сбросной канал.

Для подготовки территории к орошению выполняют планировку поверхности. После тщательной планировки поле увлажняют и засевают, используя сеялки. В нашей стране в отличие от стран Юго-Восточной Азии не применяют посев риса по предварительно затопленным участкам. После появления всходов поверхность затопляют тонким (5 см) слоем воды. При этом должны оставаться свободными от затопления поверхностные части растений. Слой воды с 5–10 см в начале полива может достигнуть затем высоты 15–25 см. В начале кушения он уменьшается до 5–7 см, а после этого вновь повышается до 10–15 см и поддерживается до наступления молочной спелости зерна. В фазу молочной спелости уровень воды понижают, в фазу восковой спелости воду с участка полностью сбрасывают. После уборки урожая производят подсушивание почвы. Без орошения рис возделывают только в гумидных районах с осадками более 1000–1500 мм в вегетационный период (рис. 1.28, 1.29).

Рис с периодическим орошением выращивают с применением частых (до 10) поливов с повышенной оросительной нормой (5–7 тыс. м³/га). Рис обладает мощной аэренхимой — тканью, легко проводящей кислород воздуха. Корни риса создают вокруг себя в почве микрозоны, в которых поддерживают благоприятные для растений окислительно-восстановительные условия. Рис — гидрофильная культура, но она требует интенсивного проветривания почвы после уборки каждого урожая. С этой целью на рисовых системах устраивают кротовый или гончарный дренаж, производят шелевание, возделывают рис в системе рисово-люцерновых севооборотов и т.д.

Рисосеяние позволяет получить не только значительную массу зерна, но и улучшить свойства засоленных почв, мелиорировать их в результате промывки поверхностных слоев крупными поливными нормами. Кроме того, длительное затопление рисового поля имеет и ряд других положительных результатов — подавляется жизнедеятельность сорняков, увлажняются приземные слои атмосферы. Однако если в этих условиях не предусмотрены дренаж и защи-

та окружающей территории от затопления и подтопления, то на периферии орошаемого рисового участка развивается интенсивное засоление и заболачивание почв, происходит их быстрая деградация. Поэтому дренаж — важный элемент эффективной и культурной организации рисового поля.

Отсутствие дренажа, нарушение севооборотов являются причиной быстрого развития в почвах рисовых систем анаэробных условий и, как следствие, интенсивного глееобразования. Результатом этого спровоцированного антропогенным воздействием вторичного процесса является накопление в ризосфере двухвалентных токсичных металлов — железа и марганца, появление метана, сероводорода, фенолов и полифенолов, других токсичных веществ. Развитие глееобразования идет особенно интенсивно в почвах, обогащенных органическим веществом, тяжелого гранулометрического состава. Именно такими являются почвы плавней Кубани и других рек, а также многие пойменные, черноземные, черноземовидные, лугово-черноземные, луговые глеевые почвы районов рисосеяния России. Развитие анаэробных условий опасно и в почвах, содержащих сульфаты, поскольку в результате активной сульфатредукции этих солей резко увеличивается концентрация сероводорода. Наряду с прямым отрицательным токсическим действием сероводорода образующийся сульфид железа может покрывать черной пленкой молодые корни риса, в которых еще не развита аэренхима. Эта пленка нарушает контакт корневых волосков с почвой, препятствует обмену и в конечном итоге отрицательно влияет на рост и развитие растений, на формирование урожая.

Именно эти явления оказались причиной систематического снижения урожая риса на незасоленных почвах оросительных систем при нарушении севооборота и при отсутствии интенсивного дренажа.

Выше было указано, что площадь орошаемого рисового поля, ограниченная оросителем и сбросным каналом, называется картой. Карта делится земляными валиками на чеки.

Карты могут быть полуинженерные и инженерные. Полуинженерный тип карт принят в США и других странах. Здесь оросительную и сбросную сети строит ирригационная компания, а валики и планировочные работы выполняет фермер. Валики располагаются преимущественно по горизонталям.

В России широкое распространение получили карты краснодарского типа (ККТ).

Карты краснодарского типа явились первым вариантом инженерной конструкции рисовых оросительных систем (рис. 61). Они были созданы в 1932–1933 гг. при непосредственном участии Б.А. Шумакова и П.А. Витте. После широкого производственного испытания такие карты получили широкое применение в практике (Величко, Харченко, 1980).

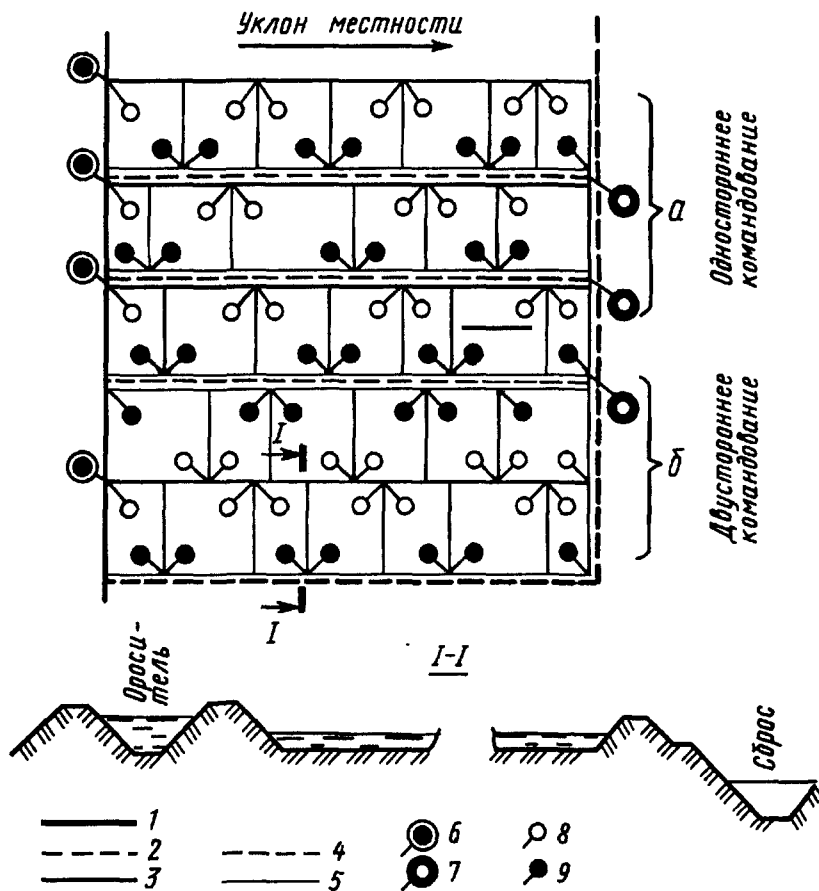


Рис. 61. Схема оросительных карт краснодарского типа рисовой системы:
 1 — участковый распределитель; 2 — участковый сброс; 3 — картовый ороситель;
 4 — картовый сброс; 5 — валики; 6 — водовыпуск из распределителя в ороситель;
 7 — подпорные сооружения в конце сброса; 8 — водовыпуск из оросителя в чек;
 9 — водовыпуск из чека в сброс

Для строительства оросительных рисовых систем с картами краснодарского типа выбирают территории с равнинным малоуклонным рельефом. Карту располагают по направлению основного уклона, перпендикулярно к горизонтали. Оросители, как правило, проектируют с двусторонним командованием. Вдоль каждой карты со стороны, противоположной оросителю, идет картовый сбросной канал, предназначенный в основном для отвода поверхностных вод. При этом на площадях, образованных засоленными почвами, сбросной канал углубляют для того, чтобы он работал как дрена. Ширина карты 150–250 м (средняя 200 м), длина — от 700 до 1200 м. Площадь карты краснодарского типа от 10 до

30 га. Чеки на ККТ, как правило, сквозные, т.е. от оросителя до сбросного канала. Не допускается цепочка более чем из двух чеков на этом расстоянии. Вода из оросителя в чек и из чека в сбросной канал поступает через постоянные сооружения с затворами шандорного типа*.

В ККТ ороситель выполняют в полувыемке-полунасыпи или в насыпи, для того чтобы обеспечить его надежное командование над орошаемым полем.

Расчет величины оросительной нормы для риса, по А.Н. Костякову в модификации Л.В. Скрипчинской, А.М. Янголя и др. (1977), производят по следующей формуле:

$$M = (E + W + F + S_{\text{пр}} + S_{\text{сбр}} + S_{\text{пот}}) - kP,$$

где E — водопотребление рисового поля (5–13 тыс. м³/га соответственно на Дальнем Востоке и в Средней Азии); W — объем воды, идущий на насыщение слоя почвы, м³/га; F — объем воды, идущий на боковую и вертикальную фильтрации воды с рисового поля, м³/га; $S_{\text{пр}}$ — объем воды, необходимый для создания проточности на засоленных почвах с фильтрационной способностью меньше 1–2 см/сут (20–30% от общих затрат на водопотребление и фильтрацию), м³/га; $S_{\text{сбр}}$ — объем поверхностных сбросов воды (1–4 тыс. м³/га); $S_{\text{пот}}$ — величина технических потерь через затворы водовыпусков, принимаемая за 10–15% от $E + F + S_{\text{пр}}$, м³/га; kP — используемые осадки, которые учитываются только в районах рисосеяния Дальнего Востока, м³/га. Фильтрационные потери на рисовых чеках весьма значительные (1–10 тыс. м³/га); на засоленных почвах через 3–4 сут после затопления целесообразно сбросить всю поверхностную воду и удалить весь объем растворенных в них солей.

6.2.3.2. ЛИМАННОЕ ОРОШЕНИЕ

Лиманным орошением называют периодическое орошение почв способом затопления водами поверхностного стока (главным образом водами весеннего стока). С помощью лиманного орошения, как правило, почвы можно полить один раз в год. Собственно лиманом называется орошаемый участок, огражденный в нижней части дамбой (валом), которая задерживает воды весеннего поверхностного стока. После увлажнения почвы лимана и осадения частиц твердого стока на ее поверхности излишняя вода сбрасывается через устроенные в дамбе водовыпуски.

Лиманное орошение имеет очевидное преимущество по сравнению с другими способами поверхностного орошения. Лиманы

* Затвор шандорного типа — водонепроницаемое, подвижное в вертикальном направлении щитовое устройство, обеспечивающее закрытие или открытие водопропускного отверстия.

аккумулируют воды поверхностного стока в мощной толще рыхлых отложений, ограничивая или полностью снимая угрозу линейной и площадной эрозии почв водами весеннего паводка. Они позволяют получить за счет орошения дополнительный объем сельскохозяйственной продукции на территориях, не обеспеченных стабильными водоисточниками, часто в условиях сложного рельефа. Лиманное орошение может способствовать рассолению и рассолонцеванию почв. Оно дешево, не требует сложных инженерных решений и конструкций. Лиманное орошение является важным и пока не-полно использованным фактором повышения плодородия почв степной и сухостепной зон. Особенно широкое распространение лиманное орошение получило в Поволжье, Западной и Восточной Сибири, Казахстане, на Северном Кавказе. Прекрасные луговые угодья (мочаги, утужные земли) издавна использовались населением Хакасии, Бурятии и других районов для получения стабильных и высоких урожаев ценных кормовых трав с помощью лиманного орошения.

К недостаткам лиманного орошения следует отнести одноразовую возможность увлажнения почв; неоднородность увлажнения, особенно на глубоководных лиманах; изменчивость площади орошения по годам в зависимости от их обеспеченности осадками, поверхностным стоком, паводками; орошение территории только с небольшими уклонами (до 0,005).

В зависимости от геоморфологических, рельефных и других условий применяют одноярусные и ярусные (или много-ярусные) мелководные и глубоководные лиманы. К мелководным, обычно многоярусным (рис. 62), относят лиманы с глубиной затопления менее 0,4 м; к глубоководным, обычно одно-ярусным, — лиманы с затоплением поверхности почвы слоем воды более 0,4 м. А.Н. Костяков выделяет следующие типы лиманов.

Лиманы непосредственного наполнения талой снеговой водой, стекающей с вышележащего водосбора.

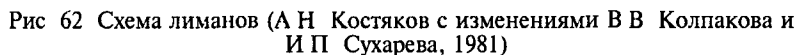
Лиманы, наполняемые сбросными водами из водохранилищ различного типа через особый водоспускной канал или через водообход при плотине. Талая вода после наполнения водохранилищ сбрасывается не в балку, а в лиман. Лишняя вода, не вмещающаяся в лиман, поступает затем в балку.

Поименные лиманы, устраиваемые в редко затопляемых поймах (рис. 62).

В физиологическом и хозяйственном отношении предпочтительнее мелководные лиманы, так как они обеспечивают относительно равномерное увлажнение по сравнению с глубоководными.

Продолжительность затопления лиманов составляет несколько суток. Сроки затопления должны быть увязаны с биологическими особенностями возделываемых культур. Так, для увлажнения естественных трав срок затопления не должен превышать 10–12 сут., лю-

Одноярусные лиманы устраивают на массивах с уклонами 0,001–0,002. При больших уклонах применяют многоярусные лиманы. Территория затопления делится на ярусы земляными валами. Поступающая с водосбора вода вначале заполняет верхний ярус, а затем через водовыпуски в теле валов и через водообходы на



155

концах валов поступает в нижележащие ярусы лимана. Валы на мелководных лиманах имеют высоту 0,5–0,8 м, на глубоководных — 2 м и более. Валы мелководных лиманов делают проходимыми для сельскохозяйственных машин с откосами 1:4 или 1:5. Откосы валов укрепляют посевами луговых многолетних трав. Валы глубоководных лиманов строят так же, как невысокие земляные плотины. Площадь мелководного лимана без сброса талой воды определяют по формуле

$$\omega = \frac{W_p}{M},$$

где ω — площадь лимана нетто, га; W_p — объем стока расчетной обеспеченности, м³; M — оросительная норма, м³/га.

Нормы лиманного орошения значительно больше, чем поверхностного орошения напуском по полосам. Их расчет выполняют с учетом основных статей водного баланса:

$$M = E - 10\alpha \cdot \Sigma_p - W_{гр} - W,$$

где E — водопотребление, м³/га; Σ_p — сумма осадков за вегетационный период 25 или 50% обеспеченности, мм; α — коэффициент использования осадков; $W_{гр}$ — объем грунтовых вод, используемых растениями, м³/га; W — запас воды в почве перед началом снеготаяния, м³/га; 10 — коэффициент перевода мм в м³/га (1 мм = 10 м³/га).

Поскольку в годы разной влажности площадь орошения лиманной системы может существенно варьировать, в ряде случаев лиманы устраивают с дополнительной подпиткой. В маловодные годы на те участки, которые оказались не обеспеченными водой, подается дополнительный объем влаги с помощью передвижных насосных станций. Эти мероприятия, однако, не могут полностью компенсировать дефицит влаги в почвах на системах лиманного орошения в засушливые маловодные годы.

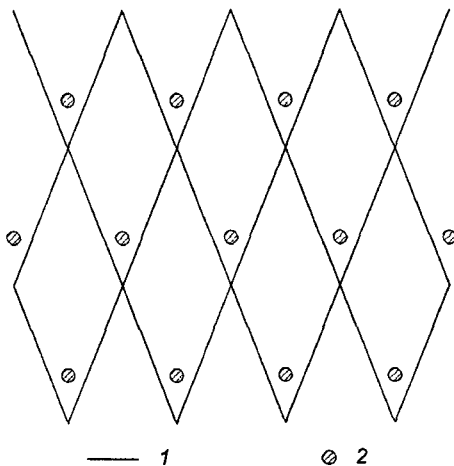
Лиманное орошение является эффективным видом ирригации почв с использованием вод поверхностного стока. Оно не только улучшает водный режим почв и создает необходимые условия для жизнедеятельности сельскохозяйственных растений за счет дополнительной влагозарядки, но и защищает территорию от линейной эрозии. Этот способ поверхностного орошения относится к весьма эффективным и древнейшим мероприятиям по оптимизации водного режима почв с помощью весьма несложных гидротехнических приемов. Очевидна его высокая хозяйственная и экологическая эффективность в соответствующих почвенно-гидрологических условиях.

Лиманное орошение в зависимости от природных и экономических условий имеет разные конструктивные формы. Выше были рассмотрены три варианта лиманов, получивших распространение

в мировой практике: лиманы непосредственного наполнения водой местного стока, поступающего с вышележащего водосбора; лиманы наполнения водой из водохранилищ и пойменные лиманы, аккумулирующие воды речного паводка (намывные русловые воды). Наиболее распространенными являются лиманы на местном стоке. В степной и полупустынной зонах они служат для возделывания преимущественно кормовых культур. Однако в научной литературе описаны случаи широкого применения лиманного орошения в пустынной зоне на основе использования вод поверхностного стока. Так, около 1000 лет до новой эры на территории современного государства Израиль в глинистой пустыне Негев при норме осадков 150–200 мм/год для дополнительного увлажнения почв водами зимних жидких осадков и возделывания плодовых деревьев были созданы весьма своеобразные системы лиманного орошения. Их основная конструктивная особенность заключалась в следующем. Для сбора зимних осадков и дополнительной аккумуляции влаги в ризосфере территория, обладающая незначительным уклоном и низкой водопроницаемостью почв, разбивалась на обвалованные ромбовидные чеки. Площадь каждого чека составляла около 150 м². В нижней части такого ромба (чека) по его основной (наибольшей) оси высаживалось одно плодовое дерево, к которому поступал весь объем поверхностного стока зимних осадков (рис. 63). За счет ежегодно повторяющейся влагозарядки плодовые деревья нормально развивались и производили урожай ценных плодов. Такие оросительные системы, занимавшие в древности значительные площади, были обнаружены сравнительно недавно после детальной аэрофотосъемки местности. В последние десятилетия такие системы частично восстановлены. Их используют в современном сельском хозяйстве для получения плодов садовых культур (главным образом апельсинов) в условиях пустынного климата. Эти системы, основанные на регулировании и сборе вод поверхностного стока, получили в англоязычной литературе название *runoff system*.

Рис. 63. Схема размещения ромбовидных чеков для сбора зимой вод поверхностного стока и влагозарядки почв в глинистой пустыне Негев на древних оросительных системах с целью возделывания садовых деревьев (площадь чека — 150 м²).

- 1 — валик ромбовидного чека;
2 — садовое дерево



6.2.4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИЕМОВ ПОВЕРХНОСТНОГО ПОЛИВА

Полив традиционными способами орошения по полосам и бороздам связан с большими затратами физического труда и воды. При этом производительность труда остается весьма низкой — 0,3–0,6 га в смену. Тщательная планировка поверхности позволяет существенно удлинить поливные полосы и борозды (до 400–500 м и более) и увеличить ширину поливных полос. Это мероприятие повышает выработку поливальщика за смену до 3–4 га. Тем не менее и такой уровень производительности труда является невысоким. Вместе с тем поверхностное орошение напуском по полосам и бороздам, особенно в хлопкосеющих районах, будет длительное время оставаться основным способом орошения. Поэтому необходимо дальнейшее совершенствование этого способа орошения. Оно связано с улучшением системы распределения воды из оросителей в борозды и полосы, а также с использованием металлических и гибких пластмассовых трубопроводов для пуска воды в борозды и на полосы. Повышение производительности труда при поверхностном орошении возможно и за счет механизации водоподачи на орошаемое поле, сокращения фильтрационных потерь путем замены временных земляных оросителей закрытыми трубопроводами различного вида, более эффективного использования территории.

Пластмассовые и алюминиевые сифоны и трубки для выпуска поливной воды из выводных борозд и оросителей облегчают одновременный и нормированный выпуск в поливные борозды и на полосы оросительной воды.

Для одновременной подачи воды через трубки и сифоны выводные борозды и картвые оросители нарезают с минимальным уклоном (до 0,0005). Наиболее удобными являются полиэтиленовые трубки. Трубки и сифоны устанавливают на весь сезон. Расход воды в поливную борозду зависит от напора воды и диаметра трубки. При правильной установке труб и сифонов можно одновременно включать до 100–200 поливных борозд.

Металлические и гибкие полиэтиленовые и капроновые поливные трубопроводы для распределения поливной воды прокладывают вместо выводных борозд. Металлические трубопроводы составляют из труб длиной 5 м с отверстиями через 60–70 см по межбороздным расстояниям. В зависимости от напора в трубопроводе отверстия пропускают расход воды от 0,3 до 1,5 л/с. Длина разборного металлического поливного трубопровода — 150–200 м и более. Чем меньше уклон трубопровода, тем большее количество поливных борозд он может обслужить. Преимущество гибких трубопроводов заключается прежде всего в том, что при их укладке и свертывании исключается ручной труд. Эти

операции осуществляются механически с помощью намоточного устройства, смонтированного на тракторе. Гибкие трубопроводы, как и металлические, имеют отверстия, через которые вода выливается в борозды. При необходимости отверстия можно закрыть коническими пробками, с помощью которых любой отрезок трубопровода может быть превращен в транспортирующий водовод.

Разработаны поливные устройства из гибких трубопроводов, которые заменяют не только выводные борозды, но и временные оросители. Так, поливное устройство ВНИИГиМ состоит из нескольких транспортирующих трубопроводов длиной 100–200 м, диаметром 350–420 мм и навесного намоточного устройства. Ответвление поливных трубопроводов от транспортирующих происходит через специальные тройники (крестовины). Металлические и гибкие трубопроводы обеспечивают подачу воды в 200–300 поливных борозд от каждого трубопровода.

Недостатком полива из трубопроводов является возможность их быстрого заиливания. Поэтому движение воды в трубопроводе должно осуществляться со скоростью не менее 0,7–0,8 м/с. Содержание твердой взвеси в поливной воде при использовании таких трубопроводов не должно превышать 1 г/л, а ее размер — 0,1 мм.

Система стационарных закрытых подземных трубопроводов, предложенная И.А. Шаровым и Г.Ю. Шейнкиным, предусматривает подачу воды в борозды из асбестоцементных труб, проложенных на глубине 35–45 см от дневной поверхности (рис. 64). Трубы имеют отверстия диаметром 3–9 мм на расстоянии 0,7–1,0 м, из которых вода под небольшим напором изливается на поверхность в виде родников. Выходы воды на поверхность приурочены к началу поливных борозд. Длина закрытого трубопровода 200–300 м. После подъема задвижек вода автоматически поступает в поливные борозды на площади 6–10 га, при этом один поливальщик следит за работой двух трубопроводов, одновременно подающих воду в 500–600 поливных борозд. Стационарная система закрытых подземных трубопроводов особенно эффективна в пред-

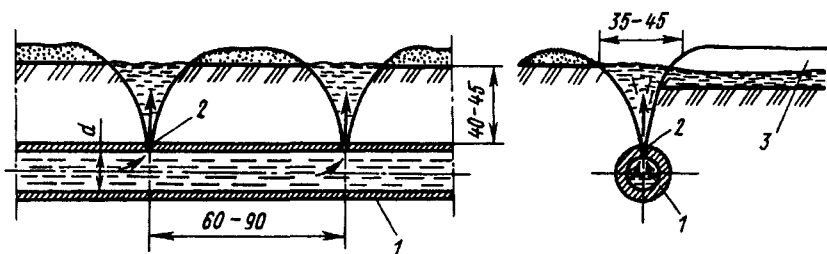


Рис. 64. Схема распределения поливной воды из закрытого трубопровода:
1 — асбестоцементный трубопровод; 2 — водовыпускные отверстия диаметром 3–9 мм; 3 — поливная борозда

горных районах на больших уклонах, где устройство земляных каналов связано с опасностью водной эрозии почв. Недостатком работы стационарных закрытых подземных трубопроводов является возможность заилиenia их отверстий и засорения частицами минеральной взвеси.

Полив культур сплошного сева напуском по широким полосам. Сложность полива по полосам заключается в том, что при движении слоя воды по естественному уклону происходит ее разновременное добегание и в результате этого неоднородное увлажнение. Для того чтобы вода продвигалась равномерно, научно-исследовательским институтом аграрных проблем Хакасии рекомендовано использовать широкие полосы (до 40 м), рассеченные по горизонталям (т. е. поперек уклона) аккумулялирующими бороздами (рис. 65). Поток воды при поливе по полосам тормозится бороздой до тех пор, пока она не заполнится полностью (Тютюкин, 1995). В это время равномерно увлажняется вся площадь полосы выше борозды. Затем происходит ее переполнение, и оросительная вода равномерно по всему фронту устремляется вниз по полосе до следующей поперечной борозды. Применение такого способа полива по широким полосам обеспечивает равномерное увлажнение и повышает производительность труда поливальщиков.

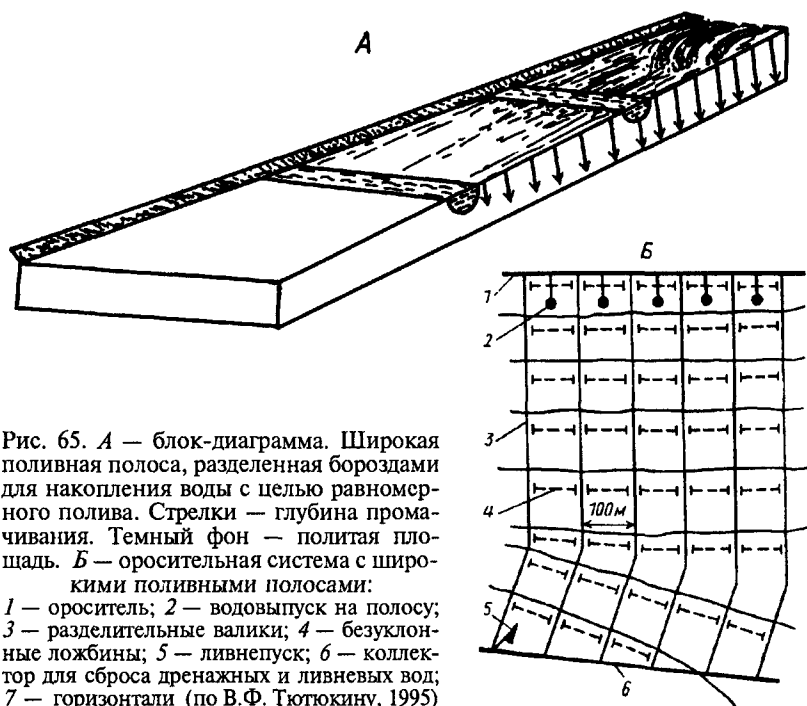


Рис. 65. А — блок-диаграмма. Широкая поливная полоса, разделенная бороздами для накопления воды с целью равномерного полива. Стрелки — глубина промачивания. Темный фон — политая площадь. Б — оросительная система с широкими поливными полосами:

1 — ороситель; 2 — водовыпуск на полосу; 3 — разделительные валики; 4 — безуклонные ложбины; 5 — ливнепуск; 6 — коллектор для сброса дренажных и ливневых вод; 7 — горизонтали (по В.Ф. Тютюкину, 1995)

Полив затоплением крупных чеков получил в последние годы заметное распространение в США (Leonard et al., 1979). Его принцип заключается в том, что крупные участки орошаемого массива подвергаются планировке с использованием лазерной технологии, позволяющей осуществлять выравнивание поверхности с точностью до 1–2 см. На практически безуклонной площади затем производят полив затоплением крупных чеков (до 16 га). Культуры сплошного сева (люцерна, пастбищные травы, зерновые) орошают простым затоплением (рис. 66). Хлопчатник, сорго, подсолнечник, кукурузу орошают по бороздам или полосам. Подачу воды в чек осуществляют из распределителя с помощью одиночных угловых водовыпусков (рис. 67). Вода подается из водовыпусков большими расходами. Благодаря сверхточной планировке поверхности чека разность в скорости продвижения воды по отдельным участкам не отражается на качестве распределения воды и равномерности увлажнения почвы. Эффективное применение этого способа орошения предполагает постоянный контроль за состоянием поверхности чека, наличием водных ресурсов, точным определением поливных норм.

Следует отметить, что внедрение этого нового и эффективного способа полива активно поощрялось американским правительством. Так, фермеру компенсировалось 70% стоимости работ при условии их выполнения в соответствии с утвержденными проектами.

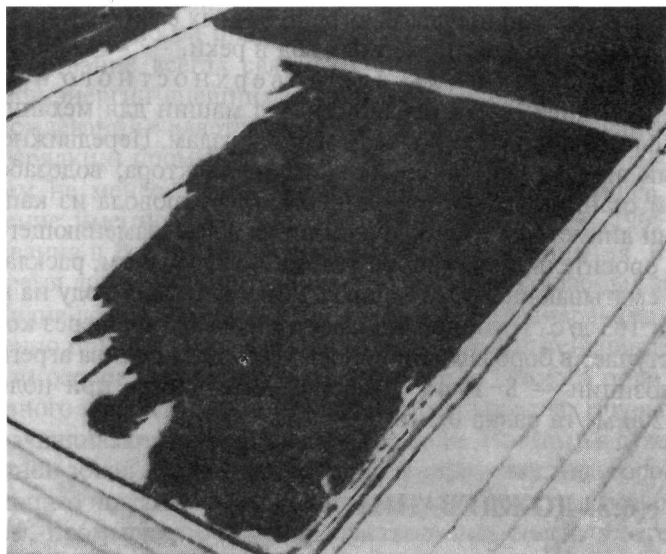


Рис. 66. Полив затоплением по спланированным крупным чекам с помощью одиночных водовыпусков, расположенных в углу каждого чека (на аэроснимке — полив двух верхних чек-ков завершен, третий чек находится в стадии залива. Политая площадь — темная)

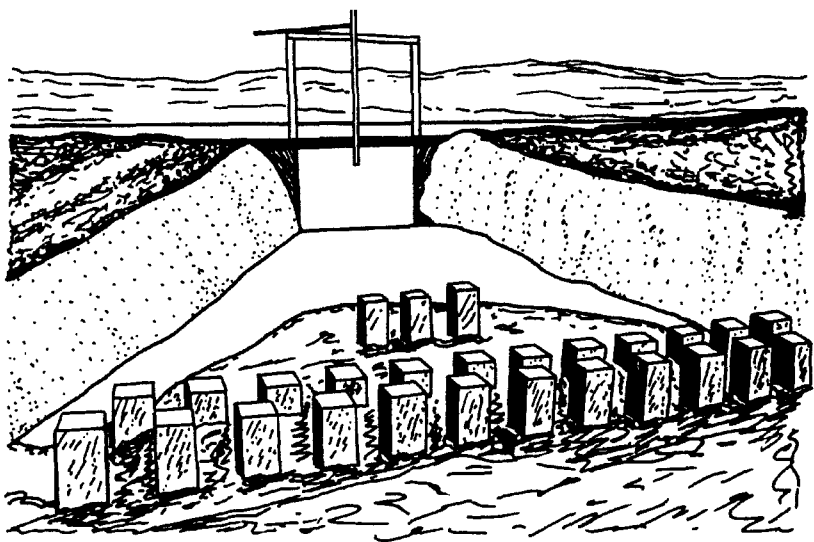


Рис. 67. Угловой водовыпуск для затопления крупных чеков

Внедрение полива затоплением по крупным чекам позволило повысить урожай (за счет равномерного нормированного полива) культур, снизить затраты на полив, сэкономить до 25% оросительной воды. Кроме того, полив чеков, ограниченных валиками, резко сократил объем сброса загрязненных вод в реки.

Поливные машины для поверхностного орошения. В последнее время предложен ряд машин для механизации оросительного полива по полосам или бороздам. Передвижной поливочный агрегат (ППА-165) состоит из трактора, водозаборной насосной станции, гибкого поливного трубопровода из капроновой ткани диаметром 350 мм и длиной до 500 м, заменяющего временный ороситель, и двухосной тележки с барабаном, раскладывающей и сматывающей трубопровод. Агрегат подает воду на поле с расходом 165 л/с. Трубопровод имеет водовыпуски, через которые вода поступает в борозды или полосы. Площадь полива агрегатом с одной позиции — 8–10 га, а производительность при поливной норме $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ равна 0,5 га/ч.

6.3. ДОЖДЕВАНИЕ

Дождевание — способ полива растений с применением специальных устройств, обеспечивающих поступление на поверхность почвы оросительной воды в виде искусственного дождя. Несомненными преимуществами дождевания по сравнению с поверхностными способами полива являются: полная механизация и ав-

томатизация полива; орошение строго нормированными и при необходимости малыми количествами воды; возможность частой подачи воды на орошаемое поле и полива растений по суточному дефициту влажности почвы; применение освежительных поливов.

На хорошо проницаемых почвах для полива дождеванием не требуется интенсивная и особо тщательная планировка поверхности почвы. Дождевание позволяет сочетать полив и подкормку растений, производить внесение ядохимикатов в почву и дефолиацию растений перед уборкой. Поскольку при дождевании отпадает необходимость устройства выводных и распределительных борозд, а часть оросителей, выполненных в глубокой выемке, используется в качестве дрен, несколько (на 3–5%) повышается коэффициент земельного использования.

Наряду с положительными особенностями способ полива дождеванием обладает и определенными недостатками. В ветреную погоду возможен неравномерный полив и снос дождя за пределы орошаемого участка; при применении повышенных поливных норм на поверхности почвы образуются лужи и возникает сток, а на больших уклонах — эрозия.

В аридных районах и в зоне сухих степей при подаче небольших поливных норм (до 300–400 м³/га) не происходит глубокого промачивания почвы. При этом возникает необходимость резкого увеличения числа поливов, затрат энергии, удорожания орошения и рост себестоимости продукции.

Дождевание всегда связано с использованием значительных ресурсов энергии внешних источников. Существенным недостатком дождевания является и то, что его нельзя использовать для влагозарядки и промывки засоленных почв.

Тем не менее нельзя не отметить прогрессирующее распространение именно этого способа орошения. Так, в 1965 г. доля дождевания в России не превышала 7% всего орошения. В настоящее время дождеванием поливают более 50% орошаемых земель.

Полив дождеванием даже при небольшой минерализации воды (особенно при частых поливах) может вызвать интенсивное засоление или осолонцевание почв, так как после каждого полива и интенсивного испарения в самых поверхностных слоях почвы остаются и накапливаются водорастворимые соли. Поэтому в сухостепной и аридной зонах дождевание сочетают с поверхностным орошением. С помощью поверхностного орошения производят влагозарядковые поливы, промывку почв от водорастворимых солей, а вегетационные и освежительные поливы осуществляют путем дождевания.

Дождевание в мелиоративной практике стало широко применяться относительно недавно. В России впервые оно было применено в 1875 г. инженером Аристовым. Затем начались разносторонние исследования в области дождевания. В конце 30-х годов

инженер М.С. Яншин разработал конструкцию двуконсольного дождевального агрегата, массовое серийное производство которого было организовано в конце 40-х — начале 50-х годов. Эта удачная конструкция полностью механизированного дождевального агрегата, смонтированного на тракторе, с несущественными модификациями успешно эксплуатируется до настоящего времени. Одновременно разрабатывались и внедрялись в производство весьма разнообразные конструкции других дождевальных агрегатов, машин и установок.

Одно из основных требований к дождеванию заключается в том, чтобы при поливе не происходило образования луж и не формировался сток, поэтому интенсивность дождя должна зависеть от водопроницаемости почв. Эта взаимосвязь обусловлена тем, что при интенсивности дождя большей, чем водопроницаемость почв, происходит застой влаги на их поверхности, возникают анаэробные явления, происходят слитизация и другие неблагоприятные явления. Если интенсивность дождя ниже водопроницаемости почвы, то в этом случае неоправданно затягивается полив. В общем

Таблица 14

Максимальная допустимая интенсивность дождя
(данные фирмы «Skinner»), мм/мин

Гранулометрический состав почвы	Уклон поверхности							
	0,0—0,05		0,05—0,08		0,08—0,12		> 0,12	
	с растением	без растения	с растением	без растения	с растением	без растения	с растением	без растения
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Крупный песок однородный	0,85	0,85	0,85	0,64	0,64	0,44	0,42	0,21
Крупный песок с компактным подстилением	0,74	0,64	0,53	0,42	0,42	0,32	0,32	0,19
Легкая супесь однородная	0,64	0,42	0,53	0,34	0,42	0,25	0,32	0,17
Легкая супесь с компактным подстилением	0,53	0,32	0,52	0,21	0,32	0,17	0,21	0,13
Суглинки однородные	0,42	0,21	0,34	0,17	0,25	0,13	0,17	0,09
Суглинки с компактным подстилением	0,25	0,13	0,21	0,11	0,17	0,07	0,13	0,04
Тяжелые суглинки и глины	0,09	0,07	0,07	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03

виде интенсивность дождя не должна превышать 0,1–0,3 для тяжелых и 0,5–1,0 мм/мин для легких почв. Интенсивность полива тесно связана с уклоном поверхности, покрытием почвы растительностью, ее гранулометрическим составом (табл. 14).

Важное значение для оценки качества дождя имеет размер капель (Solomon et al., 1990). Он определяет по крайней мере пять следующих факторов: деформацию дождевального факела* под воздействием ветра, потери на испарение и снос ветром, безопасность при орошении дождеванием с использованием сточных вод, снижение инфильтрационной способности почвы в связи с ее уплотнением, проникновение влаги в толщу растительного покрова.

Так, дальность уноса капель дождя в зависимости от их диаметра отражают данные табл. 15.

Мелкие капли значительно легче проникают в гущу ботвы и травостоя, чем крупные, благодаря чему облегчается доступ к растениям воды и содержащихся в ней питательных веществ.

При поливе дождеванием можно ожидать уплотнения и снижения фильтрации почв. Это зависит от силы удара капель, которая определяется их массой и скоростью. Крупные капли ударяются о почву с большей кинетической энергией, чем мелкие. Действие этого фактора не проявляется на участках с плотным травяным

покровом, но оказывает существенное значение при выпадении дождя на незащищенную почву. Вместе с тем дождевой факел с большим содержанием мелких капель — водяной пыли (т.е. менее 1 мм) будет очень восприимчив к изменению направления ветра (табл. 15).

Таблица 15

Дальность уноса капель воды при падении их с высоты 3 м и скорости ветра 1,5 м/с

Диаметр капли, мм	Вид дождя	Дальность уноса капель, м
1	умеренный	1,5
0,5	летний	2,5
0,3	мелкий	4
0,2	то же	5
0,1	туман	15
0,03	облако	145

6.3.1. ВИДЫ ДОЖДЕВАНИЯ И ДОЖДЕВАЛЬНЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Различают обычное и импульсное дождевание.

Обычное дождевание характеризуется тем, что воду на поля подают в виде непрерывного капельного дождя, насыщающего расчетный слой почвы (0,4–0,6 м) до верхнего предела опти-

* Дождевальный факел — общий абрис водного контура, выбрасываемого в атмосферу дождевальной установкой и свободно падающего на поверхность почвы.

мальной влажности (0,9 ППВ—ППВ) и увлажняющего приземный слой воздуха.

Импульсное дождевание отличается обычно циклическостью подачи воды в виде капельного дождя главным образом для освежительного увлажнения растений и поверхностного слоя почвы.

Дождевальная оросительная система состоит из источника орошения, постоянных и передвижных насосных установок, постоянной сети каналов и трубопроводов, временной сети каналов или быстроразборных транспортирующих трубопроводов, стационарных и подвижных дождевальных устройств с системой разбрызгивающих аппаратов.

Оросительная сеть является открытой, если она состоит только из земляных и (или) бетонированных каналов и лотков; полужакрытой — если крупные каналы земляные или бетонированные, а внутрихозяйственная сеть, из которой забирают воду дождевальные машины и установки, состоит из закрытых трубопроводов; закрытой — когда вся оросительная сеть состоит из закрытых трубопроводов.

По своему действию дождевальные оросительные системы могут быть стационарными, полустационарными и подвижными.

На стационарных системах все элементы (т.е. насосные станции, все трубопроводы, дождевальные аппараты) устраивают постоянными. На таких системах целесообразно широко применять автоматику, устанавливая самопогружающиеся дальнеструйные установки в специальных колодцах, откуда они под напором воды поднимаются для полива и опускаются после полива. На автоматизированных стационарных системах устанавливают короткоструйные, среднеструйные и дальнеструйные машины и установки. На таких системах могут быть созданы наиболее благоприятные условия для регулирования режима почв по их влажности на основе использования тензиометров.

На полустационарных дождевальных системах насосные станции, хозяйственные и участковые распределители, групповые оросители (или трубопроводы) устраивают постоянными, оросители и транспортирующие трубопроводы — временными, а дождевальные устройства — самоходными или переносными. В настоящее время именно эти системы получили наибольшее распространение. К подвижным дождевальным агрегатам и машинам относятся ДДН-70, ДДН-100, ДДА-100М(А), «Фрегат», «Волжанка», «Днепр», «Кубань».

Подвижные дождевальные системы отличаются тем, что в них все элементы, т.е. подводящие, распределительные и транспортирующие трубопроводы, состоят из быстроразборных металлических трубопроводов. Их устанавливают обычно на небольших участках, занятых пастбищами, овощными культурами, где нет необходимости пропуска больших расходов воды.

6.3.2. СОВРЕМЕННЫЕ ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА (ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ, МАШИНЫ, УСТАНОВКИ, НАСАДКИ ИЛИ АППАРАТЫ)

Конструкция, создающая искусственный дождь, называется дождевальным устройством. Дождевальным устройством могут быть дождевальные агрегаты, машины, установки, насадки (или аппараты).

Дождевальным агрегатом называется устройство, состоящее из самоходной опоры (несколько опор), смонтированных на ней дождевальной установки и насоса.

Дождевальная машина — устройство, состоящее из самоходной опоры (нескольких опор) и смонтированной на ней дождевальной установки. Напор для работы дождевальной машины создается автономной насосной станцией.

Дождевальной установкой называют дождевальное устройство без самоходных опор. Вода к дождевальным установкам подается по напорной оросительной сети насосными станциями.

Дождевальной насадкой (или дождевальным аппаратом) является дождевальное устройство, состоящее только из распыляющего приспособления (сопла, сопла со вспомогательными соплами и др., рис. 68), которое монтируют на гидранте.

Гидрант — устройство для отбора воды из оросительной трубчатой водопроводной сети (рис. 69).

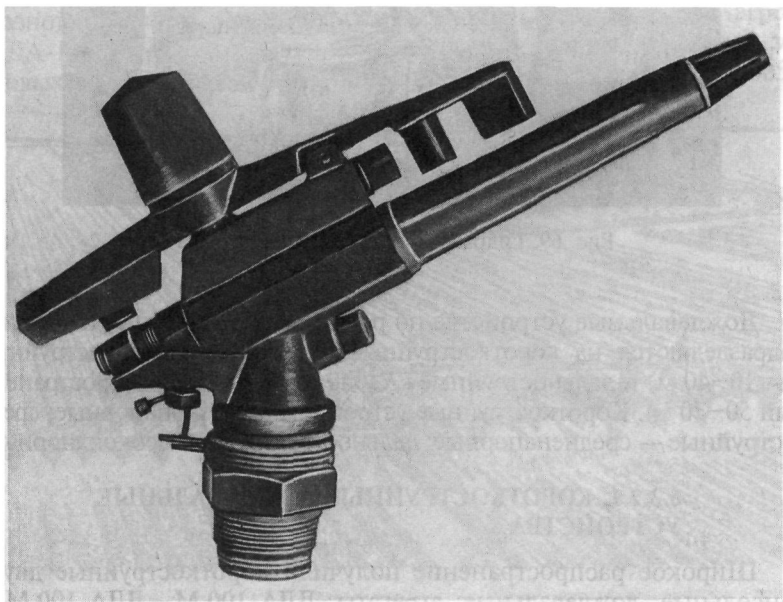


Рис. 68. Дождевальная насадка (аппарат) «Роса-2»

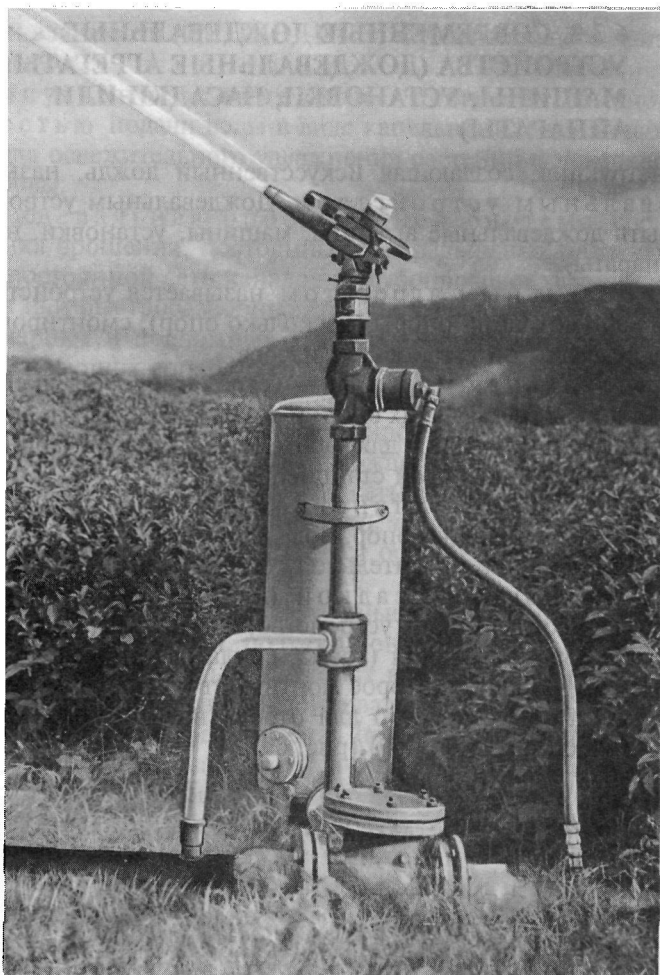


Рис. 69. Гидрант и дождевальная насадка «Роса-2»

Дождевательные устройства по радиусу разбрызгивания подразделяются на короткоструйные ($R \leq 10$ м), среднеструйные $R = 10-40$ м) и дальнеструйные ($R > 40$ м, наиболее распространенный 50–70 м). Короткоструйные устройства — низконапорные; среднеструйные — средненапорные; дальнеструйные — высоконапорные.

6.3.2.1. КОРОТКОСТРУЙНЫЕ ДОЖДЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Широкое распространение получили короткоструйные двух-консольные дождевательные агрегаты ДДА-100 М, ДДА-100 МА. Они применяются для полива всех культур, кроме садов. На трак-

торе агрегатов (соответственно при использовании тракторов ДТ-54 и ДТ-75) ДДА-100М и ДДА-100МА навешивается двухконсольная ферма длиной 110,3 м, на нижнем поясе которой находится оросительный трубопровод. Через каждые 10 м трубопровода отходят открьлки с распылительными диффлекторными насадками (рис. 70). Радиус действия каждой насадки — 5 м. Двухконсольная ферма навешивается на трактор с насосом. Агрегат работает позиционно и в движении. За смену (8 ч) агрегат ДДА-100М при поливной норме $300 \text{ м}^3/\text{га}$ орошает 6–7 га, за сезон — 100–120 га, а агрегат ДДА-100МА — 120–150 га.

Оросительная вода подается в агрегат для полива центробежным насосом, смонтированным на тракторе, из временных оросителей, расположенных на расстоянии 120 м друг от друга. Оросители (земляной канал или бетонный лоток) имеют длину 400–800 м, глубину — около 1 м, ширину по дну — 0,5–0,6 м. Их устраивают поперек горизонталей при малых уклонах (0,001–0,0005), при больших уклонах — вдоль горизонталей, но с некоторым уклоном. Трактор дождевального агрегата обычно движется по дороге, проложенной грейдером с левой стороны от оросителя. Скорость движения агрегата — 200–1000 м/ч. Средний слой дождя за один проход — 7–20 мм или соответственно $70\text{--}200 \text{ м}^3/\text{га}$. Агрегаты ДДА-100М и ДДА-100МА после некоторой модификации могут быть использованы для поверхностного полива по полосам и бороздам. В этом случае дождевальные насадки на консолях агрегата заменяют на шланговые водовыпуски. Такая замена может оказаться весьма целесообразной и при поливах в ветреную погоду. Дождевальный агрегат ДДА-100М используют для полива низкостебельных овощных, зерновых, технических культур и трав на участках с уклоном $i \leq 0,005$.



Рис. 70. Двухконсольный дождевальный короткоструйный агрегат ДДА-100МА

6.3.2.2. СРЕДНЕСТРУЙНЫЕ ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ И УСТАНОВКИ

Самоходная дождевальная машина «Фрегат» (рис. 71) — перемещающийся по кругу трубопровод на А-образных колесных опорах-тележках. В центре круга находится гидрант, из которого вода поступает в трубопровод. Последний располагается на высоте 2,2 м и покоится на 12–16 (в зависимости от модификации машины) самоходных тележках. На каждой тележке находится секция трубопровода длиной 28 м. «Фрегат» используется в различных природных условиях и выпускается в десяти модификациях. Базовая модель дождевальной машины «Фрегат» ДМ-454-100 имеет длину трубопровода 453,5 м на 16 опорных тележках. Расход воды при поливе этой модификацией «Фрегата» — 90 л/с, площадь полива с одной позиции — 72 га, радиус полива — 488 м. Площадь полива за смену — 4,5–5,0 га. Интенсивность дождя — 0,2–0,3 мм/мин. На водопроводящем 16-опорном трубопроводе расположено 49 среднеструйных аппаратов и один концевой с радиусом действия 30–35 м. «Фрегат» может обеспечить орошение поливными нормами от 240 до 1200 м³/га. В зависимости от размера поливной нормы время перемещения трубопровода по кругу может колебаться от 50 до 250 ч и более. Движение «Фрегата» осуществляется за счет реактивной силы поливной струи. Поскольку «Фрегат» осуществляет полив по кругу, часть территории поля

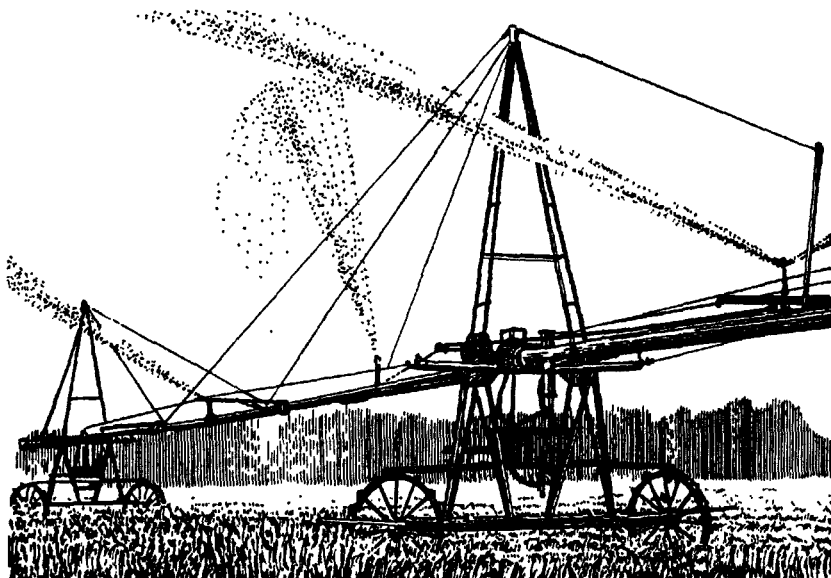


Рис. 71. Самоходная дождевальная среднеструйная многоопорная машина «Фрегат»

(12%) остается неполивной. Для устранения этого недостатка применяют одновременный полив поля самоходной машиной «Фрегат» и машиной фронтального действия «Волжанка» или другими дождевальными устройствами.

«Фрегат» можно применять для полива всех сельскохозяйственных культур, в том числе и высокостебельных, а также для орошения сенокосов и пастбищ. Преимуществом этой дождевальной машины является и то, что на водопроводящем трубопроводе ее модификации ДМУ-А имеются специальные гибкие вставки, позволяющие вести эксплуатацию на участках со сложным рельефом (рис. 1.31.).

Самоходный многоопорный дождевальный трубопровод «Волжанка» (ДКШ-64) состоит из двух водопроводящих трубопроводов (крыльев) диаметром 130 мм и длиной по 396 м, монтируемых из отдельных звеньев труб длиной 12,6 м (рис. 72). «Волжанка» — дождевальное устройство фронтального действия. Подача воды осуществляется из гидрантов оросительной сети, отстоящих друг от друга на 18,3 м, через гибкие шланги. На каждом крыле этой дождевальной машины расположено по 32 среднеструйных дождевальных аппарата кругового действия с диаметром сопла 8 мм. Расход воды каждого аппарата составляет 0,9–1,0 л/с. Каждое крыло «Волжанки» в центре имеет тележку с двигателем внутреннего сгорания, который приводят в движение 34 металлических колеса, жестко закрепленных на трубе трубопровода. За счет энергии двигателя «Волжанка» перемещается с одной позиции на другую. С одной позиции машина поливает 1,5 га. Длина машины и расход воды могут несколько варьировать в зави-

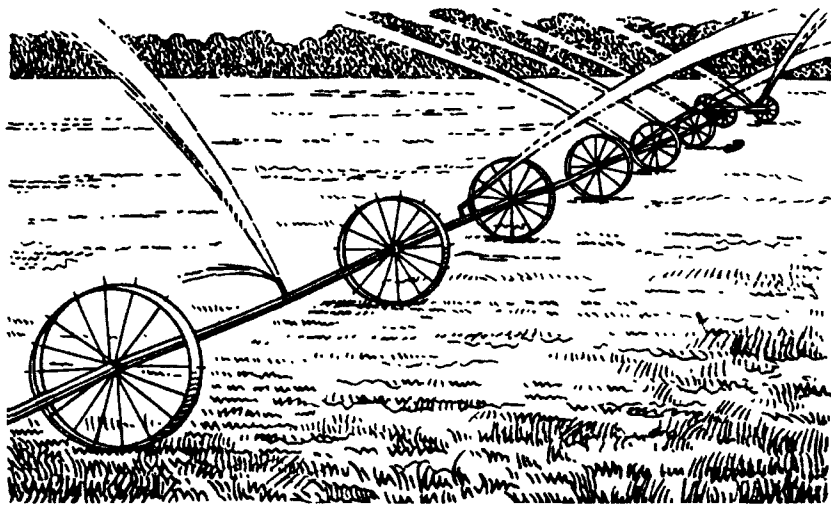


Рис. 72. Самоходная дождевальная среднеструйная многоопорная фронтальная машина ДКШ-64 «Волжанка»

симости от числа подключенных трубок секций. Расход воды при работе двух крыльев — 64 л/с. Средняя интенсивность дождя — 0,25–0,30 мм/мин. Одна оросительная машина «Волжанка» может полить за смену 4–5 га, а за сезон оросить площадь, равную 70–100 га. Один человек обслуживает 2–3 машины. Недостатком «Волжанки» является отклонение отдельных секций от прямолинейного положения из-за неровностей рельефа.

Трубопроводы «Волжанки» располагаются на высоте 0,9 м над поверхностью почвы. Поэтому эта машина не может поливать высокостебельные растения на поздних стадиях роста. Она предназначена для полива низкостебельных зерновых, овощных, бахчевых культур, сенокосов, пастбищ на территориях с уклонами $i \leq 0,02$ (рис. 1.32).

Электрофицированный дождевальная агрегат фронтального действия «Кубань» с забором воды из постоянного облицованного канала предназначен для орошения всех культур, включая высокостебельные. Агрегат состоит из 16 пролетов с опорными тележками на пневматических колесах. 8 пролетов (длиной 400 м) с каждой стороны примыкают к центральному, на котором установлен энергетический блок. На трубопровод центрального пролета, опирающегося на четырехколесную центральную тележку, подвешен дизель — насосный агрегат с генератором для питания электродвигателей опорных тележек (рис. 1.33, 1.34).

Общий уклон поля вдоль агрегата не должен превышать 0,007. Агрегат снабжен 300 дождевальными насадками, которые образуют мелкокапельный дождь интенсивностью 0,15–0,20 мм/мин. Агрегат образует интенсивный дождь, в 5–6 раз больший, чем «Волжанка». Расход воды — 200 л/с, слой осадков за один проход — 5–50 мм в зависимости от скорости движения. Агрегат может быть переоборудован для движения по кругу.

Дождевальная многоопорная машина ДФ-120 «Днепр» в отличие от «Фрегата» является дождевальной машиной фронтального действия. Она состоит из трубопровода с открылками и дождевальными насадками, уложенными на опорные тележки. Длина трубопровода — 448 м, установленного на 17 опорных тележках на высоте 2,1 м от поверхности земли. Вода на орошение поступает из гидрантов закрытой сети. Расстояние между оросителями — 920 м, между гидрантами — 54 м, расход воды — 120 л/с. Открылки находятся на трубопроводе на расстоянии 27 м одна от другой. На концах открылок — дождевальные аппараты «Роса-3». Всего на дождевальной машине «Днепр» располагается 34 дождевальных аппарата. Допустимый уклон орошаемого поля — 0,02. Передвижение машины с позиции на позицию осуществляется от мотор-редукторов, установленных на каждой опорной тележке. Электропитание поступает от навешенной на трактор передвижной электростанции. При переходе на позицию трактор идет рядом с дождевальной машиной, затем после установки машины на новой

позиции трактор отключается от нее и переходит к другой машине «Днепр». Один механик обслуживает две дождевальные машины. Средняя интенсивность дождя — 0,25–0,30 мм/мин. При поливе нормой 300 м³/га производительность за 1 ч работы составляет 1,46 га.

Таким образом, широкозахватная дождевальная техника обладает определенными преимуществами по сравнению с другими способами полива: повышается коэффициент земельного использования; экономичнее расходуется вода; снижаются затраты труда на полив; экономичнее расходуются средства на строительство оросительных систем; отпадает необходимость планировок по трассам временных оросителей; менее жесткими оказываются требования к капитальным и эксплуатационным планировкам и др.

На нешироких вытянутых участках длиной 1,5–3,0 км и более, используемых преимущественно под сенокосно-пастбищные угодья, применяют дождевальные крылья продольно-осевого перемещения, называемые дождевальными шлейфами.

Дождевальный шлейф ДШ-25/300 — установка для позиционного орошения. Шлейф состоит из быстроразборных металлических труб и дождевателей. На стальном трубопроводе длиной 150 м и диаметром 102 мм устанавливают три дождевателя карусельного типа «Тимирязевец» (рис. 73).

Забор воды происходит из трубчатых оросителей, которые прокладывают на расстоянии 300 м друг от друга. Карусельные насадки вращаются вокруг оси под действием реактивной силы. Полив производят позиционно. С одной позиции орошают 0,9 га. Расход

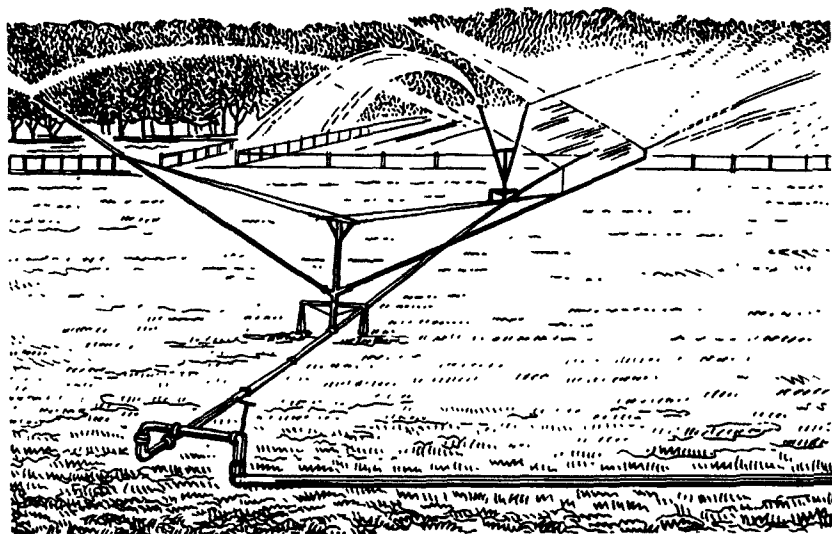


Рис. 73. Дождевальный шлейф ДШ-25/300

воды — 25 л/с. Средняя интенсивность дождя дождевального шлейфа ДШ-25/300 — 0,17 мм/мин. Шлейф перемещается с одной позиции на другую трактором. Два человека (тракторист и поливальщик) обслуживают 5–10 шлейфов.

Дождевальный шлейф образует искусственный дождь малой интенсивности с хорошим дроблением струи на капли малых размеров. Однако дождевальные шлейфы сложны в эксплуатации. Кроме того, они испытывают сильное влияние ветра при поливе.

Дождевальная переносная установка КИ-50 («Радуга») служит для орошения небольших участков преимущественно с использованием воды из местных источников, состоит из серии постоянных распределительных трубопроводов и крыльев, оборудованных среднеструйными аппаратами «Роса-3». В комплекте «Радуга» два распределительных трубопровода и четыре дождевальных крыла. Диаметры алюминиевых распределительных трубопроводов — 120 и 125 мм, подводящего — 150 мм, расход воды — 47 л/с. Интенсивность дождя — 0,2 мм/мин. Площадь орошения за сезон — 50 га. Сборка, разборка переносных установок, их перемещение с одной позиции на другую производятся вручную. Обслуживают одну установку 2–3 человека.

6.3.2.3. ДАЛЬНЕСТРУЙНЫЕ ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ

Дальнеструйные навесные дождевальные агрегаты ДДН-70 и ДДН-100 (рис. 74) предназначены для полива садов, питомников, кукурузы, овощных и технических культур. Радиус действия ДДН-70 и ДДН-100 соответственно 70 и 85 м. Интенсивность дождя 0,25–0,30 мм/мин. ДДН-70 и ДДН-100 монтируются на тракторах Т-75 и Т-150. Расход воды у ДДН-70 и ДДН-100 — соответственно 65 и 100 л/с. Площадь полива за сезон у ДДН-70 — 60–70, у ДДН-100 — 100–150 га. За смену один человек обслуживает один дождеватель и поливает соответственно 5,0 и 7,5 га.

Наиболее целесообразно использовать дальнеструйные дождевальные установки для орошения кормовых, технических культур, лугов, садов, лесопитомников, т.е. участков с хорошо закрытой растительностью поверхностью почвы (рис. 1.30).

6.3.2.4. СИНХРОННО-ИМПУЛЬСНОЕ ДОЖДЕВАНИЕ

Установки (комплекты) синхронно-импульсного дождевания КСИД-10 и КСИД-30. Установки осуществляют синхронно-импульсный полив участков площадью 10 и 30 га (рис. 75) суточной подачей воды объемом 20–100 м³/га со средней интенсивностью дождя 0,01–0,002 мм/мин. Это соответствует су-

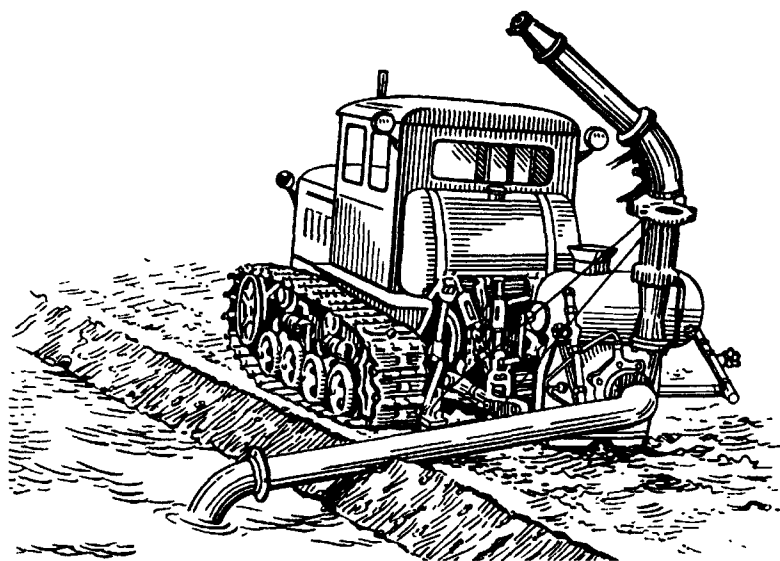


Рис. 74. Дальноструйный дождевательный агрегат ДДН-100

точному водопотреблению орошаемых культур. Система импульсного дождевания включает насосную станцию, сеть распределительных и полевых трубопроводов и импульсные дождевательные аппараты. При автоматическом режиме работы насос включается по сигналу датчика, расположенного на участке орошения. Норма разового дисперсного полива — 100–500 л/га. Радиус выброса струи — 20–40 м. Степень дисперсности капель не превышает 300–500 мкм.

Импульсное дождевание в отличие от обычного непрерывного процесса дождевания состоит из двух фаз — паузы (аккумуляции) и «выстрела».

В паузу вода накапливается в камере (котле) аппарата, в период «выстрела» вода под давлением через ствол и поворотное устройство выбрасывается в атмосферу. Затем вновь наступает пауза, в течение которой вода накапливается в камере, и после этого

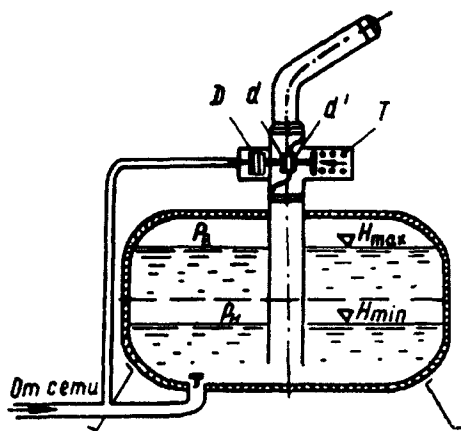


Рис. 75. Установка синхронно-импульсного дождевания (КСИД)
D — поршень, d и d' — клапаны, T — пружина

снова следует выброс воды в атмосферу («выстрел»). Продолжительность паузы 4–6, выстрела — 1,5–2,0 с.

При снижении давления в оросительной сети под действием давления сжатого воздуха на клапан открывается поршень, при этом происходит выброс накопленного объема воды. Аппарат закрывается под действием пружины. Давление в гидроаккумуляторной камере резко снижается ниже расчетного предела. Наступает очередная фаза аккумуляции воды. Вес одного аппарата 12–13 кг. Импульсное орошение может быть полустационарным и стационарным с выдвижными гидрантами. Расстояние между дождевателями — 40–60 м. Один поливальщик обслуживает 20–200 га. Средний расход воды, подаваемый к импульсному дождевательному аппарату «Коломна», — 0,15 л/с.

В системе синхронно-импульсного дождевания аппараты работают одновременно на всей орошаемой площади в режиме непрерывно чередующихся пауз (0,5–3 мин). Поэтому влажность почвы в течение всего оросительного периода поддерживается на оптимальном уровне (рис. 76).

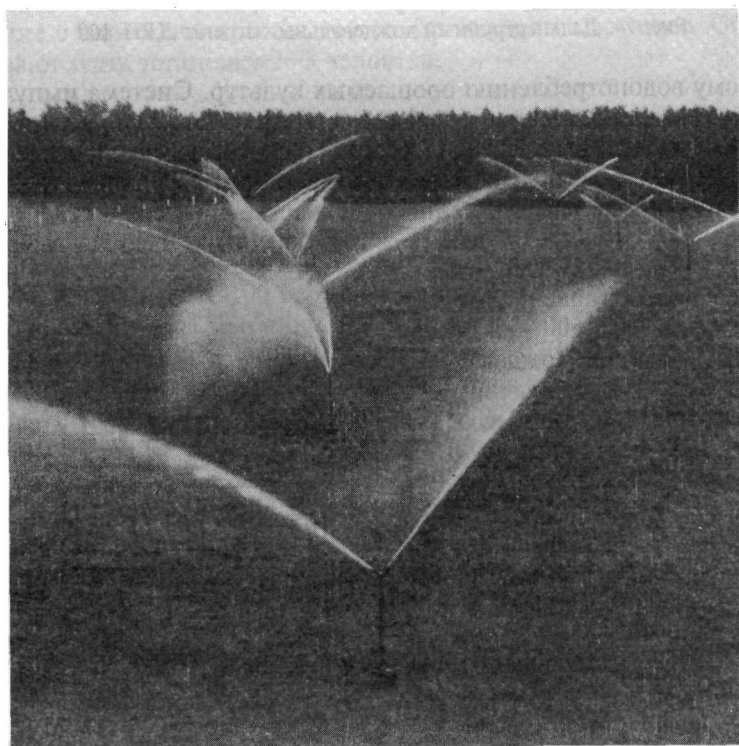


Рис. 76. Полив многолетних трав комплектом синхронно-импульсного дождевания

Импульсное орошение целесообразно использовать в садах, ягодниках, на чайных плантациях, при возделывании овощных культур, сахарной свеклы в условиях фермерских хозяйств.

Импульсное дождевание эффективно в условиях сложного рельефа, в предгорных районах. Оно может быть успешно использовано для орошения многолетних культур.

Из всех известных способов дождевания импульсное орошение создает наиболее целесообразные в физиологическом и экологическом отношениях условия увлажнения на незасоленных почвах.

6.3.3. КОРКООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОЛИВАХ И ДОЖДЕВАНИИ. СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ ИРРИГАЦИОННЫХ КОРОК

Одним из неблагоприятных следствий поверхностного орошения и дождевания является коркообразование. Оно наиболее отчетливо проявляется при поверхностном поливе, т.е. при поливах напуском по полосам, бороздам или затоплением по чекам. Вместе с тем коркообразование при определенных условиях является следствием дождевания.

Опасность возникновения ирригационных корок заключается в том, что они отрицательно влияют на физические свойства почв (снижают водопроницаемость, повышают плотность, уменьшают поровое пространство пахотного горизонта). Возникновение плотных корок на поверхности почв отрицательно сказывается на развитии сельскохозяйственных культур в условиях орошаемого земледелия, снижает их урожай. Возникновение ирригационных корок определяет изменение технологии обработки почв, вызывает необходимость дополнительных затрат на разрыхление этих новообразований. Ирригационные корки могут иметь различный генезис и морфологию. По определению Н.Г. Зборишук (1986), и р р и г а ц и о н н ы е к о р к и — это специфические уплотненные локальные или наносные эфемерные полигенетичные и полиморфные образования на поверхности почв, возникающие в результате воздействия оросительных вод, отличающиеся по своим свойствам от пахотного горизонта орошаемых почв.

Эфемерность ирригационных корок определяется ежегодной обработкой пахотного горизонта до и после полива.

Наиболее интенсивно процесс коркообразования происходит в бесструктурных слабопроницаемых почвах, склонных к заплыванию. Особенно существенным фактором коркообразования является переувлажнение почв. Даже кратковременное переувлажнение

почв провоцирует появление ирригационных корок. Поэтому в их формировании существенное значение может иметь процесс глееобразования, если полив осуществляется пресными неминерализованными или слабоминерализованными водами. В этом случае в условиях застойно-промывного водного режима, возникающего при поливе, может осуществляться интенсивное обезжелезнение, вынос ила и осветление мелкозема, потеря органического вещества, накопление подвижных фульватных фракций гумуса (Зайдельман, 1998). Активно способствует коркообразованию повышенная щелочность оросительных вод.

Ирригационное коркообразование связано и с минералогическим составом почв. Высокое содержание в илистой фракции высокодисперсных набухающих минералов группы смектитов стимулирует слитизацию в циклах увлажнения — иссушения (Зборишук, Розанов, 1984), препятствует фильтрации оросительных вод, способствует переувлажнению почв при поливах. При этом формируются наиболее злостные ирригационные корки — плотные, твердые, трещиноватые.

Коркообразование ослаблено или не проявляется вообще на структурных почвах с высокой водопроницаемостью.

По сложности ирригационные корки можно разделить на следующие виды (Зборишук, 1986).

Рыхлые раздельночастичные корки. Они легко отделяются от пахотного горизонта, маломощны и непрочны. Такие корки возникают на орошаемых массивах с благоприятными почвенными условиями при поливе гидрокарбонатными кальциевыми водами.

Плотные слоистые корки. Формируются в результате седиментации наилка при избыточном переувлажнении. Они также легко отделяются от нижележащего горизонта.

Слитые корки. Образуются на тяжелых почвах с преобладанием в иле минералов смектитовой группы. Слитые корки — наиболее неблагоприятный вид этих новообразований.

Дифференцированные корки. Слоистые новообразования с отчетливо выраженным микропрофилем мощностью 5–7 см.

Опасность ирригационного коркообразования обусловлена не только их отрицательным влиянием на растения, на физические и иные свойства почв, но и тем, что ежегодно возникающие относительно маломощные, часто элювиированные и диспергированные слои вовлекаются при обработке в пахотный горизонт. Ежегодные повторения коркообразования и вовлечение мелкозема корок в пахотный горизонт приводят к накоплению отрицательного эффекта и его деградации.

Существует две группы способов борьбы с ирригационными корками — превентивные (предупредительные) и непосредственные.

Превентивные способы борьбы заключаются в снижении интенсивности обработки почв тяжелыми орудиями и использования транспортной техники; улучшении качества дождя; структуры почв (например, с помощью введения травопольных севооборотов); качества оросительных вод путем увеличения соотношения кальция и магния к натрию; увеличении гумусированности пахотного горизонта; ликвидации застоя влаги при поливах; увеличении площади бобовых трав (люцерны, донника, клевера в орошаемых севооборотах) и др.

Непосредственные способы борьбы с возникшими после полива корками сводятся к разрушению их после полива специальными рыхлителями, навешенными на легкие тракторы. В некоторых случаях полезен дополнительный полив малой нормой (100–150 м³/га) для размягчения плотных слитых корок.

6.4. АЭРОЗОЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ

Аэрозольное орошение обеспечивает увлажнение почвы и растений не каплей дождя, а влагой тумана. В этом случае исключено разрушение агрегатов почвы ударом капли дождя.

Аэрозольное орошение осуществляют в период высоких температур и низкой влажности приземных слоев воздуха водой, диспергированной под высоким давлением до состояния тумана. Для распыления воды используют небольшие дождевальные аппараты дефлекторного типа с расходом воды до 0,03 л/с. В зависимости от погодных условий шлейф гидроаэрозоля может распространяться до 200–300 м. Это увлажнение используют для защиты растений от высоких и низких температур, для создания искусственного микроклимата. Применение аэрозольного орошения определяет некоторые конструктивные особенности оросительных систем.

Туманообразующие (мобильные) установки (ТОУ) обеспечивают мелкодисперсное дождевание. Система мелкодисперсного дождевания включает насосную станцию, сеть распределительных и полевых трубопроводов и устройства, на которых монтируют форсунки — насадки, распыляющие воду. Для равномерного распределения мелкодисперсной влаги, представляющей образованное туманом облако, по орошаемой площади насадки-распылители поднимают на штангах на высоту до 10 м.

6.5. ВНУТРИПОЧВЕННОЕ ОРОШЕНИЕ

Внутрипочвенное, или, как часто не вполне точно его называют, подпочвенное, орошение осуществляют по трубам, которые за-

кладывают под землей на глубине 40–60 см от дневной поверхности, т.е. в горизонтах почвенного профиля. Увлажнение в этом случае происходит путем всасывания влаги почвой из стыков отдельных гончарных труб, из перфорации пластмассовых труб или из земляных кротовин и ее перемещения по капиллярам. Внутрипочвенное орошение основано, таким образом, на всасывающей способности почвы.

Внутрипочвенное орошение способствует сохранению благоприятного структурного состояния почвы; позволяет продуктивнее, чем при поверхностном поливе и при обычном дождевании, использовать поливную воду; создает возможности для двустороннего регулирования водного режима. При внутрипочвенном орошении отпадает необходимость в планировке, возрастает коэффициент земельного использования, поскольку нет потерь площадей на размещение оросительной сети. Наконец, при внутрипочвенном орошении исчезают препятствия для механизации полевых работ. Вместе с тем внутрипочвенное орошение имеет и определенные недостатки. Оно применимо только для почв с хорошей капиллярной проводимостью.

Внутрипочвенное орошение неприменимо на засоленных почвах с близким залеганием минерализованных грунтовых вод. Внутрипочвенные оросительные системы отличаются высокой стоимостью и большим расходом труб.

Внутрипочвенное орошение — саморегулируемая система: почва прекращает всасывание влаги при влажности, соответствующей ППВ (всасывающая способность равна 0), по мере подсыхания почвы ее всасывающая способность возрастает.

Оросительная внутрипочвенная система может быть полужакрытой или закрытой (рис. 77). В полужакрытой системе каналы делают открытыми, а трубы-увлажнители — закрытыми. При строительстве закрытых систем всю проводящую и регулирующую сеть устраивают из закрытых трубопроводов. Закрытые системы являются наиболее совершенными. Подводящие и распределительные трубопроводы при внутрипочвенном орошении выполняют из обычных асбоцементных труб на глубине не менее 0,5–0,6 м от дневной поверхности. Трубы-увлажнители закладывают на глубине 0,45–0,50 м на расстоянии 1,25–1,50, реже 2,0–2,5 м (при поливе овощей — 1,0–1,2 м; садов — 1,8–2,0; виноградников — 2,0–2,5 м). Трубы-увлажнители изготавливают из перфорированного полиэтилена, поливинилхлорида или из керамических гончарных труб. Длина труб увлажнителей — 150–250 м.

Существуют безнапорные и напорные внутрипочвенные оросительные системы. В безнапорных внутрипочвенных оросительных системах вода движется по трубам самотеком. В напорных системах увлажнение происходит под напором. Такие системы облада-

ют определенными преимуществами. Они позволяют увеличивать расстояние между трубами-увлажнителями до 3 м.

Пластмассовые трубы для внутрипочвенного орошения укладываются бестраншейным дреноукладчиком, гончарные — траншейным многоковшовым экскаватором. Земляные трубы для орошения — кротовины — создают кротдренажной машиной.

В.Г. Корнев в 20-х годах предложил интересную систему вакуумного внутрипочвенного двустороннего регулирования влажности почвы. Система основана только на использовании всасывающей способности почвы. Герметичная система из пористых труб соединена с питающим резервуаром. Если влажность почвы низкая, то вода всасывается почвой. В системе возникает вакуум. Процесс продолжается до тех пор, пока всасывающая сила почвы не уравновесится вакуумом системы. При повышении влажности и уменьшении всасывающей силы почвы часть воды будет отсосана системой из почвы. Такая система теоретически способна поддерживать влажность почвы на одном и том же уровне, который определяет вакуум системы. Поэтому, изменяя вакуум системы, можно регулировать влажность почвы. Сложность, однако, заключается в том, что поддержание герметичности системы оказывается весьма трудным техническим мероприятием.

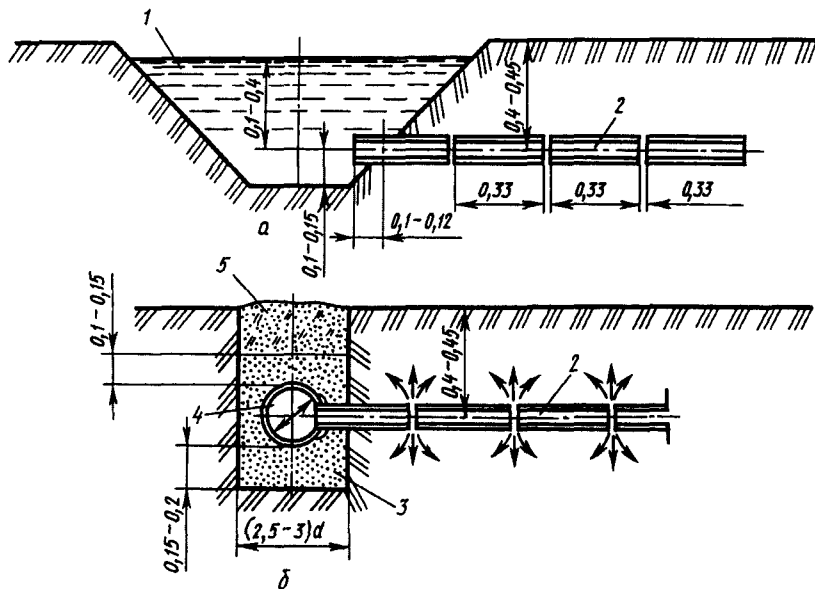


Рис. 77. Схема соединения труб в полузакрытой (а) и закрытой (б) системах внутрипочвенного орошения:

1 — открытый ороситель; 2 — трубы-увлажнители из гончарных дренажных труб диаметром 5–7,5 см; 3 — песчаные засыпки; 4 — закрытый ороситель из асбестоцементных труб; 5 — засыпка местным грунтом. Размеры даны в метрах

6.6. СУБИРРИГАЦИЯ

Одним из наиболее распространенных видов орошения является регулирование уровня грунтовых вод на мелиоративных системах с помощью шлюзов (субирригация), насосных станций и дренажных устройств. Предупредительное, увлажнительное и регулируемое шлюзование (подробнее см. в разделе «Осушение») позволяет поддерживать уровни грунтовых вод на благоприятных или оптимальных отметках.

6.7. КАПЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ

Капельное орошение — сравнительно новый способ орошения, позволяющий использовать минимальные объемы поливной воды. Сущность его заключается в том, что вода по пластмассовым трубам малого диаметра (20–50 см), расположенным на поверхности, над или под землей, поступает непосредственно в ризосферу небольшими объемами (капля за каплей) или выплескивается из специальных капельниц. Капельное орошение широко используют для полива многолетних растений (садовых деревьев, виноградников, некоторых культур закрытого грунта и др.). Малыми расходами (0,9–9,0 л/ч) вода поступает к корням растений, оставляя сухими междурядья. Известен успешный опыт эффективного капельного орошения травянистых культур — помидоров, перца, картофеля и других, а также использования этого способа для орошения сельскохозяйственных растений сточными водами.

Этот новый, весьма эффективный и экологически целесообразный способ орошения был предложен в Израиле Blass в 60-е годы двадцатого столетия. Позднее первая производственная капельная ирригационная система и успешное внедрение этого способа орошения в практику сельского хозяйства были осуществлены Zohar в 1971 г. (цит. по: Dashberg a. Bresler, 1985). Вскоре этот способ орошения получил признание во многих странах Средиземноморского бассейна — в Тунисе, Италии, Испании и в других государствах. В настоящее время капельное орошение широко применяют в странах с низкой обеспеченностью водными ресурсами, преимущественно на незасоленных и слабозасоленных почвах.

Несомненным преимуществом капельного орошения является экономное и строго направленное на увлажнение ризосферы расходование воды, возможность автоматизации полива, нецелесообразность значительных планировочных работ, возможность подачи к корнеобитаемой зоне поливной воды с необходимыми элементами питания.

Капельное орошение имеет и ряд негативных особенностей. Один из наиболее существенных недостатков связан с возможностью быстрого выхода из строя капельниц в результате закупор-

ки (заиления) их отверстий. При капельном орошении необходим более тщательный контроль за режимом влажности корнеобитаемых горизонтов. При капельном орошении по периферии контура увлажнения в результате капиллярного влагопереноса возможны накопление водорастворимых солей и вторичное засоление почвы. Наконец, отмечено поверхностное развитие корней древесных растений при капельном орошении и ветровалы при сильных порывах ветра.

Система капельного орошения состоит (рис. 78) из контрольно-распределительного блока (КРБ-насос, фильтр, манометры пе-

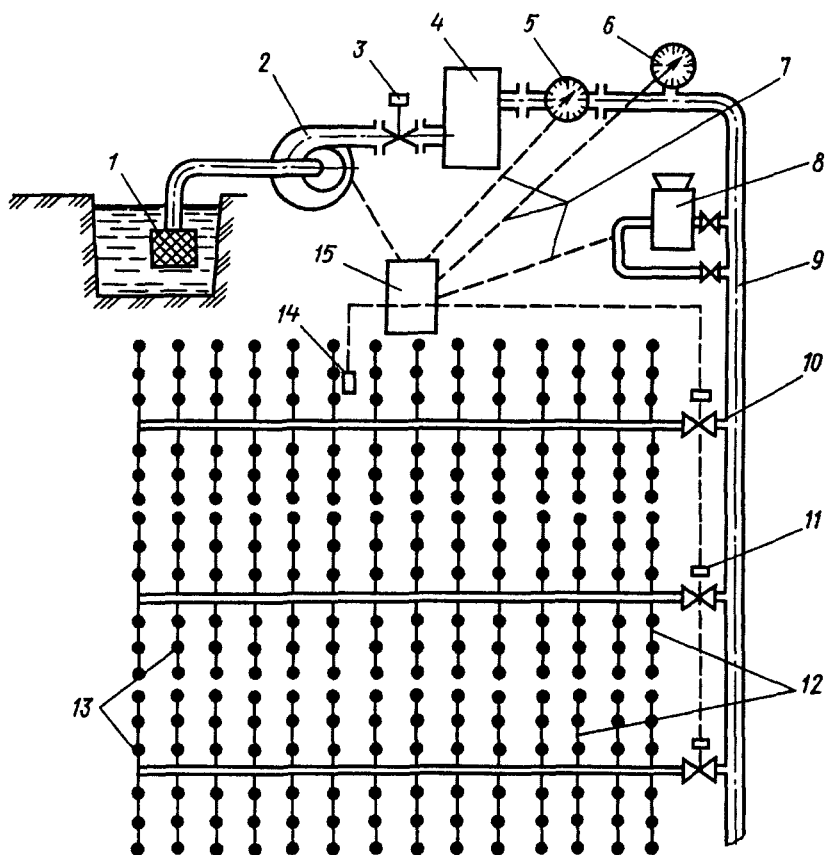


Рис. 78. Капельное орошение. Схема системы капельного орошения (В.К. Губин, В.Б. Гордеев, 1985):

1, 2 — водозаборный и напоробразующий узлы; 3 — головная задвижка; 4 — фильтр; 5 — водомерное устройство; 6 — манометр; 7 — каналы связи; 8 — устройство для подачи удобрений в поливную сеть; 9 — магистральный трубопровод; 10 — распределительный трубопровод; 11 — дистанционно управляемая задвижка; 12 — поливные трубопроводы; 13 — капельницы; 14 — датчики необходимости полива; 15 — пульт управления

ред и за фильтром, регулятор расхода и давления, бак-смеситель удобрений, инжектор для впрыскивания раствора удобрений), магистрального трубопровода, распределительных трубопроводов различного порядка, отводов от полевых трубопроводов и капельниц (или дозаторов). Системы капельного орошения работают при небольшом напоре (до 30 м). Такой напор создается центробежными насосами.

Вся оросительная система и капельницы защищаются от засорения фильтрами, через которые пропускают воду. Для борьбы с водорослями, забивающими отверстия капельниц, в воду добавляют медный купорос (1 мг/л), который ингибирует развитие альгофлоры. В капельных оросительных системах используют трубопроводы небольших диаметров, обычно 12–19 или 25 мм. Диаметр отверстий капельниц не превышает 2 мм. В настоящее время применяют различные конструкции капельниц. Для их прочистки и аэрации почвы в систему компрессорами может подаваться сжатый воздух.

По режиму истечения воды в почву системы капельного орошения могут быть капельными («Молдавия», «Украина»), мелкоструйными («Таврия») и периодического порционного истечения («Коломна»).

Системы капельного орошения по характеру использования бывают стационарными и односезонного использования, а по размещению относительно поверхности почвы — наземными, надземными и подземными. Стационарные капельные оросительные системы используют главным образом для полива многолетних культур, реже для однолетних.

В настоящее время капельные оросительные системы широко внедряются в ирригационную отечественную и зарубежную практику. По сравнению с дождеванием капельное орошение для получения сопоставимых урожаев расходует на 50–80% меньше поливной воды при резком снижении потерь на фильтрацию и испарение. В этих условиях отсутствует угроза ирригационной эрозии. Капельное орошение позволяет использовать в орошаемом земледелии слаборазвитые почвы с близким залеганием галечника или малоплодородные пески.

7. ОСОБЕННОСТИ ОРОШЕНИЯ КАМЕНИСТЫХ ПОЧВ

Выше были рассмотрены особенности орошаемого земледелия незасоленных мелкоземистых почв. Именно такие почвы составляют основные массивы орошения в России. Вместе с тем существует и еще одна крупная группа незасоленных почв, свойства которых отличаются рядом определенных специфических особенностей. Речь идет о каменистых почвах (черноземах, каштановых и других) степной и сухостепной и аридной зон, освоение которых в орошаемом земледелии должно учитывать ряд важных специфических обстоятельств, обусловленных наличием каменистых включений. Специфика этих почв в значительной мере обусловлена генезисом и составом каменистого материала, их региональной приуроченностью, особенностями сельскохозяйственного использования и другими причинами.

На территории России и сопредельных стран каменистые почвообразующие породы возникают как результат ледниковой деятельности (моренные отложения), движения селевых потоков, переносащих крупные отдельности, и камнепадов, пролювиального и аллювиального переносов, элювиирования конгломератов и на ограниченных пространствах — в результате современного вулканогенеза (рис. 79). В засушливой и аридной зонах почвы на моренных отложениях практически отсутствуют. Однако здесь получили широкое распространение черноземные, каштановые и сероземные почвы на аллювиальных, пролювиальных и реже на селевых или камнепадных каменистых отложениях. Почвы на галечниковом элювии конгломератов здесь имеют весьма незначительное распространение, также как и каменистые почвы в районах вулканогенеза.

Наиболее часто орошение применяют на почвах, развитых на аллювиальных и пролювиальных каменистых отложениях.

7.1. ОРОШЕНИЕ ПОЧВ НА ГАЛЕЧНИКОВОМ АЛЛЮВИИ

В горных и предгорных регионах (на Кавказе, Алтае, в Туве, Хакасии, Бурятии) на различных по возрасту террасах речных до-

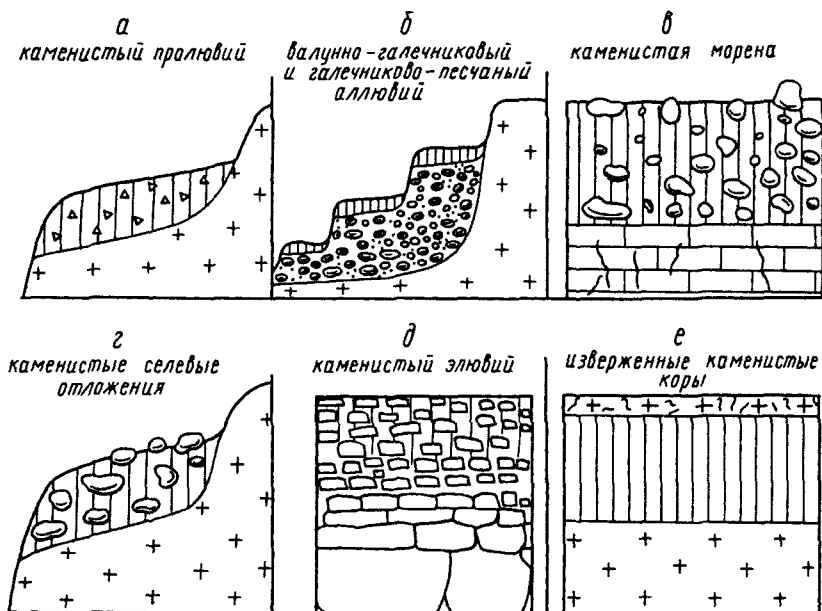


Рис. 79. Каменистые почвообразующие породы и каменистые образования разного генезиса

лин и староречьях широко распространены почвы, подстилаемые на небольшой глубине мощной толщей галечникового и галечниково-песчаного аллювия. К этим территориям приурочены крупные современные массивы орошаемого земледелия. Орошаемые массивы преимущественно на галечниковом и валунно-галечниковом аллювии занимают основную территорию Таджикистана. Они широко представлены в Киргизии, а также в других республиках Центральноазиатского региона и Закавказья. Как правило, такие почвы имеют незначительную по своей мощности мелкоземистую толщу (от поверхности до 2,0 м), подстилаемую мощной толщей галечника с песчаным заполнителем.

Близкое залегание галечника в условиях речных надпойменных террас предохраняет такие орошаемые почвы от угрозы вторичного заболачивания и засоления (Зайдельман, 1965). Вместе с тем оно обуславливает необходимость дифференцированного подхода к их освоению. По глубине залегания галечника эти почвы подразделяют на скелетные, неразвитого, укороченного и полного профилей с залеганием плотного галечникового аллювия соответственно на глубинах до 20, 20–40, 40–80 и глубже 80 см. В условиях горных районов Сибири с низким содержанием твердого взвешенного стока скелетные почвы целесообразно исключать из орошения и использовать только в качестве естественных пастбищных

удой, а почвы неразвитого профиля — вовлекать в лугопастбишные севообороты. Такое использование целесообразно и потому, что весной и летом в Восточной Сибири весьма интенсивная ветровая эрозия легко разрушает эти почвы после их распашки в условиях полевых севооборотов.

Почвы укороченного и полного профилей могут быть использованы для возделывания любых районированных сельскохозяйственных культур с применением дифференцированных по влагоемкости мелкоземистой толщи поливных и оросительных норм. В последнем случае почвы используются в орошаемых травопольных противоэрозионных севооборотах.

В Центрально-Азиатском и Закавказском регионах оросительные воды нередко транспортируют на массив орошения значительную массу мелкоземистого твердого стока (исключение обычно составляют воды, поступающие из водохранилищ). Происходит относительно быстрая аккумуляция мелкозема на поверхности скелетных почв и их трансформация в почвы неразвитого и укороченного профилей.

Весьма перспективным оказалось землевание скелетных орошаемых почв (Алиев, 1990). Землевание скелетных почв предполагает нанесение на их поверхность суглинисто-супесчаного мелкоземистого материала, его последующее окультуривание и создание таким образом плодородного агрозема.

В целях рационального использования оросительных вод при поливе культур на галечниковых почвах следует иметь в виду, что корни растений свободно развиваются не только в мелкоземистой толще, но и активно проникают в поверхностные слои галечникового аллювия. Это объясняется тем, что в процессе формирования мелкоземистой толщи на поверхности галечниковых отложений верхний слой галечника подвергается кольматации тонким материалом.

За счет менисковых явлений на границе раздела суглинистый каменистый мелкозем — галечник, заполненный песком, накапливается гравитационная влага, элементы питания растений, органическое вещество. В верхнюю толщу галечника, обладающую определенной водоудерживающей способностью, проникают корни всех сельскохозяйственных культур.

Последнее обстоятельство имеет важное значение при разработке режима орошения и определении целесообразных поливных и оросительных норм. В любом случае они должны учитывать водоудерживающую способность не только мелкоземистой толщи, но и верхнего корнеобитаемого и влагоемкого слоя галечника, заполненного суглинком. Учет этого обстоятельства будет способствовать повышению урожая возделываемых культур и увеличению межполивного периода.

Сложность определения водоудерживающей способности верхней крошки галечника обусловлена, однако, тем, что по очевидным

причинам в нем невозможно установить плотность сложения почв с использованием режущих колец (цилиндров). Поэтому был предложен (Зайдельман, 1955, 1965) иной метод определения плотности каменистых почв, основанный на свободной экскавации образца и замере объема образовавшейся выемки неправильной формы песком или другим сыпучим материалом. Расчет влагоемкости в этом случае выполняется только по влагоемкости мелкоземистой фракции каменистой почвы.

7.2. ОРОШЕНИЕ ПОЧВ НА КАМЕНИСТОМ ПРОЛЮВИИ

Пролювиальные каменистые отложения образуют шлейфы горных систем и конусы выносов. Обычно это территории на повышенных, хорошо дренированных элементах ландшафта. В отличие от почв, подстилаемых галечниковым аллювием, где хорошо окатанные каменистые отдельности образуют плотные сплошные горизонты, почвы на пролювиальных отложениях характеризуются неравномерным включением плохо окатанных камней в толщу мелкозема.

В пролювиальных каменистых отложениях относительно велико содержание мелкозема. Поэтому корневые системы растений могут легко проникать в глубокие горизонты, обогащенные каменистым материалом. Особенно велико содержание камней в пролювии конусов выноса. Нередко в почвах, приуроченных к пролювиальным отложениям, наблюдается накопление камней в поверхностном слое. Реже камни на дневной поверхности образуют сплошной покров, ниже которого залегает мелкозем с относительно незначительным содержанием камней. Это происходит в результате относительного накопления каменистых отдельностей на поверхности пашни в процессе выдувания мелкозема при ветровой эрозии. Несмотря на повышенное содержание камней в пахотном горизонте и в целом в профиле почв на пролювиальных отложениях, эти почвы могут успешно использоваться для размещения орошаемых севооборотов с широким набором сельскохозяйственных районированных культур (рис. 1.5–1.7).

Важной особенностью разработки режима орошения рассматриваемых почв является определение влагоемкости их мелкоземистой массы без учета каменистого материала. Именно такой подход к оценке плотности почв на пролювии позволит правильно установить поливные и оросительные нормы, избежать существенных потерь воды на инфильтрацию. В этом случае, как и для почв, подстилаемых галечниковым аллювием, следует использовать экскавационный метод определения плотности горизонтов, обогащенных каменистыми отдельностями.

7.3. ОРОШЕНИЕ ПОЧВ НА КАМЕНИСТЫХ СЕЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И КАМНЕПАДАХ. ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВ НА ЭЛЮВИИ КОНГЛОМЕРАТОВ

Каменистые почвы на селевых отложениях и камнепадах отличаются значительным содержанием крупных слабоокатанных камней. Эти почвы могут быть использованы в сельском хозяйстве и вовлечены в орошаемое земледелие только после интенсивного землевания. При использовании таких массивов для размещения многолетних древесных культур землевание оказывается малоэффективным. В этом случае плодовые деревья высаживают в подготовленные и заполненные плодородной почвой ямы. Полив многолетних культур целесообразно производить с помощью капельного орошения (рис. 1.9, 1.10).

Освоение почв, образованных на каменистых селевых отложениях, — сложное и капиталоемкое мероприятие. Однако оно оправдывается возможностью создания многолетних продуктивных плодовых плантаций (например, в Таджикистане, Армении и других странах).

Маломощные, обычно слаборазвитые каменистые почвы на элювии конгломератов занимают заметные территории в центральноазиатских странах. Эти почвы отличаются высокой каменистостью, относительно неглубоким залеганием плотной породы и невысоким содержанием мелкоземистого материала. В естественном состоянии это весьма скудные пастбища. Как правило, использование таких почв в орошаемом земледелии малоперспективно.

8. МЕЛИОРАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Засоленные почвы тяготеют главным образом к сухостепным и аридным территориям. В меньшей мере они распространены в степной зоне. На огромных пространствах Нечерноземья засоленные почвы встречаются локально, на весьма ограниченных территориях, являясь, по существу, индикаторами эндемичных геологических условий, приводящих к соленакоплению. Так, в гумидных ландшафтах Нечерноземья засоленные почвы распространены в районе Березняковского калийного комбината, тяготея к силвинитовым месторождениям. Они встречаются на ограниченных участках Беломорского побережья, в местах выклинивания напорных гипсоносных вод татарского и казанского ярусов в поймах и речных долинах Среднерусской провинции и в других районах. Однако в целом в Нечерноземье засоленные почвы не имеют практического значения. Их широкое распространение в сухостепных и аридных областях определяется особенностями климата, геологического строения и гидрологией суши этих территорий.

Засоленные почвы в целом в странах СНГ занимают относительно небольшую площадь (3,4%, или 750 000 км²). Однако они играют важную роль в орошаемом земледелии по ряду причин. Во-первых, их сельскохозяйственное освоение тесно связано с необходимостью выполнения сложного комплекса специальных мелиоративных мероприятий по рассолению. Во-вторых, засоленные почвы могут возникать в процессе эксплуатации незасоленных массивов в результате вторичного засоления. Поэтому при орошении особенно важны своевременный прогноз возможности возникновения вторичного (антропогенного) засоления и разработка комплекса мероприятий по его предупреждению. В-третьих, ареал засоленных почв динамичен, поскольку рассоление почв может сопровождаться одновременным появлением новых ареалов засоления на смежных территориях.

В сухостепных и пустынных зонах засоленные почвы тяготеют главным образом к межгорным котловинам, древним речным долинам, современным поймам и дельтам, к основаниям пролювиальных шлейфов сухостепных, полупустынных территорий и пустынь. На этих геоморфологических структурах абсолютная площадь засоленных почв в двух рассматриваемых зонах оказывается весьма значительной.

Учение о засоленных почвах в СССР развивалось плеедой крупных почвоведов-мелиораторов. В 20–30-х годах над этой проблемой работали академики Б.Б. Полынов, Н.А. Димо, В.Р. Вильямс, профессора В.С. Малыгин, М.А. Панов и другие исследователи. Крупные исследования в 30–60-х годах были предприняты профессорами В.А. Ковдой, А.Н. Розановым, В.Р. Волобуевым, Л.П. Розовым, И.Н. Антиповым-Каратаевым, Н.А. Качинским, С.А. Владыченским, А.А. Роде, Н.И. Базилевич, В.В. Егоровым, Ю.П. Лебедевым, С.П. Рыжовым, П.А. Керзум, Г.П. Петросяном и др.

За рубежом проблемы генезиса засоленных почв активно разрабатывали А.А. Зигмонд, Е. Гильгардт, Л.А. Ричардс, М.Е. Самнер, Е. Бреслер, К. Саболич, К. Дараб и многие другие исследователи.

8.2. ПРИЧИНЫ СОЛЕНАКОПЛЕНИЯ И ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ

Возникновение засоленных почв связано с естественными циклами соленакопления, протекающими на огромных пространствах суши земного шара. В. А. Ковда различает следующие циклы соленакопления.

Континентальное соленакопление. Оно связано с движением, перераспределением и аккумуляцией углекислых, сернокислых и хлористых солей во внутриматериковых бессточных областях. Внутри этого соленакопления выделяют первичные и вторичные циклы.

Первичные циклы континентального соленакопления обусловлены аккумуляцией солей в почвах и водах, возникающих в процессе выветривания и почвообразования.

Вторичные циклы континентального соленакопления рассматриваются как процессы перераспределения солей, ранее аккумулярованных в толще осадочных соленосных пород.

Приморское соленакопление обусловлено аккумуляцией морских солей, хлоридов и сульфатов натрия и магния в прибрежно-морских низменностях и по берегам мелководных заливов.

Дельтовое соленакопление характеризуется сложным сочетанием процессов движения и аккумуляции солей, приносимых с континента рекой и долино-дельтовым грунтовым потоком, и солей, поступающих в разное время со стороны моря.

В прикладном отношении важное значение имеют причины засоления почв. Аккумуляция солей в горизонтах почвенного профиля обусловлена следующими факторами.

1. Поступлением солей из засоленных грунтовых вод.
2. Перераспределением солей, возникающих в процессе выветривания горных пород, под действием поверхностных вод и их аккумуляцией в почвах пониженных элементов рельефа.
3. Переносом солей ветром (импульверизация) в виде капель и твердых аэрозолей в бассейнах соленых озер, морей, с поверхности солончаков.

4. Трансформацией нейтральных или пассивных продуктов выветривания под влиянием почвообразования в токсические водорастворимые соединения.

5. Вторичным растворением солей, содержащихся в почвообразующих и подстилающих породах, пресными и ирригационными водами, их переносом и аккумуляцией в горизонтах почвенного профиля.

Под влиянием этих причин формируются различные засоленные почвы. В мелиоративном отношении особое значение имеют засоленные почвы двух следующих типов: солончаки и солончаковатые почвы; солонцы и солонцеватые почвы.

8.3. СОЛОНЧАКИ, СОЛОНЧАКОВАТЫЕ ПОЧВЫ. ИХ ДИАГНОСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ

Солончаками и солончаковатыми почвами называют почвы, в которых содержание токсических водорастворимых солей столь значительно, что оно обуславливает угнетение или гибель сельскохозяйственных (лесохозяйственных) культур. В солончаках водорастворимые токсичные соли независимо от типа химизма аккумулярованы в поверхностных горизонтах почвенного профиля. В соответствии с классификацией Почвенного института им. В.В. Докучаева (авторы Н.И. Базилевич, Е.И. Панкова) к засоленным относят почвы, в профиле которых в пределах двухметровой толщи выделяется солевой горизонт мощностью 5 см и более, содержащий легководорастворимые соли в количестве, превышающем порог токсичности, принятый для среднесолестойких культур. Для отдельных анионов установлены следующие пороги токсичности при всех типах засоления:

	CO_3^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}
%	0,001	0,01	0,06	0,08
ммоль (-)/ 100 г почвы	0,03	0,3	1,0	1,6

Почвы, в которых солевые горизонты залегают глубже 2 м, или почвы на грунтовых водах повышенной минерализации (более 3 г/л) относят к потенциально засоленным.

По глубине залегания верхней границы соленосных горизонтов засоленные почвы подразделяются на солончаковые (включая солончаки) — 0–30 см, высокосолончаковые — 30–50 см, солончаковатые — 50–100 см, глубокозасоленные — 100–200 см, потенциально засоленные — глубже 200 см.

По мощности солевого горизонта почвы подразделяются на маломощные — солевой горизонт менее 30 см, среднемощные — солевой горизонт 30–100 см и мощные — солевой горизонт более 1 м.

По строению солевого профиля почвы следует дифференцировать на три группы: 1) с солончаковым солевым профилем — максимум солей в его верхней части (при этом выделяют почвы с подвешенным солончаковым солевым профилем, в которых соли сосредоточены в слое 0–50 см, а глубже почва не засолена); 2) с призмическим солевым профилем — соли распределены по профилю почвы относительно равномерно; 3) с пирамидальным солевым профилем — содержание солей нарастает вниз по профилю.

Подразделение собственно засоленных почв по степени и типу засоления достаточно сложно. В полевых условиях трудно произвести такое деление и классифицировать почвы по их морфологии. Наиболее отчетливо можно дифференцировать в полевых условиях сильнозасоленные почвы (солончаки).

Солончаки подразделяют на автоморфные и гидроморфные: первые формируются в условиях глубокого залегания грунтовых вод — глубже 6 м, вторые — с залеганием грунтовых вод выше 3 м. При залегании грунтовых вод на глубине 3–6 м выделяют полугидроморфные почвы. Автоморфные солончаки формируются преимущественно на соленосных породах в полупустынной и пустынной зонах. Гидроморфные солончаки подразделяют на подтипы: соровые, болотные, луговые, типичные. Сорковые солончаки возникают при усыхании бессточных соленых водоемов; болотные — в результате засоления болотных и лугово-болотных почв; луговые солончаки формируются при засолении луговых почв.

Солончаки по морфологии подразделяются на мокрые, пухлые, такыровидные, корковые, черные. Мокрые солончаки отличаются скоплением гигроскопических солей (в частности, хлористых кальция и магния); влажные на ощупь, они имеют темную окраску. Пухлые солончаки — рыхлые в засоленном горизонте за счет скопления в нем глауберовой соли (мирабилита) $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Ее кристаллизация связана с увеличением объема за счет поглощения десяти молекул воды; при этом происходят пе-

ремещение и разрыхление почвенных частиц. Таковы видные солончаки характеризуются наличием на поверхности мощной корки, разбитой трещинами на полигональные отдельности. Корковые солончаки на поверхности имеют тонкую солевую корку. Черные солончаки возникают в условиях содового засоления. Высокое содержание натрия резко повышает подвижность органического вещества, которое накапливается на поверхности солончака в виде характерных кожистых черных пленок.

При мелиоративной оценке засоленных почв особое значение имеет их характеристика по типу химизма (качественному составу солей) и степени засоления. Эта дифференциация имеет экологический характер и основана на устойчивости к засолению средне-солеустойчивых культур. Представление о составе таких культур дает табл. 16.

Важное значение для понимания мелиоративной обстановки имеет оценка качественного состава солей, вызывающих засоление почв или определяющих тип засоления. Его устанавливают по составу анионов (химизм засоления). При определении типа засоления почв по анионному и катионному составу руководствуются их соотношениями в водной вытяжке в соответствии с параметрами, приведенными в табл. 17.

Исследования В.А. Ковды, А.И. Кондорской и других показали, что типы засоления почв имеют весьма закономерные географические ареалы. Так, ареалы содового соленакопления встречаются преимущественно в лесостепной и степной зонах. Хлоридно-сульфатное и сульфатно-хлоридное соленакопления доминируют в пустыне и полупустыне. Хлоридное соленакопление имеет место в приморской части Прикаспийской низменности. Сульфатное засоление встречается в степной и сухостепной зонах.

В наименование типа засоления включаются анионы, содержание которых превышает 20% общей суммы анионов (ммоль (-) на 100 г почвы); преобладающий анион должен находиться на последнем месте. Содержание аниона CO_3^{2-} в расчет не включается, так как он входит в величину общей щелочности. Если в водной вытяжке при значительном преобладании анионов SO_4^{2-} и Cl^- присутствует (хотя бы в одном горизонте почвы) менее 20% суммы ммоль (-) анионов CO_3^{2-} , но более 0,03 ммоль (-) на 100 г почвы, засоление определяется по соотношению преобладающих ионов с добавлением к названию «с участием соды». То же следует делать в отношении ионов HCO_3^- , если количество их превышает 1,0 ммоль (-) на 100 г почвы, а HCO_3^- больше $\text{Ca} + \text{Mg}$ ммоль (+). Если повышенное содержание HCO_3^- обусловлено $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, тип засоления определяется как гидрокарбонатный.

В почвах содового типа засоления среди катионов преобладает натрий. При сульфатно- и хлоридно-гидрокарбонатном засолении среди катионов преобладает кальций или магний, но присутствует

Солеустойчивость сельскохозяйственных культур
(Д. Торн, Х. Петерсон, 1952; с сокращениями)

Солеустойчивость		
Хорошая	Средняя	Плохая
Плодовые культуры		
Финиковая пальма	Гранат Инжир Виноград	Груша Абрикос Персик Слива Яблоня Апельсин Лимон
Полевые культуры		
Сахарная свекла Столовая свекла Сорго Рапс Хлопчатник	Лен Помидор Просо Ячмень Овес Рис Подсолнечник Морковь Тыква Лук Перец Пшеница	Вика Горох Капуста Баклажан Картофель Бобы
Кормовые культуры		
Волоснец канадский Пырей западный	Люцерна Донник белый Донник желтый Суданская трава Райграс многолетний Лядвинец рогатый Ежа сборная Канареечник Овсяница высокая Рожь, пшеница Овес (сено)	Лисохвост луговой Клевер шведский Клевер красный Клевер белый

натрий. В почвах хлоридного, а иногда и сульфатно-хлоридного типов засоления кроме NaCl в составе солей присутствуют MgCl_2 и CaCl_2 (отношение $\text{Cl}^- / \text{Na}^+ > 1$). При участии в солевом составе MgCl_2 отношение $(\text{Cl}^- - \text{Na}^+) / \text{Mg}^{2+} < 1$, а при участии CaCl_2 отношение $(\text{Cl}^- - \text{Na}^+) / \text{Mg}^{2+} > 1$. При наличии сокращенных водных вытяжек из почв сульфатного, хлоридно-сульфатного и сульфатно-хлоридного типов засоления для диагностики можно использовать отношение плотного остатка и хлора (рис. 80).

Наличие ряда солей в почве (например, водорастворимого гипса, бикарбоната кальция) не оказывает токсичного действия на растения. Поэтому общая сумма солей и отдельных ионов далеко

Типы засоления почв по анионному и катионному составу солей

Типы засоления	Отношение анионов*			Отношение катионов и анионов*
	$\frac{\text{Cl}}{\text{SO}_4^{2-}}$	$\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{Cl}^-}$	$\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{SO}_4^{2-}}$	
Хлоридное и сульфатно-хлоридное	1–2,5 и более	—	—	—
Хлоридно-сульфатное	0,2–1,0	—	—	—
Сульфатное	< 0,2	—	—	HCO_3^- более $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$
Содово-хлоридное	> 1	< 1	> 1	—
Содово-сульфатное	< 1	> 1	< 1	—
Хлоридно-содовое	> 1	> 1	> 1	—
Сульфатно-содовое	< 1	> 1	> 1	—
Сульфатно- и хлоридно-гидрокарбонатное (щелочноземельное)	—	> 1	> 1	$\text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+}$ $\text{Na}^+ < \text{Mg}^{2+}$ $\text{HCO}_3^- > \text{Na}^+$

* Миллимолей эквивалентов.

не всегда свидетельствует об их неблагоприятных концентрациях. В настоящее время экологическое действие солей принято оценивать по содержанию в почве (и в водах) токсичных ионов и солей.

К токсичным относят ионы, способные образовывать токсичные соли. Например, ионы хлора, натрия, магния. Ионы SO_4^{2-} и HCO_3^- токсичны только в том случае, когда они образуют

натриевые и магниевые соли. Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и карбонаты (бикарбонаты) кальция нетоксичны. Их присутствие не оказывает токсичного действия на растения. Н.И. Базилевич и Е.И. Панкова рекомендуют оценивать засоление по токсичным ионам или по сумме токсичных солей, перешедших в водную вытяжку. Сумма токсичных солей — это соли, перешедшие в водную вытяжку, минус водорастворимые соли гипса и карбонатов кальция. В табл. 18 приведены правила расчета токсичных со-

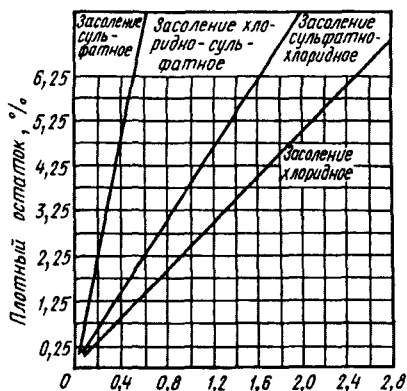


Рис. 80. Определение типа засоления по соотношению плотного осадка и хлора (по Б.А. Калачеву). По оси абсцисс — содержание хлора, %

Классификация почв по содержанию токсичных солей* в зависимости от химизма засоления.
% в водной вытяжке при соотношении почва — вода 1:5 (Е.И. Панкова, В.М. Мазиков, 1985)

Степень засоления почв	Химизм засоления (соотношение миллимолей-эквивалентов ионов)					
	нейтральные			щелочные		
	хлоридный, сульфатно-хлоридный	хлоридно-сульфатный	сульфатный	хлоридно-содовый и содово-хлоридный	сульфатно-содовый и содово-сульфатный	сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный
	$Cl : SO_4 > 1$ $pH < 8,5$	$Cl : SO_4 - 1 - 0,2$ $pH < 8,5$	$Cl : SO_4 < 0,2$ $pH < 8,5$	$Cl : SO_4 > 1$ $pH > 8,5$ $HCO_3 > Ca + Mg$ $HCO_3 \approx Cl$ $HCO_3 < SO_4$	$Cl : SO_4 < 1$ $pH > 8,5$ $HCO_3 > Ca + Mg$ $HCO_3 > Cl$ $HCO_3 \approx SO_4$	$pH \leq 8,5$ $HCO_3 \leq Ca + Mg$ $HCO_3 > Cl$ $HCO_3 > SO_4$
Порог токсичности (незасоленные почвы)	$< 0,05$	$< 0,1$	$< 0,15$	$< 0,10$	$< 0,15$	$< 0,15$
Слабозасоленные	$0,05 - 0,12$	$0,1 - 0,25$	$0,15 - 0,3$	$0,1 - 0,15$	$0,15 - 0,25$	$0,15 - 0,3$
Среднезасоленные	$0,12 - 0,35$	$0,25 - 0,5$	$0,3 - 0,6$	$0,15 - 0,3$	$0,25 - 0,4$	$0,3 - 0,5$
Сильнозасоленные	$0,35 - 0,7$	$0,5 - 1,0$	$0,6 - 1,5$	$0,3 - 0,5$	$0,4 - 0,6$	не встречаются
Высокий уровень засоления (солончаки)	$> 0,7$	$> 1,0$	$> 1,5$	$> 0,5$	$> 0,6$	не встречаются

* Сумма токсичных солей равна сумме токсичных ионов, выраженных в пролентах (токсичные ионы — $Cl^- + Na^+ + Mg^{2+} + SO_4^{2-} + HCO_3^-$, %). Ионы Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} — относятся к категории токсичных целиком; расчет токсичных ионов производят только в том случае, когда содержание Ca^{2+} в водной вытяжке более 2 ммоль (+) на 100 г почвы.
 HCO_3^- токс = HCO_3^- общ — Ca^{2+} ; SO_4^{2-} токс = SO_4^{2-} общ — $(Ca^{2+} + HCO_3^-)$. Расчеты токсичных ионов производят в миллимолях эквивалентов, затем переводят в проленты и выражают в %.

лей и ионов, показаны значения порогов токсичности для средне-солестойких культур почв разного типа засоления и их классификация по степени засоления.

Различные ионы обладают разной степенью токсичности и поэтому в практических целях важно установить их общее токсическое действие в сопоставимом соотношении, используя определенную эквивалентную форму. В качестве такого эквивалента принимают токсичность иона хлора. При этом действие 1 ммоль ($-$) Cl^- по токсичности приравнивают к действию 0,1 ммоль ($-$) CO_3^{2-} ; 3 ммоль ($-$) HCO_3^- ; 6 ммоль ($-$) SO_4^{2-} , т.е. $1\text{Cl}^- = 0,1\text{CO}_3^{2-} = 3\text{HCO}_3^- = 6\text{SO}_4^{2-}$ (анионы, связанные с натрием и магнием). В этом случае классификация почв по степени засоления, построенная на учете эквивалентного действия различных анионов, приобретает следующий вид:

Степень засоления	«Суммарный эффект» токсических ионов (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}), ммоль ($-$)
Незасоленные	< 0,3
Слабозасоленные	0,3–1,0
Среднезасоленные	1,0–3,0
Сильнозасоленные	3,0–7,0
Очень сильнозасоленные	> 7,0

Значение дифференциации почв по степени засоления весьма актуально в прикладном отношении по крайней мере по двум причинам. Во-первых, она позволяет количественно установить возможность использования почв в сельскохозяйственном производстве. Во-вторых, на этой основе возникает возможность определить необходимость их мелиорации (табл. 19).

Таблица 19

Влияние степени засоления почв на состояние районированных сельскохозяйственных культур (В.А. Ковда, В.В. Егоров, В.С. Муратова, Б.П. Строганов, 1960)

Степень засоления почв	Состояние среднесолеустойчивых культур
Незасоленные	хороший рост и развитие (выпадов растений нет, урожай нормальный)
Слабозасоленные	слабое угнетение (выпады растений и снижение урожая на 10–20%)
Среднезасоленные	среднее угнетение (выпады растений и снижение урожая на 20–50%)
Сильнозасоленные	сильное угнетение (выпады растений и снижение урожая на 50–80%)
Солончаки	выживают единичные растения, урожай гибнет практически полностью

8.4. ЭЛЕМЕНТЫ БАЛАНСА ГРУНТОВЫХ ВОД И СОЛЕЙ НА ОРОШАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

Состояние орошаемого массива обусловлено особенностями водного и солевого баланса. Явления засоления и заболачивания в большинстве случаев связаны с резкой декомпенсацией баланса грунтовых вод. Баланс грунтовых вод и солей можно определить как количественное соотношение их прихода и расхода за определенный отрезок времени. Различают вековой баланс, связанный с геологическими изменениями, периодический, характеризующий 11–25-летние отрезки времени, определяемые солнечной активностью; годичный, образующий годовой гидрологический цикл; межполивной, охватывающий короткий отрезок времени между поливами. Баланс грунтовых вод орошаемой территории В.А. Ковда характеризует следующими составляющими:

$$J_r + J_m + J_{gw} + J_{aw} + J_{mc} + J_{sip} + J_{ir} + J_w \geq Q_{gw} + Q_l + Q_e + Q_d,$$

где J — все виды поступления; Q — все виды расхода; J_r — питание атмосферными осадками; J_m — инфильтрация из русел рек; J_{gw} — боковой приток грунтовых вод; J_{aw} — поступление от артезианских вод; J_{mc} — инфильтрация из ирригационных каналов; J_{sip} — инфильтрация из водохранилищ; J_{ir} — инфильтрация на поливных и промывных полях; J_w — инфильтрация сбросных вод; Q_{gw} — боковой отток; Q_l — транспирация растительностью; Q_e — испарение через почву; Q_d — отток грунтовых вод через дренажную сеть.

С водным режимом орошаемой территории и особенно с режимом грунтовых вод тесно связан солевой баланс почвенного покрова. Взаимоотношение водного и солевого баланса можно выразить следующим уравнением:

$$J \cdot C = Q \cdot C_1,$$

где J — все виды прихода грунтовых вод; C — концентрация растворов, питающих грунтовые воды; Q — все виды расхода грунтовых вод на отток, т.е. общий расход минус суммарное испарение; C_1 — концентрация растворов, уходящих с естественным или искусственным оттоком грунтовых вод.

Худшим сочетанием условий будет случай, когда $J \cdot C > Q \cdot C_1$. В этих условиях соленакопление в грунтовых водах растет. Благополучное мелиоративное состояние орошаемого массива наблюдается при условии, когда $J \cdot C < Q \cdot C_1$, т.е. когда запас солей в грунтовых водах уменьшается.

В.А. Ковда подчеркивает, что бороться с соленакоплением следует путем уменьшения количества поступающих солей, т.е. уменьшая левую часть уравнения. Это можно достигнуть преимущественно профилактическими мерами — ослабить или приостановить

засоление и вызвать рассоление, увеличив сток грунтовых вод и содержащихся в них солей интенсивными мелиоративными мероприятиями.

Наиболее управляемым элементом в водно-солевом балансе является величина Q , т.е. отток грунтовых вод, который может быть усилен до необходимых размеров с помощью искусственного дренажа и промывок. Благоприятные условия будут иметь место при сбалансированном водном режиме, когда $J \cdot C = Q \cdot C_1$ или $J \cdot C < Q \cdot C_1$.

Солевой баланс на орошаемом массиве В.А. Ковда предложил рассматривать как следующую зависимость:

$$S = S_z + (S'_{uw} - S_{uw}) + S_{iw} - S_v,$$

где S — запас солей в конце периода; S_z — запас солей в начале периода; S'_{uw} — приток от грунтовых вод; S_{uw} — вынос в грунтовые воды; S_{iw} — приток с ирригационными водами; S_v — вынос солей с урожаем.

Декомпенсация водно-солевого баланса и увеличение его приходных статей свидетельствует о развитии на орошаемом массиве вторичного засоления и о прогрессирующем соленакоплении.

8.5. ВТОРИЧНОЕ ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВ

8.5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ

Независимо от типа и степени следует различать первичное и вторичное засоление почв. Первичным засолением называют естественное накопление в почве солей вследствие испарения грунтовых вод, солености материнских пород или в результате воздействия эоловых, биогенных и других факторов. Вторичное засоление связано с накоплением в почве солей, возникающих в результате искусственного изменения водного режима (например, при неправильном орошении). Вторичное засоление почв может возникать в незасоленных или первично засоленных почвах. В большинстве случаев вторичное засоление почв обусловлено перемещением к поверхности водорастворимых солей из глубоких слоев почвообразующих и подстилающих пород и грунтовых вод или связано с притоком минерализованных вод с вышерасположенных орошаемых массивов. Вместе с тем вторичное засоление может быть обусловлено и техникой полива. Так, при орошении дождеванием культур малыми частыми поливами водами с невысокой минерализацией в условиях аридного климата возможно накопление в поверхностных горизонтах токсичных солей, отрицательно влияющих на свойства почв и продуктивность растений. По

данным ЮНЕСКО ФАО, во всем мире не менее 40–50% площади орошаемых земель в аридной зоне подвержено вторичному засолению и осолонцеванию. Эти земли дают низкие урожаи или вообще выпали из сельскохозяйственного использования. Процесс вторичного засоления продолжается и в настоящее время. Ежегодно сотни тысяч гектаров поливных земель выходят из использования в результате засоления.

Наиболее интенсивно вторичное засоление развивается на массивах с недостаточной дренированностью, приуроченных к дельтам, пойменным и надпойменным террасам, приозерным и приморским низменностям. В меньшей мере вторичное засоление проявляется на высоких террасах, предгорных и водораздельных равнинах, особенно в тех случаях, когда почвы этих территорий подстилаются хорошо фильтрующими породами — песками, песчано-галечниковым и валунно-галечниковым аллювием.

В развитии вторичного засоления на орошаемой территории можно обнаружить определенную стадийность, которая была детально изучена В.А. Ковдой.

Выделяют три стадии вторичного засоления почв: 1) засоление почв вдоль новых оросительных каналов; 2) общее засоление орошаемой территории; 3) рассоление староорошаемой территории и засоление пустующих пространств (рис. 1.38, 1.40–1.42).

Первая стадия вторичного засоления характеризуется интенсивной фильтрацией воды из новых каналов и повышением уровня грунтовых вод в зоне влияния канала. Вдоль канала образуется зона вторичного засоления почв. На второй стадии развивается общее засоление почв орошаемой территории. Вторая стадия реализуется в несколько этапов: 1) сезонное пятнистое засоление; 2) постоянное пятнистое засоление (рис. 81); 3) сплошное засоление.

Если территория плохо дренирована, в породах содержатся значительные запасы солей, поливные воды минерализованы и ограничены, а испарение велико, вторичное засоление сохраняется длительное время. На оросительных системах с более благоприятными природными условиями поступление пресных поливных вод вызывает рассоление территории. Это третья стадия развития вторичных явлений на орошаемом массиве. Рассоление происходит в том же порядке, в каком происходило засоление. Вначале опресняются территории вдоль каналов, затем происходит рассоление всей орошаемой территории. Соли с орошаемой территории вытесняются на их периферию и далее за пределы орошаемых земель на неорошаемые участки. Возникает так называемое периферийное засоление орошаемых оазисов. Чем старше орошаемый массив, тем более выражен процесс рассоления центральной его части и засоления периферии и прилегающих неорошаемых земель. По достижении определенной фазы перелога из солеприемника могут стать

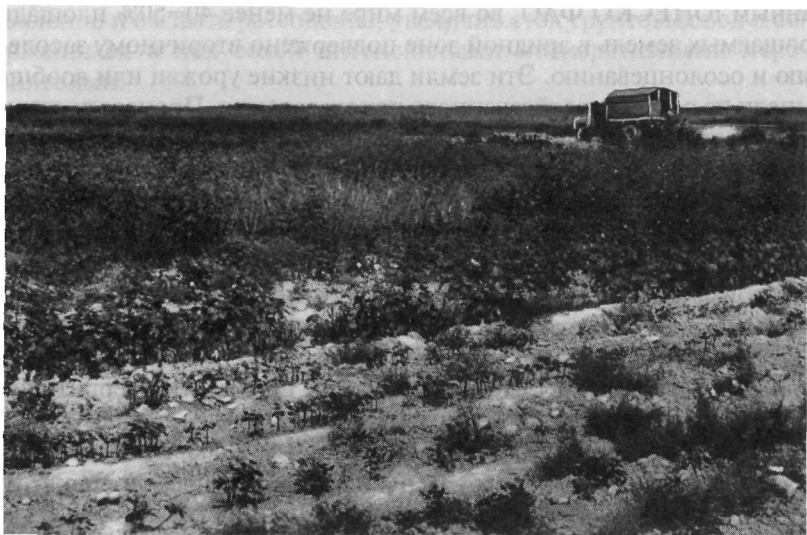


Рис. 81. Постоянно пятнистое вторичное засоление орошаемых почв Джезакской степи. Узбекистан

фактором засоления. Возможен обратный процесс передвижения солей из периферии к центру.

Стадии вторичного засоления протекают в зависимости от степени минерализации грунтовых вод. При низкой минерализации вторичное засоление начинается со стадии периодического пятнистого засоления, которое сменяется постоянным пятнистым засолением. При сильной минерализации грунтовых вод процесс засоления протекает так, как это описано выше (Егоров, 1954, 1968).

8.5.2. КРИТИЧЕСКАЯ ГЛУБИНА ГРУНТОВЫХ ВОД

На массивах, подверженных вторичному засолению, происходит быстрый подъем грунтовых вод. Чем выше уровень минерализованных грунтовых вод к дневной поверхности, тем существеннее угроза вторичного засоления почв. Б.Б. Полыновым (1930) для оценки возможности вторичного засоления введено понятие критический уровень грунтовых вод. Глубина залегания грунтовых вод, при которой начинается засоление поверхностных корнеобитаемых горизонтов, происходит соленакопление, приводящее к угнетению и гибели сельскохозяйственных растений, называется критической. В почвах разного механического состава, при разной степени минерализации грунтовых вод и в различных климатических условиях абсолютные значения критической

глубины залегания грунтовых вод различны. В общем виде критическую глубину залегания грунтовых вод можно определить по формуле

$$h_{кр} = h_{max} + a ,$$

где h_{max} — наибольшая высота капиллярного подъема в исследуемых почвах; a — глубина распространения основной массы корней сельскохозяйственных растений. Критическая глубина грунтовых вод колеблется в интервале от 1,5 м в легких до 3,5 м в тяжелых почвах. Чем выше минерализация, тем с большей глубины грунтовые воды могут вызывать засоление почв и гибель сельскохозяйственных растений (рис. 82). По данным В.А. Ковды, в среднем можно принять, что при минерализации грунтовых вод 4–6 г/л в условиях аридных зон Азии, Африки, Европы критическая глубина залегания грунтовых вод равна 2–2,5 м. При орошении необходимо поддерживать уровни грунтовых вод на глубине ниже критической, т.е. несколько глубже 2–2,5 м. При минерализации 1–2 г/л грунтовые воды на глубинах 1–1,5 м не вызывают засоления почв.

Критическая глубина грунтовых вод обусловлена различной способностью к капиллярному водоподъему различных почвообразующих и подстилающих пород. Эти величины условно характеризуют следующие данные, м:

Лёссы, пылеватые суглинки	3,5–4,0
средние суглинки	3,0
тяжелые суглинки	2,0
тяжелые глины	1–1,5
Пески	0,5–1,2

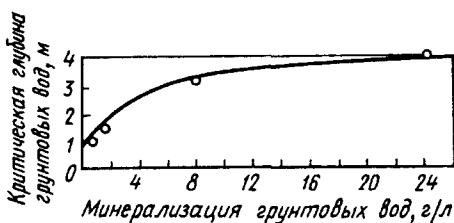


Рис. 82. Зависимость критических глубин грунтовых вод от их минерализации (В.А. Ковда, 1968)

При оценке оптимальных уровней грунтовых вод на массиве орошения следует иметь в виду их усвоение культурной растительностью на транспирацию. Свекла, хлопчатник, люцерна могут использовать грунтовые воды с глубины 2–5 м. При этом их суточный расход на транспирацию в вегетационный период для разных культур (мм/сут) оказывается весьма существенным и характеризуется следующими величинами: люцерна — 3,0–8,0, хлопчатник — 1,5–2,0, кукуруза — 2,8–4,0, пшеница — 2,6–2,8, древесная растительность — 3,0–4,0.

8.6. ДРЕНАЖ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ

Дренаж почв на орошаемых массивах необходим для удаления избытка влаги и солей, поддержания грунтовых вод на уровне, исключающем вторичное засоление. Дренажная сеть на орошаемом массиве обеспечивает возможность стабильной и эффективной эксплуатации мелиорированных земель. В настоящее время накоплены данные, подтверждающие высокую эффективность этого мероприятия.

Коллекторно-дренажная сеть на орошаемом массиве — это специальный комплекс гидротехнических сооружений, состоящий из дрен, коллекторов, насосных станций, обеспечивающих сбор и отвод с орошаемых массивов грунтовых вод. Дренаж на орошаемом массиве может быть горизонтальным и вертикальным.

В зависимости от условий водного питания, засоления, рельефа и других факторов дренаж может различаться расположением дренажных устройств на мелиорируемой территории. По расположению на местности он может быть систематическим — дрены расположены равномерно на мелиорированной территории, выборочным — дрены приурочены к отдельным участкам с неблагоприятным мелиоративным состоянием и линейным (головной или ловчий) — дрены расположены по фронту питания грунтовых вод в пределах мелиорируемой территории или вне ее. На орошаемых землях может применяться самостоятельно как горизонтальный, так и вертикальный дренаж или одновременно оба вида (комбинированный дренаж).

8.6.1. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ДРЕНАЖ

Система горизонтального дренажа представляет собой совокупность горизонтальных дрен и коллекторов с гидротехническими сооружениями, предназначенными для дренирования орошаемой территории. Дрены принимают и отводят грунтовые воды непосредственно с мелиорируемой территории, а коллекторы транспортируют их в водоприемник. Если самотечный отвод дренажных вод с орошаемой территории невозможен, предусматривают водоподъем с помощью дренажной насосной станции. Коллекторную сеть дренажной системы располагают по наиболее пониженным элементам рельефа с учетом границ хозяйств, севооборотов и других факторов. Расчетный расход открытых главных коллекторов должен предусматривать пропуск паводковых расходов 10%-й обеспеченности с учетом дренажных сбросных расходов. Закрытые горизонтальные дрены могут быть керамическими, железобетонными, керамзитобетонными, полиэтиленовыми, асбестоцемент-

ными. Для защиты труб от заиливания при строительстве применяют траншейные фильтры из песка, гравия и других материалов (рис. 1.22, 1.23).

При определении глубины горизонтального дренажа исходят из того, что в середине между дренами уровни залегания грунтовых вод не должны превышать критических значений. Поэтому глубина заложения дрена рассчитывается по формуле

$$H_{\text{др}} = H_{\text{кр}} + h + h_{\text{н}},$$

где $H_{\text{др}}$ — глубина заложения дрена, м; $H_{\text{кр}}$ — критическая глубина залегания грунтовых вод, м; h — высота превышения уровня залегания дрена грунтовым потоком в середине между дренами, м; $h_{\text{н}}$ — высота наполнения дрена или канала, м.

Расчет междренних расстояний (E) в однопластовом потоке выполняют по формуле В.М. Шестакова

$$E = 4 \left(\sqrt{L_{\text{д}}^2 + \frac{Th}{2W}} - L_{\text{д}} \right),$$

где $L_{\text{д}} = 0,73 \cdot m_{\text{д}} \cdot \lg \frac{2m_{\text{д}}}{\pi \cdot d}$, T — проводимость водоносного пласта, $\text{м}^2/\text{сут}$; h — расчетный напор между дренами, м; W — интенсивность инфильтрации, $\text{м}/\text{сут}$; $L_{\text{д}}$ — расчетная длина зоны резкой деформации потока вблизи дрена, м; $m_{\text{д}}$ — расстояние от водоупора до расчетного уровня воды в дрене, м; d — диаметр дрена по внешнему контуру фильтра, м.

8.6.2. ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ДРЕНАЖ

Система вертикального дренажа обеспечивает понижение уровня грунтовых вод путем их механической откачки из скважин (рис. 83). Она представляет собой сложное сооружение, состоящее из водозабора (система глубоких скважин, оборудованных фильтрами) с гидротехническим оборудованием и наземного комплекса. В состав последнего входят энергетическое хозяйство (высоковольтная линия электропередач, трансформаторная подстанция, низковольтная линия, пусковая аппаратура, электрооборудование), средства автоматики, телемеханики и связи, водоприемные соору-

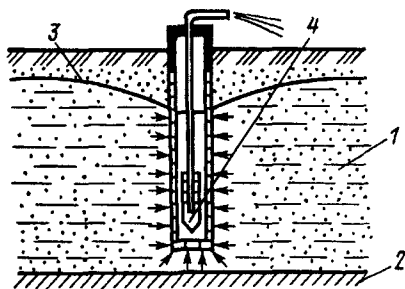


Рис. 83. Схема действия вертикального дренажа:
1 — водоносный горизонт; 2 — водоупор;
3 — депрессионная кривая; 4 — обсадные трубы, насос, фильтр

жения и водоотводящая сеть, эксплуатационные дороги (рис. 84). Вертикальный дренаж орошаемых земель — сравнительно новый способ понижения уровня грунтовых вод. Он был впервые применен в США в 20-х годах для дренажа и орошения сельскохозяйственных земель штата Аризона. В этот период была построена система вертикального дренажа из 159 скважин, которая обслуживала площадь 21 000 га. В нашей стране первая скважина вертикального дренажа на орошаемых землях была построена в 1928 г. в Голодной степи Н.В. Макридиным и М.М. Решеткиным. В настоящее время системы вертикального дренажа на орошаемых массивах применяют в государствах Центральной Азии, в Армении, в Грузии, на некоторых объектах орошения Украины.

Вертикальный дренаж позволяет активно регулировать уровень грунтовых вод на объекте, он занимает небольшую площадь,

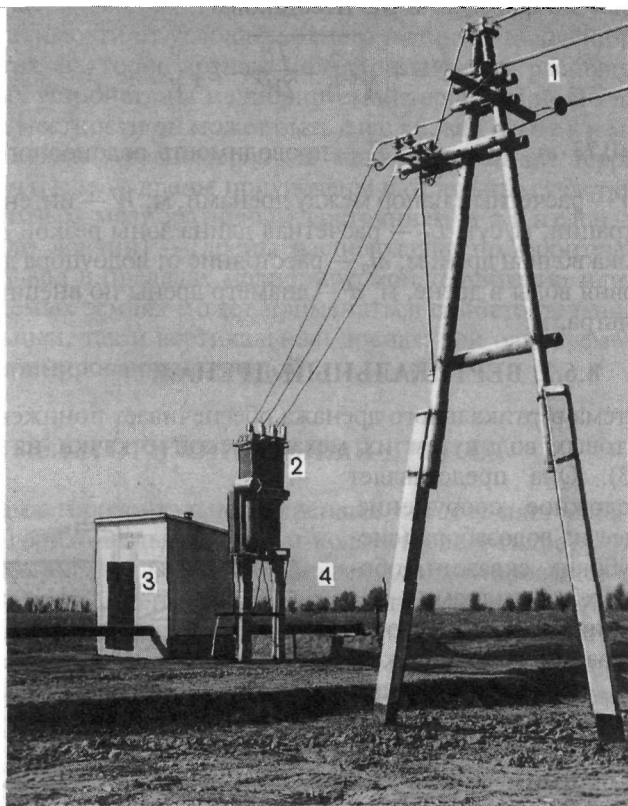


Рис. 84. Оборудование скважины вертикального дренажа. Голодная степь, Узбекистан;

1 — высоковольтная линия; 2 — трансформаторная подстанция; 3 — станция;
4 — лотковый водовод для транспорта поднятых на поверхность грунтовых вод в открытый канал

не препятствует механизации сельскохозяйственных работ, позволяет использовать неминерализованные грунтовые воды для орошения. В среднем одна скважина вертикального дренажа может обслуживать площадь 50–100 га, а ее дебит колеблется в интервале 30–200 л/с. К недостаткам вертикального дренажа следует отнести высокие эксплуатационные затраты, потребность в электроэнергии и качественных фильтрах.

Вертикальный дренаж применяют для решения трех основных задач: 1) для водоподъема на орошение пресных напорных подземных вод с одновременным рассолением почв; 2) для предотвращения подъема минерализованных грунтовых вод на землях нового орошения; 3) при замене минерализованных грунтовых вод пресными. Наиболее благоприятные результаты при применении вертикального дренажа получены в хорошо водопроницаемых почвогрунтовых толщах с высоким дебитом скважин. Дебит каждой скважины может быть определен как

$$Q = \pi R^2 (q + P),$$

где q — среднегодовая интенсивность питания грунтовых вод за счет орошения, $\text{м}^3/\text{сут}\cdot\text{м}^2$; P — напорное питание, $\text{м}^3/\text{сут}\cdot\text{м}^2$; R — радиус круга, соответствующего максимальным размерам депрессионной воронки вокруг одной скважины, м.

При известных радиусе влияния R одной скважины и ее дебите Q можно, зная проектную глубину грунтовых вод h , рассчитать понижение уровня воды в скважине (рис. 85):

$$S_0 = h + \frac{Q}{4\pi K_\phi m} \left(\ln \frac{R}{r} + \xi \right),$$

где S_0 — понижение уровня воды в скважине, м; K_ϕ — коэффициент фильтрации водоносной толщи, м/сут; m — мощность водоносной толщи в хорошо фильтрующих породах, м; r — внешний радиус фильтра скважины, м; ξ — коэффициент, учитывающий несовершенство скважины; h — глубина грунтовых вод от дневной поверхности (проектная), м.

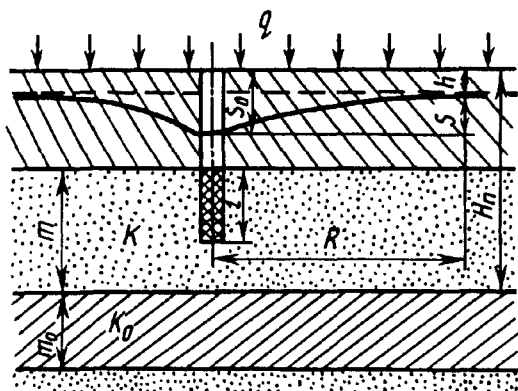


Рис. 85. Схема расчета вертикального дренажа при установившейся фильтрации

8.6.3. ВАКУУМИРОВАНИЕ ДРЕНАЖА

В орошаемых почвах наиболее высокие концентрации солей находятся в почвенном растворе, сосредоточенном в тонких капиллярах. В этих порах при постоянном действии гравитационных сил тем не менее устойчиво удерживаются значительные запасы минерализованной влаги. Поэтому дополнительное давление, наложенное с помощью вакуумирования на систему почвенных капилляров, могло бы позволить значительно полнее извлечь из мелкоземистых горизонтов наиболее минерализованную часть растворов порового пространства почв. Для решения этой задачи в последние годы были разработаны и построены экспериментально-производственные системы вакуумированного горизонтального и вертикального дренажа (Дегтярев, Калантаев, 1976). В них с помощью специальных устройств в водной и воздушной средах создается давление ниже атмосферного. Мелиоративное значение вакуумирования заключается в том, что при наложении вакуума на дренажную систему можно добиться существенного увеличения водоотдачи, поскольку из почвогрунтовой толщи извлекается не только гравитационная, но и значительная часть влаги, удерживаемой тонкими капиллярами. Увеличение водоотдачи (и коэффициента водоотдачи) обуславливает усиление притока влаги к дрене и, как следствие, увеличение дренажного стока.

В дренах давление ниже атмосферного может быть создано с помощью трех следующих приемов вакуумирования: 1) откачкой воздуха из изолированных от атмосферы дрен (или вертикальных скважин); 2) использованием энергии струи воды, нагнетаемой через эжектор; 3) устройством сифона в устье дрен.

Применение вакуумирования дренажа в суглинистых и глинистых почвах, существенно повышая водоотдачу, способствует увеличению скорости снижения уровня грунтовых вод и солеотдачи и улучшает мелиоративную обстановку на массивах орошения (табл. 20).

Таблица 20

Влияние вакуумирования горизонтального дренажа на скорость снижения грунтовых вод (Б.М. Дегтярев, В.Д. Калантаев, 1976)

Расстояние от оси дрен, м	Скорость понижения уровня грунтовых вод, см/сут	
	на фоне обычного дренажа	на фоне вакуумированного дренажа
1,5	4	12
8,0	3	8
50,0	2	8
100,0	1	4
200,0	0,5	1,5

8.7. СПОСОБЫ УДАЛЕНИЯ СОЛЕЙ ИЗ ПРОФИЛЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

Основным и наиболее надежным способом удаления солей при мелиорации засоленных почв в настоящее время следует признать сквозную промывку почв на фоне горизонтального, вертикального или комбинированного дренажа. Этот прием позволяет создать на орошаемом массиве (в случае, если почвы не обеспечены благоприятным естественным дренажем) необходимые условия для устойчивого промывного режима и отвода соленых растворов за пределы орошаемого поля. Кроме этого приема в мелиоративной практике одновременно со сквозными промывками или независимо от них применяют и другие способы удаления солей — механическое удаление солей с поверхности, запашка солей, поверхностные промывки, вымывание солей и др.

8.7.1. МЕХАНИЧЕСКОЕ УДАЛЕНИЕ СОЛЕЙ

Способ механического удаления солей заключается в сгребании солевой корки солончаков или сильнозасоленных почв тракторными скребками и последующей транспортировке собранных таким образом солей за пределы орошаемого массива. Способ применим, главным образом, на сильнозасоленных почвах. Механическое удаление солей полезно проводить перед промывками, так как это способствует сокращению расхода промывных вод на рассоление и ускоряет процесс рассоления.

8.7.2. ЗАПАШКА СОЛЕЙ

Запашка солей применяется на слабозасоленных почвах в тех случаях, когда нижние горизонты профиля свободны от солей, а их незначительные повышенные концентрации небольшой мощности сосредоточены в поверхностных горизонтах профиля. Перепашка при относительно мощном гумусном горизонте создает условия для равномерного разбавления солей в мелкоземном пахотном горизонте до уровня концентраций, не препятствующих нормальному росту и развитию сельскохозяйственных растений.

8.7.3. ПОВЕРХНОСТНАЯ ПРОМЫВКА

Для удаления солей из корнеобитаемых горизонтов тяжелых почв с низкой водопроницаемостью, высокой влагоемкостью и высоким содержанием солей применяют поверхностные промывки. При поверхностной промывке удаление солей из верхних горизонтов происходит путем декантации, т.е. систематического растворения солей в промывных водах и их сброса. Повторная декантация новыми порциями воды осуществляется за один прием 2–3 раза. Этот способ используют на тяжелых почвах с вы-

соким содержанием солей в верхних горизонтах и относительно низким содержанием солей в глубоких слоях почвенного профиля. Способ предполагает применение значительных масс воды (до 20–30 тыс. м³/га); он позволяет совмещать поверхностную промывку и вымывание солей с рисосеянием или разведением рыбы на орошаемых массивах.

8.7.4. ВМЫВАНИЕ СОЛЕЙ

На слабозасоленных почвах с глубоким залеганием грунтовых вод временное опреснение почв может быть достигнуто путем оттеснения, вымывания солей в нижние горизонты профиля. При этом, однако, соли не поступают в грунтовый поток. Этот способ можно использовать при условии, что взрослые растения переносят свойственное данной почве засоление, а для молодых создается благоприятная обстановка после полива, направленного на вымывание солей в нижние горизонты профиля в начальные фазы вегетации.

8.7.5. СКВОЗНАЯ ПРОМЫВКА

Сквозной промывкой называется промывка водорастворимых солей из всей толщи горизонтов почвенного профиля, вынос солей в грунтовой поток и их удаление в условиях естественного или искусственного дренажа за пределы орошаемого массива.

При сквозной промывке возможно опреснение не только почвенной толщи, почвообразующих и подстилающих пород, но и поверхностных слоев грунтовых вод. Таким образом, только сквозные промывки на фоне дренажа могут обеспечить создание условий на объектах орошения, исключающих реставрацию засоления (рис. 1.35, 1.36).

8.8. ПРОМЫВНЫЕ НОРМЫ

Промывные воды, поступающие на мелиорируемое поле, строго нормируются. Промывной нормой называют объем воды, который подается для промывки солей в течение промывного периода. Обычно промывки осуществляют осенью или зимой в условиях ограниченного испарения. Промывная норма зависит от физических свойств почв, степени и химизма засоления, глубины залегания грунтовых вод. Процесс промывки осуществляется в два этапа. На первом этапе после насыщения почвы водой происходит растворение солей. На втором этапе раствор солей вытесняют дополнительным объемом промывной воды. Поэтому промывная норма должна состоять из двух частей. Первая идет на увлажнение почвы до предельной полевой влагоемкости (ППВ). Она равна разности между предельной полевой влагоемкостью почвы и ее предполивной влажностью (минус объем зашемленного воздуха). Эта

часть поливной нормы предназначена для растворения солей. Вторая часть промывной нормы, равная (или кратная) разности между водовместимостью (общая порозность минус объем заземленного воздуха) и предельной полевой влагоемкостью, вытесняет соленый раствор из почвы и почвообразующих пород и создает пресную подушку в поверхностных слоях грунтовых вод.

Для расчета промывной нормы Л.П. Розов предложил следующую формулу:

$$M_{\text{пр}} = \text{ППВ} - m + nB,$$

где $M_{\text{пр}}$ — промывная норма; ППВ — предельная полевая влагоемкость; m — запас влаги перед промывкой; n — коэффициент, зависящий от степени засоления почв (обычно равен 1 и более); B — объем воды, необходимый для вытеснения солей из расчетного слоя после насыщения почвы до влажности, соответствующей предельной полевой влагоемкости, $B = \varepsilon - \text{ППВ}$, ε — полная влагоемкость ($M_{\text{пр}}$, ППВ, m , ε , B , м³/га).

Л.П. Розов показал, что если почва насыщена влагой до ППВ, то одна дополнительная порция воды ($n = 1$) может удалить 60–90% солей.

В мелиоративной практике широкое применение получила формула для расчета промывных норм, предложенная В.Р. Волобуевым:

$$M_{\text{пр}} = 10000 \cdot \alpha \cdot \lg \frac{S_{\text{н}}}{S_0},$$

где $M_{\text{пр}}$ — промывная норма, м³/га; α — показатель солеотдачи, определяемый по данным опытно-производственных промывок (табл. 21); $S_{\text{н}}$ — содержание солей в промываемом слое почвогрунта до начала промывки, % от массы почвы; S_0 — допустимое содержание солей, % от массы почвы.

Содержание солей $S_{\text{н}}$ в промываемом слое до начала промывки устанавливают на основе материалов почвенно-мелиоративных изысканий. Промывка орошаемых почв считается завершенной, если допустимое содержание солей S_0 в почвогрунтовой толще не превышает следующих величин, % от массы сухой почвы:

хлоридное	0,2
сульфатно-хлоридное	0,3
хлоридно-сульфатное	0,4

Абсолютные значения промывных норм, рассчитанные по формуле В.Р. Волобуева, соответствуют величинам, приведенным в табл. 22.

Промывки засоленных почв могут быть капитальными и эксплуатационными. Капитальные промывки выполняют в процессе строительства оросительной системы. К капитальным промывкам приступают после завершения работ по строительст-

Значение показателя солеотдачи α в зависимости от химического и гранулометрического состава промываемых почв (В.Р. Волобуев, 1975)

Гранулометрический состав	Тип засоления			
	хлоридный	сульфатно-хлоридный	хлоридно-сульфатный	сульфатный
Песчаный, супесчаный	0,62	0,72	0,82	1,18
Суглинистый	0,92	1,02	1,12	1,41
Суглинистый и глинистый	1,22	1,32	1,42	1,78
Глинистый	1,80	1,90	2,10	2,40
Слитые глинистые почвы	2,70	2,80	3,00	3,30

Таблица 22

Промывные нормы для некоторых групп почв в зависимости от гранулометрического состава, типа и степени засоления (В.Р. Волобуев, 1975), м³/га

Содержание солей в расчетном слое до начала промывки, % от массы почвы	Промывная норма для типа почв по солевому составу			
	хлоридный	сульфатно-хлоридный	хлоридно-сульфатный	сульфатный

Почвы песчано-супесчаного состава

0,5—1,0	4 500	4 000	3 500	—
1,0—2,0	6 500	6 000	5 500	4 000
2,0—3,0	7 500	7 000	6 500	5 500
3,0—4,0	8 500	8 000	7 500	7 000

Почвы суглинистого состава

0,2—0,5	4 000	4 000	1 000	—
0,5—1,0	6 500	5 500	4 000	—
1,0—2,0	9 500	8 500	7 500	4 500
2,0—3,0	11 000	10 000	9 500	7 000
3,0—4,0	12 000	11 500	11 000	9 000

Почвы глинистые с низкой водоотдачей

0,2—0,6	7 000	4 000	2 500	—
0,5—1,0	12 500	10 000	7 000	—
1,0—2,0	18 000	15 500	15 000	7 000
2,0—3,0	21 500	19 000	19 000	12 000
3,0—4,0	23 000	21 500	21 000	14 500

ву коллекторно-дренажной и оросительной сетей, а также после выполнения необходимого комплекса агромелиоративных работ, связанных с подготовкой территории к поливу, — планировки поверхности, глубокого мелиоративного рыхления почв, щелевания, плантажной вспашки и др.

Эксплуатационные промывки выполняют в процессе сельскохозяйственного использования территории после завершения строительства оросительной системы и ввода ее в эксплуатацию.

Период промывки засоленных почв и их окультуривание, выполнения мероприятий по повышению их плодородия до уровня, обеспечивающего получение проектных урожаев, называется мелиоративным периодом. Задача мелиоративного периода заключается в повышении плодородия мелиорируемых почв, их подготовке к введению предусмотренных проектов систем земледелия, придании почвам благоприятных физических и химических свойств. В мелиоративный период орошаемая территория может использоваться для размещения промежуточных культур, улучшающих свойства почв.

8.9. БИОЛОГИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

Отрицательные свойства сильнозасоленных почв и солончаков могут быть в известной мере ослаблены в результате их биологической мелиорации. Этот вид мелиорации осуществляется путем возделывания на засоленных почвах галофитов. Галофиты способны поглощать до 20–50% солей от собственной сухой массы. Скашивание и удаление солянок позволяет освободить поверхностные горизонты от части солей. Кроме того, солянки затеяют почву, обогащают ее верхние горизонты органическим веществом. Способ биологической мелиорации оказывается более эффективным при использовании его на слабозасоленных почвах. Здесь возможно возделывание таких ценных луговых трав, как пырей, донник, люцерна, полевица, солончаковатый ячмень и др.

Рассмотренные вопросы мелиорации засоленных почв имеют общий характер и применимы для обширной, широко распространенной группы почв с хлоридным, сульфатным, хлоридно-сульфатным и сульфатно-хлоридным засолением. В их профиле содержатся легководорастворимые соли, которые выносятся с током инфильтрующейся воды. Удаление токсических концентраций солей осуществляется относительно легко при регулярных эксплуатационных промывках.

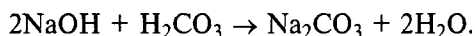
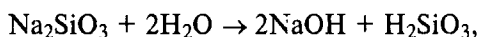
Наряду с этой группой существуют и другие засоленные почвы, в которых с помощью только промывок невозможно или очень сложно устранить опасную концентрацию токсических солей и придать этим почвам благоприятные химические и физические свойства. Ко второй группе относятся почвы содового, сульфидного, гипсового, карбонатного и других типов засоления. Они имеют значительно меньшее распространение, однако их региональное хозяйственное значение также весьма актуально.

8.10. ОСОБЕННОСТИ МЕЛИОРАЦИИ ПОЧВ СОДОВОГО, СУЛЬФИДНОГО, ГИПСОВОГО И КАРБОНАТНОГО ЗАСОЛЕНИЯ

8.10.1. СОДООБРАЗОВАНИЕ. ГЕНЕЗИС И МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ СОДОВОГО ЗАСОЛЕНИЯ

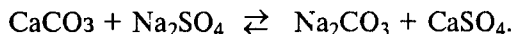
Щелочные почвы содового засоления — сложный объект мелиорации. Сода в весьма малых концентрациях отрицательно влияет не только на растения, но и вызывает диспергацию почв, резкое ухудшение их физических свойств. Внедрение натрия в поглощающий комплекс повышает набухаемость почв, их трещиноватость, плотность, вызывает диспергацию агрегатов и понижение водопроницаемости. Поэтому выяснение причин содообразования и диагностики почв содового засоления имеют важное практическое значение. Сода в почвах, породах и грунтовых водах образуется в результате ряда следующих причин.

1. В процессе выветривания горных пород, содержащих алюмосиликаты натрия, переноса их ветром и водами поверхностного и внутрипочвенного стока (геохимическая теория содообразования). Наиболее интенсивно эти явления протекают в ареалах основных пород — базальта, габбро, вулканических лав, вулканического пепла, нефелиновых сиенитов и др. Реакция содообразования протекает по схеме



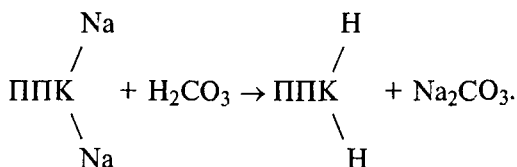
Первичным источником натрия в этом случае может быть известково-натриевый полевой шпат (плаггиоклаз) — наиболее распространенный минерал земной коры (40,2%) и другие натрийсодержащие минералы — альбит, нефелин и т.д. Наиболее полно теория геохимического образования соды получила развитие в работах В.А. Ковды. Содообразование отчетливо проявляется на территориях молодого вулканизма, перекрытых новейшими пирогенными осадками, в депрессиях с недостаточным естественным дренажем и в условиях засушливого климата.

2. Сода в почвах может возникать в результате замещения кальция карбонатов в породах на натрий хлоридов и сульфатов грунтовых вод (реакция Е.В. Гильгардта):

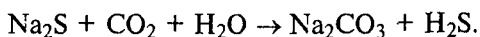
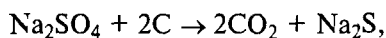


3. Сода образуется вследствие обменных реакций между почвой, насыщенной обменным натрием, угольной кислотой или кар-

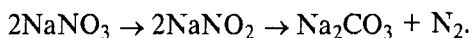
бонатом кальция грунтовых вод или почвенных растворов (реакция К.К. Гедройца):



4. Биохимическим путем в результате деятельности сульфатредуцирующих микроорганизмов в переувлажненной почве в анаэробных условиях. Реакция протекает при обязательном наличии органического вещества и сульфатов натрия в почвах при активном участии сульфатредуцирующих микроорганизмов по схеме



И.Н. Антипов-Каратаев полагал, что сода образуется в луговых почвах при капиллярном насыщении их водой, содержащей сульфаты и доступное для бактерий органическое вещество. Этот процесс может протекать в лесостепной, степной и пустынной зонах. Экспериментально А.Р. Вернер и Н.В. Орловский подтвердили возможность содообразования в результате деятельности сульфатредуцирующих бактерий на территории Западной Сибири (Барабинская низменность). И.Н. Антипов-Каратаев обнаружил, что образование соды биологическим путем возможно не только в результате редукции сульфатов, но и в процессе денитрификации азотистых соединений натрия по схеме



5. Сода может накапливаться в почве в результате минерализации растений, содержащих натрий.

6. Накопление соды в почвенном профиле возможно за счет поступления глубинных напорных щелочных вод, а также при орошении почв слабощелочными водами.

Таким образом, в настоящее время существуют три основные теории содообразования в почвах: теория обменных реакций К.К. Гедройца, биохимическая теория, разработанная И.Н. Антиповым-Каратаевым, и геохимическая теория содообразования В.А. Ковды.

Присутствие свободных бикарбонатов и карбонатов щелочей в почвах вызывает возникновение в них резко щелочной реакции. Значения рН щелочных почв содового засоления выше 8,5 и обычно колеблются в интервале от 9 до 11. В почвах содового засоления наряду с карбонатами и бикарбонатами щелочей присутствуют си-

ликаты, гуматы и алюмосиликаты этих же щелочей. Чем выше степень щелочности почв, тем больше содержание обменного натрия в составе поглощенных катионов.

Сода имеет тенденцию накапливаться в районах сравнительно низкого общего содержания солей, т.е. на начальных стадиях соле-накопления. Накопление соды можно рассматривать как начальную стадию процесса засоления почв и вод.

Поэтому солонцовые почвы и солонцы могут иметь первичный характер, т.е. возникать самостоятельно, минуя стадию солончаков, которые, по теории К.К. Гедройца, предшествуют солонцам. Вместе с тем возможна и эволюция солончаков в содовые солонцы, особенно в условиях возникновения вторичного водного режима при орошении на фоне дренажа.

Почвы содового засоления — один из наиболее сложных объектов мелиорации. Это обстоятельство объясняется, во-первых, наибольшей токсичностью раствора карбоната натрия по сравнению со всеми другими водорастворимыми солями и, во-вторых, весьма отрицательными физическими свойствами почв, обусловленными действием соды, — высокой пептизацией и дезагрегированием горизонтов почвенного профиля, снижением их порозности, водопроницаемости, уплотнением, повышенной пластичностью, набухаемостью, влагоемкостью и др.

Наличие высоких концентраций соды в грунтовых водах (до 1 г/л) сильно влияет на растворимость и подвижность углекислого кальция. Концентрация кальция в грунтовой воде резко снижается при сравнительно низких величинах общей щелочности (рис. 86). В присутствии бикарбоната натрия углекислый кальций еще сохраняет некоторую растворимость, но абсолютное преобладание нормальной соды приводит практически к полному исчезновению кальция из грунтовых вод. В районах щелочного соленакопления в

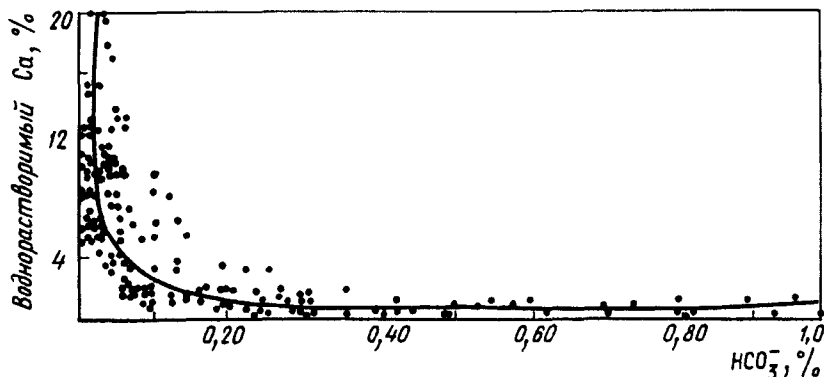


Рис. 86. Зависимость между общей щелочностью и содержанием кальция в водной вытяжке (Ca^{2+} , % от суммы катионов, В.А. Ковда, 1968)

почвенно-грунтовых водах кальций практически отсутствует, несмотря на наличие значительных масс углекислого кальция как в породе, так и в почвенных горизонтах.

Таким образом, в районах содового засоления складывается весьма неблагоприятная геохимическая обстановка для формирования почв и их сельскохозяйственного использования.

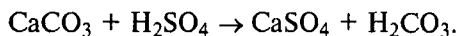
На протяжении многих десятилетий для мелиорации почв содового засоления использовали природные залежи гипса. В результате обменной реакции $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaSO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3$ в почве образуются сульфат натрия и известь. Сульфат натрия, соль менее токсичная, чем нормальная сода, легко растворяется в воде и выносится грунтовыми водами за пределы орошаемого массива. Следует, однако, особо подчеркнуть, что процесс мелиорации почв содового засоления с помощью гипса даже на фоне промывок и дренажа протекает весьма медленно, а эффективно действующие дозы применяемого мелиоранта оказались весьма значительными (от 15–20 до 60–90 т/га гипса). При этом гипс рекомендуется вносить последовательно, в несколько приемов. Невысокие темпы мелиорации гипсованных почв содового засоления обусловлены прежде всего их неблагоприятными физическими свойствами и относительной химической инертностью природного гипса, вносимого в почву в качестве мелиоранта. Значительно более эффективным оказалось использование для мелиорации почв содового засоления серной кислоты и серосодержащих продуктов (железного купороса, серы и др.). Следует отметить, что мелиорация почв содового засоления серосодержащими мелиорантами известна давно. В начале XX в. на Аризонской и Калифорнийской опытных станциях США с целью нейтрализации щелочной реакции почв и вытеснения из поглощенного комплекса натрия использовали не только гипс, но и серу, сернокислое железо, серную кислоту и другие продукты. В Венгрии, где мелиорации содовых почв всегда уделялось большое внимание, значительный положительный эффект при их освоении был достигнут благодаря применению в качестве мелиорантов гипса, серы, остатков бурого угля (с содержанием серы до 2–3%) при промывках на фоне дренажа (Сабольтч, 1969).

К.К. Гедройц еще в 20-х годах выдвинул положение о том, что для освоения карбонатных щелочных почв содового засоления необходимо их кислотообразование 1–2%-й серной кислотой. В СССР способ мелиорации карбонатных щелочных почв в условиях крупномасштабного сельскохозяйственного производства с помощью серной кислоты и железного купороса был разработан Институтом почвоведения, агрохимии и мелиорации Армении под руководством Г.П. Петросяна и успешно применен в Араратской долине (рис. 1.44–1.46). Этот способ мелиорации весьма несложен, а его экономическая и агроэкологическая эффективность значительна. Техническую серную кислоту, почти постоянный нежелательный и

опасный для окружающей среды продукт нефтепереработки, через специальные резервуары вводили в оросительные каналы и направляли в чеки* для промывки почв содового засоления. Разбавление кислоты осуществлялось таким образом, чтобы в ч е к а х для промывки накапливался 1%-й раствор серной кислоты. Серная кислота активно разлагает соду:

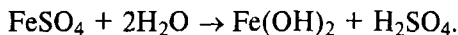


Поскольку промывку почв проводят серной кислотой при горизонтальном и вертикальном дренаже, сульфат и бикарбонат натрия — легководорастворимые соли, образующиеся в результате этой реакции, — быстро отводят с промывными водами за пределы орошаемой территории. Процесс мелиорации содовых почв в этом случае осуществляется значительно быстрее, чем с природным гипсом. Поскольку почвы содового засоления содержат карбонат кальция, при обработке серной кислотой образуется гипс:



Новообразовавшийся гипс отличается от природного высокой дисперсностью и реактивностью. Он свободен от карбонатных известковых оболочек, которые нередко покрывают поверхность крупных гипсовых кристаллов и затрудняют взаимодействие сульфата кальция с содой. Поэтому при промывках такой вторичный гипс оказывает положительное мелиоративное воздействие на почву, меняет ионный состав почвенного раствора и поглощающего комплекса.

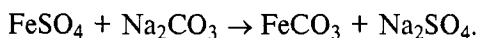
После завершения промывки валики чеков разравнивают, а в почву вносят железный купорос. Железо этой соли компенсирует вынос трехвалентных металлов при промывках почв раствором серной кислоты, способствует улучшению их физических свойств, а часть образующейся из купороса серной кислоты продолжает мелиоративное воздействие на отмываемую от соды щелочную почву. Железный купорос — соль сильной кислоты и слабого основания, в воде легко подвергается гидролизу:



При этом возникает оксид двухвалентного железа. Гидроокись железа пропитывает почвенный мелкозем и способствует восстановлению или созданию структуры. Одновременно образуется серная кислота, нейтрализующая соду. Железный купорос действует и

* Чек — часть орошаемой территории, подлежащая промывке; ее площадь, обычно 0,5—2 га, обваловывают невысокими валиками — 0,5—0,6 м.

непосредственно на соду, приводя к образованию сидерита и сульфата натрия:



Таким образом, кислование и внесение в почву железного купороса оказывают многофакторное мелиорирующее действие на карбонатные почвы содового засоления. Во-первых, под влиянием кислоты происходит нейтрализация соды и образование легкорастворимого сульфата натрия; во-вторых, в результате взаимодействия извести и серной кислоты формируются значительные массы мелкодисперсного гипса, способного к более активному взаимодействию, чем гипс из природных залежей; в-третьих, в результате гидролиза железного купороса в почве накапливается оксид железа, улучшающий ее структурное состояние, а также возникают дополнительные количества серной кислоты, способствующие дальнейшему улучшению щелочных почв.

8.10.2. СУЛЬФИДНОЕ ЗАСОЛЕНИЕ. ГЕНЕЗИС И МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ СУЛЬФИДНОГО ЗАСОЛЕНИЯ

В почвах приморских равнин, в поймах и дельтах крупных рек, главным образом тропической зоны, в условиях глубокого анаэробно-биоза накапливается большое количество двухвалентного железа. Источником железа являются мощные ферраллитные коры выветривания, эродированные водными потоками. Их мелкозем поступает в реки. В дельтах и поймах отложение такого седимента сопровождается погребением органических остатков мангровых лесов и кустарников. Источником сульфатов являются минерализованные морские и грунтовые воды. В результате анаэробного разложения растительных остатков складываются благоприятные условия для интенсивной сульфатредукции. Образовавшийся сероводород взаимодействует с двухвалентным железом. Образуется плохо растворимый сульфид железа, который фиксируется на месте своего возникновения. Сульфид железа не изменяет свойств почв до тех пор, пока в ней господствуют анаэробные условия.

Впервые этот процесс образования сульфида в почвах приморских равнин, поймах и дельтах был описан финским почвоведом Б. Аарнио (1915).

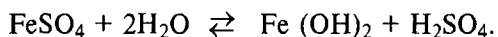
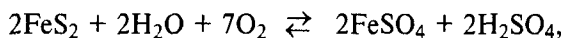
Наиболее широко кислые сульфидные почвы распространены в дельтах крупных рек тропической зоны на территории Таиланда, Вьетнама, Филиппин, Бирмы и других стран (рис. 1.47–1.49).

В странах Юго-Восточной Азии такие почвы занимают огромные пространства и играют важную роль в народном хозяйстве. Так, в Южном Вьетнаме только в дельте р. Меконг кислые сульфидные почвы образуют огромный единый массив, площадь которого

составляет несколько сотен тысяч гектаров. В последние годы в литературе появились указания о наличии кислых сульфидных заболоченных почв и в приморских северо-западных районах России.

Стабильное состояние таких почв, обогащенных сульфидами, в естественном состоянии существует только до тех пор, пока в их профиле сохраняется анаэробная обстановка.

Однако по мере продвижения дельты в море или в результате искусственного осушения происходят обсыхание территории и аэрация профиля на значительную глубину. Чем интенсивнее процесс осушения, тем активнее идет процесс окисления сульфидов. Продуктом реакции оказывается серная кислота. Этот процесс можно иллюстрировать следующими уравнениями реакций:



Серная кислота, продукт окисления сульфидов, разрушает карбонаты и является причиной резкого падения значений pH таких почв (до 2,5–3,0). Почвы теряют свое плодородие в результате экстракислой реакции корнеобитаемых горизонтов. Одновременно к зоне аэрации подтягивается большое количество двухвалентного железа, переходящего при контакте с воздухом в оксид трехвалентного железа. Его аккумуляция непосредственно на поверхности почвы и в гумусовом горизонте вызывает ретроградацию фосфатов и, как следствие, — низкое плодородие кислых сульфидных почв. В некоторых случаях кислые почвы, обогащенные сульфидами, возникают на почвообразующих породах, обогащенных этим серо-содержащим минералом (например, на юрских глинах и др.).

Так, эндемичным вариантом экстракислых почв, возникающих в результате окисления пирита, являются образования, формирующиеся на отвалах породы Московского бурогоугольного бассейна в Тульской области.

Все эти почвы являются весьма сложным и неполно изученным объектом мелиорации.

Сложность их мелиорации заключается в том, что нейтрализация высокой кислотности известковыми материалами практически невозможна, так как для этой цели необходимы огромные массы мелиорантов. Чем интенсивнее дренаж, связанный с их естественным или сельскохозяйственным осушением, тем большие массы известкового материала необходимо использовать для нормализации кислотности.

Возникает, казалось бы, нерешаемая ситуация. Для сельскохозяйственного использования сульфидные переувлажненные почвы необходимо осушать, но как только устраняется переувлажнение, так немедленно вступает в действие процесс окисления сульфидов, образуется серная кислота и резко снижаются значения pH. Почвы

оказываются непригодными для культурных растений. Известный выход был найден многовековой крестьянской практикой тропического земледелия. Он заключается в следующем.

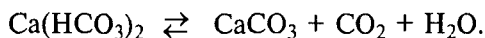
Осушение сульфидных переувлажненных почв осуществляют с помощью широких и невысоких гряд. Таким образом, происходит частичное осушение, избыточная влага удаляется из самых поверхностных горизонтов. В период тропических дождей серная кислота отмывается из корнеобитаемой зоны. В таких условиях удастся успешно возделывать некоторые ценные культуры, устойчивые к повышенной кислотности (например, баклажаны, ананасы и др.).

8.10.3. КАРБОНАТНОЕ ЗАСОЛЕНИЕ. ГЕНЕЗИС И МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ КАРБОНАТНОГО ЗАСОЛЕНИЯ

В условиях аридного климата при близком залегании жестких грунтовых вод в почвенном профиле могут возникать известковые, доломитизированные карбонатные аккумуляции, вызывающие уплотнение почв. Такие аккумуляции и коры резко ухудшают физические свойства почв: порозность, плотность и водопроницаемость. Растворимость карбоната кальция обусловлена содержанием в воде угольной кислоты. Если в растворе происходит падение парциального давления углекислоты, то растворимость CaCO_3 резко уменьшается и известь выпадает в осадок:

CO_2 , % объема	0,00	0,03	0,3	1,0	10	100
pH	10,2	8,5	7,8	7,5	6,8	6,1
CaCO_3 , г/л воды	0,013	0,063	0,138	0,211	0,489	1,058

Это может происходить в результате повышения температуры почвенного раствора или грунтовых вод по схеме



Растворимые бикарбонаты переходят в нерастворимые карбонаты и выпадают в осадок в виде извести или частично в форме доломита $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Вследствие этого на незасоленных грунтовых водах могут формироваться горизонты и коры известковых и доломитизированных аккумуляций. В Центральной Азии такие аккумуляции получили название ш о х. Они резко ухудшают мелиоративное состояние орошаемых территорий и свойства почв. Содержание CaCO_3 в шоховых почвах достигает 60–70% (рис. 1.37, 1.38, 1.40).

Следует учитывать, что при содержании в пахотном горизонте 10–15% извести возможно угнетение зерновых; при содержании около 40–50% CaCO_3 урожай зерновых снижается в два раза; при

наличии 50–70% извести происходит угнетение бобовых культур (Зайдельман, 1991).

Шохвые горизонты обладают высокой плотностью, практически непроницаемы для корней, нередко токсичны для растений. Для того чтобы мелиорировать такие почвы, необходимо не только механически разрушить плотные карбонатные горизонты, но и понизить концентрацию карбонатов. Эта задача решается следующим образом. В карбонатные почвы запахивают значительную массу органических удобрений. Разложение органики сопровождается выделением CO_2 и резким повышением концентрации бикарбонат-иона в почвенном растворе. Карбонатный цементированный горизонт рыхлят с помощью глубоких мелиоративных рыхлителей и затем производят полив. Многократное повторение глубокого рыхления, поливов и внесение крупных доз органики в конечном итоге позволяет мелиорировать такие карбонатные почвы с плотными цементационными горизонтами.

8.10.4. ГИПСОВОЕ ЗАСОЛЕНИЕ. ГЕНЕЗИС И МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ ГИПСОВОГО ЗАСОЛЕНИЯ

Если грунтовые воды содержат водорастворимый гипс, то обычно выше зоны известковых аккумуляций (или перекрывая их) происходит накопление гипса. Формы гипсовых аккумуляций называются весьма различными. В глубоких почвенных горизонтах это обычно друзы, часто срастающиеся в шары; в верхних горизонтах — отдельные пластинки, часто образующие спаренные формы, напоминающие ласточкины хвосты. В пухлых солоносных горизонтах солончаков гипс представлен в виде легкой мучнистой массы. В песчаных крупнопористых почвах формируются гипсовые «розы». В гидроморфных почвах обычно возникают мощные ноздреватые гипсовые аккумуляции — г а ж а, содержащие до 60–90% сернокислого кальция. Гипсовые горизонты, носящие в Центральной Азии название а р з ы к, могут при орошении подвергаться растворению и быть причиной возникновения суффозионных явлений на поливных землях, а также значительных потерь воды на фильтрацию. К гипсоносным в настоящее время относят такие почвы, которые содержат более 2% гипса. В мелиоративных и сельскохозяйственных целях их характеризуют следующими параметрами (табл. 23).

Гипсовое засоление при относительно невысоком уровне накопления гипса в почве не оказывает отрицательного физиологического влияния на сельскохозяйственные культуры. Нередко их значение оценивается положительно. Так, наличие масс гипса оказывает благоприятное действие, препятствуя внедрению натрия в поглощающий комплекс и осолонцеванию почв.

Характеристика гипсоносных почв
(П.А. Керзум, Н.Г. Минашина, Е.Н. Панкова, 1985)

Показатель	Градации, принятые для характеристики гипсоносных почв и гипсовых аккумуляций	
Содержание гипса в горизонте максимального скопления, %	слабогипсоносные	2–10
	среднегипсоносные	10–20
	сильногипсоносные	20–40
	очень сильногипсоносные	> 40
Глубина расположения верхней кровли гипсового горизонта, см	поверхностно-гипсоносные	0–30
	высокопрофильно-гипсоносные	30–50
	среднепрофильно-гипсоносные	50–100
	глубокогипсоносные	100–200
	гипсодержащие подстилающие породы	глубже 200
Мощность гипсового горизонта, см	маломощные	< 30
	среднемощные	30–100
	мощные	> 100
Размер и вид кристаллов гипса, мм	гипс мучнистый	< 0,1
	мелкокристаллический (белые непрозрачные кристаллы)	0,1–1,0
	среднекристаллический (желтоватые прозрачные кристаллы)	1–5
	крупнокристаллический и пластинчатый	> 5
Формы гипсовых аккумуляций	гипс шестоватый (губчатый), гипсовый горизонт рыхлый; мелкие конкреции гипса типа «пшеница», «рисовых зерен», псевдопеска мелкие ($d < 1$ см) плотные друзы; в виде «червячков» пронизывают почву, резко уплотняя гипсовый горизонт; крупные друзы ($d > 1$ см) и пластинки гипса мучнистый гипс, образует сплошной почвенный горизонт; в сухом виде очень плотный, во влажном — размокает и рассыпается	

Отрицательное влияние гипса на растения начинает проявляться только в сильногипсоносных почвах (содержание гипса более 20%). Оно прежде всего связано с ухудшением физических свойств почв, уплотнением подпахотных горизонтов, резким ограничением зоны питания растений.

Для нормального развития хлопчатника мало пригодны почвы с мощностью надгипсового горизонта менее 40 см. Гипс является мелиорантом. Однако при высоких концентрациях он связывает фосфат-ион в трехкальциевый фосфат, недоступную для растений форму. В целом гипсоносные почвы бедны гумусом, фосфором, калием, азотом. Поэтому растения, возделываемые на таких почвах, отзывчивы на внесение значительных (больших, чем на негипсоносных почвах) доз удобрений.

Существенно то, что влияние гипсовых аккумуляций на физические свойства почв определяется не только морфологическим строением кристаллов гипса и их размерами, но и гранулометрическим составом вмещающего горизонта. Так, если гипс представлен крупными кристаллами (>5 мм), которые находятся в суглинисто-глинистом мелкозем, то наблюдается уплотнение горизонта, уменьшение его водопроницаемости. Чем выше содержание крупнокристаллического гипса и тяжелее вмещающий мелкозем, тем ниже водопроницаемость горизонта и отчетливее проявляется его водоупорная роль. Глина обволакивает крупные кристаллы, нарушается капиллярная миграция влаги и водопроницаемость горизонта, увеличивается его плотность.

При высоком содержании в почве кристаллов гипса размером около 1 мм происходит закупорка межагрегатных пор, что также обуславливает снижение коэффициента фильтрации гипсосодержащих суглинисто-глинистых почв. Однако высокое содержание гипса может вызвать и противоположное воздействие на физические свойства таких почв. Это имеет место в следующих двух случаях. Во-первых, крупные кристаллы гипса разрыхляют песчано-супесчаные горизонты, повышают их порозность и увеличивают коэффициент фильтрации почв (Верба, Диа Мерамо, 1993). Во-вторых, присутствующие в межагрегатных и внутриагрегатных порах мучнистые гипсовые новообразования, состоящие из кристаллов менее 0,1 мм, разрыхляют почвенные горизонты и усиливают их водопроницаемость.

Поскольку в суглинисто-глинистых почвах кристаллы более 1 мм по изложенным выше причинам придают почвам водоупорные свойства, их полив значительными поливными нормами вызывает образование верховодки в поверхностных слоях. Поэтому орошение таких почв целесообразно осуществлять малыми дозами, увеличивая частоту полива. На таких почвах затруднены промывки. Они могут продолжаться в этих условиях долгие годы, вызывать

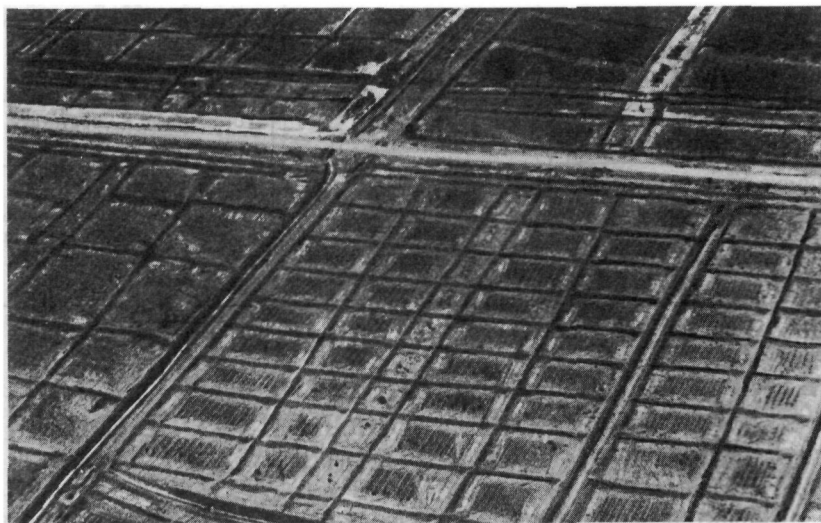


Рис. 87. Массив Голодной степи в Узбекистане, образованный гажевыми почвами. Капитальные промывки по чекам гипсоносных почв более 10–12 лет. Аэрофотоснимок

отрицательные экологические последствия и обесценивать значительные инвестиции на мелиоративное строительство (рис. 87).

Для ликвидации водоупорных гипсовых горизонтов может оказаться весьма эффективным глубокое (на 0,8–1,0 м) мелиоративное рыхление. Следует подчеркнуть, что опыт мелиорации сильногипсоносных и гажевых почв суглинисто-глинистого гранулометрического состава с высоким содержанием крупнокристаллического (5 мм) гипса остается весьма ограниченным. В любом случае эти почвы не следует рассматривать как первоочередные объекты орошения. Нередко в хозяйственном и экологическом отношениях (по крайней мере в настоящее время) целесообразно отказаться от их вовлечения в орошаемое земледелие.

8.10.5. УСТОЙЧИВОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР К БОРАТНОМУ ЗАСОЛЕНИЮ

Бор оказывает резкое токсическое влияние на орошаемые культуры при весьма незначительных концентрациях. При орошении для наиболее устойчивых культур неприменимы воды, содержащие бор в концентрациях выше 4 мг/л. Воды с содержанием бора менее 0,3 мг/л пригодны для орошения всех культур. Различные культуры отличаются разной устойчивостью к боратному засолению (табл. 24).

**Устойчивость различных культурных растений к боратному засолению
(Ф.М. Итон, цитировано по Д. Торну и Х. Петерсону, с сокращениями, 1952)**

Высокая чувствительность	Средняя чувствительность	Устойчивые к боратному засолению
Лимон, виноград, апельсин, абрикос, слива, вишня, яблоня, груша, грецкий орех	Перец, помидор, тыква, овес, просо, кукуруза, пшеница, ячмень, свекла сахарная, хлопчатник	Морковь, салат, капуста кочанная, лук, люцерна, свекла кормовая, свекла сахарная, бобы широкие, гладиолусы

8.11. ОЦЕНКА МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ СОЛЕЙ

Характер распределения солей по почвенному профилю дает важную информацию о мелиоративном состоянии территорий и эволюции орошаемых почв. С.А. Владыченский выделяет следующие четыре случая распределения солей.

1. В верхнем горизонте имеется резко выраженный максимум солей, глубже содержание солей невысокое: солончак маломощный, почва находится в первоначальной стадии засоления.

2. Соли в значительном количестве по всему профилю, максимум солей в его верхней части: солончак мощный, почва находится в стадии прогрессивного засоления.

3. Соли в значительном количестве по всему профилю, имеется несколько солевых максимумов: при формировании почв длительные периоды засоления сменялись периодами рассоления.

4. Соли в значительном количестве по всему профилю, максимум солей внизу: почва находится в стадии рассоления.

Важная информация о мелиоративном состоянии орошаемых земель может быть получена на основе анализа соотношений хлоридов и сульфатов в почвах и грунтовых водах. Эти анионы обладают различной миграционной способностью, причем ионы хлора являются более активными мигрантами, чем сульфат-ионы (рис. 88).

Впервые диагностику распознавания естественного или вторичного засоления по соотношению $\text{Cl}:\text{SO}_4$ в грунтовой воде и в верхних горизонтах почв предложил Б.Б. Польшов совместно с С.В. Быстрым. Ими было высказано вполне обоснованное мнение о том, что изучение соотношения $\text{Cl}:\text{SO}_4:\text{HCO}_3$ позволяет выяснить водно-солевой режим почв районов ирригации. При миграции в ландшафте или в почвенном профиле хлориды опережают сульфаты. Поэтому соотношение хлоридов к сульфатам в почве и грунтовых водах может быть использовано для оценки направ-

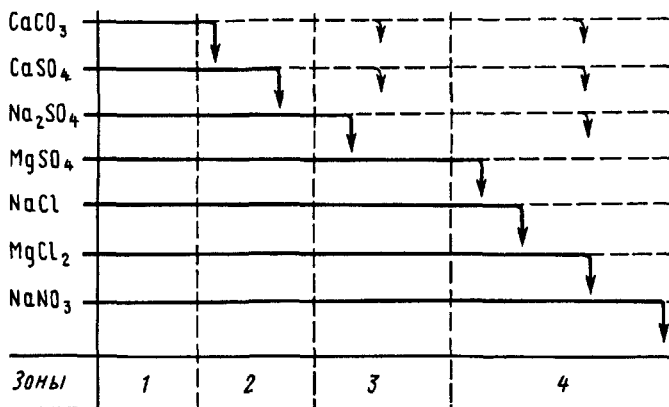


Рис. 88. Последовательность выпадения солей при испарении природных растворов (Л.В. Пустовалов, В.А. Ковда, 1968). Зоны: 1 — пресных вод, без выпадения солей; 2 — жестких вод (в осадок частично переходит углекислый кальций, затем гипс); 3 — горьких вод (в осадке к предыдущим солям присоединяется часть сернокислых солей натрия и магния); 4 — горькосолёных и солёных вод (в осадок начинают выпадать хлористые соли и в последнюю очередь азотнокислые). Стрелками показаны начало и последующий переход солей в осадок

ления процесса засоления. Если отношение хлоридов к сульфатам в поверхностных слоях почвы выше, чем соотношение этих же анионов в грунтовых водах, то почва находится в фазе прогрессирующего засоления. Если же отношение хлоридов к сульфатам в поверхностном слое почвы ниже, чем в грунтовой воде, т.е. происходит накопление сульфатов в почве, это свидетельствует о начавшемся рассолении, остаточном или перемежающемся засолении.

О мелиоративном состоянии орошаемых почв можно судить и на основе прямого исследования их морфологии. Для каштановых почв в условиях естественного водного режима свойственно следующее

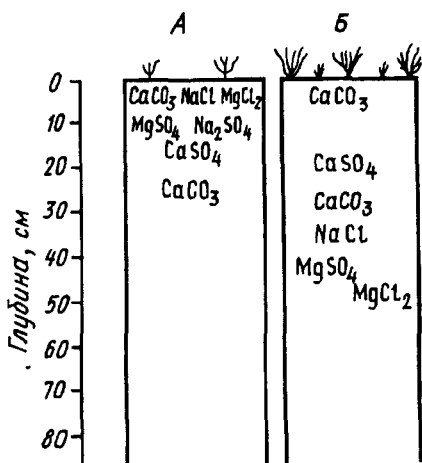


Рис. 89. Солевые профили (расположение солей в вертикальном разрезе почв, В.В. Егоров, 1954):

А — в процессе засоления; Б — в начале рассоления

распределение солевых горизонтов: карбонатный горизонт с белоглазкой, глубже — гипсовый, затем — горизонт легководорастворимых солей. Поэтому если горизонты с более растворимыми солями располагаются над горизонтами с менее растворимыми солями, например, горизонт гипса располагается над горизонтом карбонатов, это свидетельствует о прогрессирующем засолении почвенного покрова (рис. 89).

8.12. МЕЛИОРАЦИЯ СОЛОНЦОВ И СОЛОНЦОВЫХ ПОЧВ

8.12.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

В лесостепной, степной, сухостепной и полупустынной зонах распространены почвы с высоким содержанием поглощенного натрия в поверхностных горизонтах, слабощелочной или щелочной реакцией (рН более 8,4) и элювиально-иллювиальной дифференциацией профиля. Такие почвы называются солонцами, если в их солонцовом (иллювиальном) горизонте В₁ содержание обменного натрия равно или превышает 20% емкости катионного обмена. К солонцовым относят почвы с содержанием поглощенного натрия более 5% от емкости катионного обмена. Солонцы так же, как и солончаки, являются засоленными почвами. Однако в их профиле соли сосредоточены не в поверхностном слое, а на некоторой глубине (рис. 90). Граничные значения (5% натрия от емкости катионного обмена, использованные для отделения солонцеватых почв от несолонцеватых) обусловлены тем, что щелочная реакция почвенных растворов за счет десорбции обменного натрия проявляется при его содержании в почве более 1 ммоль (+) на 100 г почвы. Это составляет 5–6% от емкости катионного обмена (Зимовец, 1991). Такой критический уровень содержания обменного натрия, ниже которого солонцовые горизонты не формируются, находится в соответствии с классификацией солонцеватости почв по содержанию обменного натрия, предложенной И.Н. Антиповым-Каратаевым.

Повышенное содержание поглощенного натрия в солонцах и солонцеватых почвах вызывает угнетение или гибель сельскохозяйственных и лесных культур. Процесс накопления поглощенного натрия в поглощающем комплексе почвы называют процессом осолонцевания. Процесс осолонцевания может протекать двумя путями. Во-первых, в результате интенсивного элювирования засоленных почв и освобождения их поверхностных горизонтов от водорастворимых солей. Этот процесс может происходить при понижении базиса эрозии и уровней грунтовых вод. В этом случае реализуется эволюционная схема К.К. Гедройца, согласно которой в условиях промывного режима имеют место следующие

переходы: солончак — солонец — солодь. Е.Н. Ивановой (1932) было показано, что образование солонцов в этих условиях возможно только в том случае, если в составе водорастворимых солей солончака отношение $\text{Na}/(\text{Ca} + \text{Mg}) > 4$. В солончаках, засоленных нейтральными солями с содержанием кальциевых солей более 20%, солонцовые свойства при рассолении не проявляются.

Наряду с натриевыми солонцами в природных условиях встречаются солонцы с высоким содержанием обменного магния и низким содержанием натрия в поглощающем комплексе. Вероятно, эти солонцы можно рассматривать как реликтовые образования. На ранних стадиях их формирования, как полагают А.Н. Соколовский (1948), В.А. Ковда (1963), А.М. Можейко (1965) и другие, происходила пептизация коллоидов под действием обменного натрия, а затем после рассоления солонцов и выноса натрия магний, как ион более стабильный, чем кальций, относительно накапливался в поглощающем комплексе. В этой связи следует отметить, что при частой смене анаэробных и аэробных условий, режима, в котором формируются солонцы, при периодическом нисходящем токе воды наблюдается резкое (в 1,5–2 раза и более) увеличение содержания магния в составе поглощенных катионов. Такое явление наблюдается на всех суглинистых и глинистых почвообразующих породах

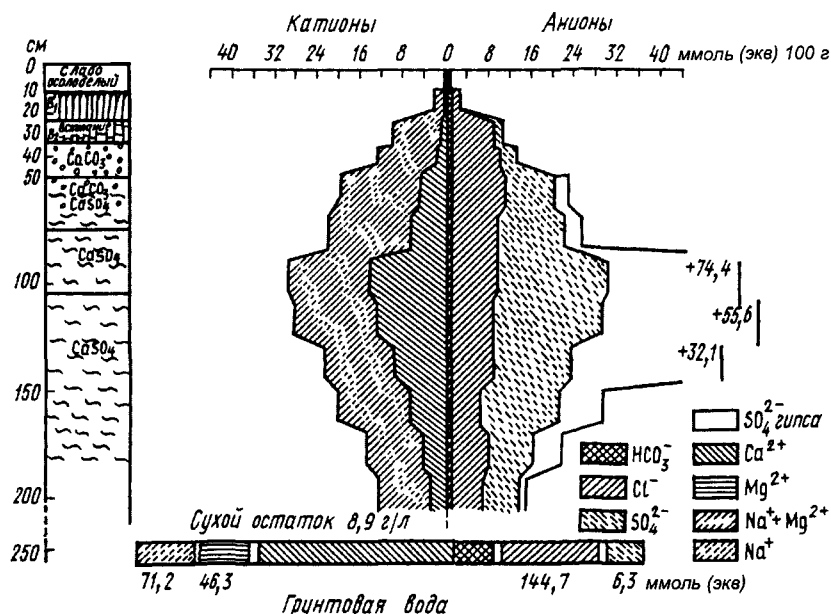


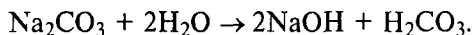
Рис. 90. Солевой профиль лугово-степного среднестолбчатого сульфатно-хлоридного солонца (И.Н. Антипов-Каратаев, 1953). Первая надпойменная терраса р. Малый Узень, Малоузенский стационар. Уровень грунтовых вод — около 7 м

(Зайдельман, 1978). Н.П. Пановым было показано, что магний, как и натрий, хотя и в меньшей мере, увеличивает гидрофильность коллоидов, нарушает связь между элементарными твердыми частицами в микроагрегате.

Интересную точку зрения на генезис малонатриевых солонцов высказал Б.В. Андреев (1956). Он полагал, что их возникновение связано не с поступлением натрия извне, а с его появлением в почве в результате разрушения натрий (магний)содержащих алюмосиликатов и других минералов солевыми растворами. Процесс разрушения минералов под действием солевых растворов называется г а л ь м и р о л и з о м. При взаимодействии солевых растворов с чистыми минералами происходит их глубокая трансформация, а затем при воздействии воды — распад алюмосиликатов и накопление гидрофильных коллоидов главным образом в виде коллоидной кремниевой кислоты. Наличие в солонцах значительных масс гидрофильных коллоидов зависит не только от содержания обменного натрия, но и от химического состава самих минералов.

Солонцы могут возникать минуя солончаковую стадию под влиянием сла б о м и н е р а л и з о в а н н ы х растворов, содержащих соду, например под воздействием слабощелочных грунтовых вод. В процессе взаимодействия слабоминерализованных, преимущественно щелочных, вод с невысоким содержанием соды может происходить постепенное накопление натрия в поглощающем комплексе. В сухостепной и полупустынной зонах не исключена возможность формирования солонцовых почв в результате поступления и аккумуляции поверхностных слабоминерализованных вод в небольшие понижения, местные депрессии.

Повышенное содержание поглощенного натрия в почвенном поглощающем комплексе оказывает отрицательное влияние на растения, на физико-химические, химические и физические свойства почв. Сода, присутствующая в поверхностных горизонтах профиля, соль сильного основания и слабой кислоты, подвергается активному гидролизу:



Поэтому солонцы (и сильносолонцевые почвы) обладают щелочной реакцией среды. Величина общей щелочности HCO_3^- более 0,06% свидетельствует о солонцеватости. В солонцах присутствует более 0,001% нормальных карбонатов натрия, переходящих в водную вытяжку. Общая щелочность сильносолонцеватых почв выше 0,1%. Солонцы и сильносолонцеватые почвы отличаются высокой подвижностью органического вещества и его активной миграцией по профилю. Этот процесс наиболее четко проявляется в солонцах черноземной зоны. Иллювиальные горизонты солонцов имеют гумусовые потеки, обогащенные органическим веществом кутаны на грядках структурных отдельностей.

Внедрение натрия в поглощающий комплекс вызывает резкое ухудшение физических свойств почв. Повышается их набухаемость. В сухой период глинистая масса солонцов сжимается, подвергается консолидации. Сжатие сопровождается разрывами. Возникает сложная сеть крупных трещин. Особенно отчетливо она проявляется в иллювиальной толще солонца, где формируются столбчатые горизонты. Солонцы возникают в условиях периодически промывного водного режима, когда относительно кратковременная стадия обводнения профиля сменяется его иссушением. В период обводнения в анаэробных условиях происходит интенсивная гидратация коллоидов, их набухание. Во влажный период иллювиальные горизонты солонцов часто становятся водоупорными, абсолютно непроницаемыми, а в сухой период поверхностные горизонты могут обладать очень высокой, иногда провальной водопроницаемостью. Этим объясняется глыбистый характер солонцов, их низкое плодородие и сложность окультуривания. В сухом состоянии солонцы обладают рельефной структурой, в периоды же насыщения водой в результате интенсивного расклинивающего действия гидратных оболочек они отличаются низкой водопрочностью агрегатов.

8.12.2. МОРФОЛОГИЯ, ДИАГНОСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ СОЛОНЦОВ И СОЛОНЦЕВАТЫХ ПОЧВ

Солонцы обладают весьма четкой трехчленной морфологией профиля. Их верхнюю часть образуют гумусовый (A1) и осолодевший (A2) горизонты. Среднюю часть профиля образуют столбчатый иллювиальный солонцовый (B1) и подсолонцовый (B2) горизонты (рис. 91). Нижнюю часть профиля формируют переходный горизонт (BC) и материнская порода (C).

По степени проявления признаков гидроморфизма солонцы подразделяют на три типа: автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные (Классификация почв СССР, 1977). Общая схема классификации солонцов в соответствии с принятой классификацией почв приведена в табл. 25.

Наиболее сложными для мелиорации являются гидроморфные солонцы. Они формируются на фоне неглубокого залегания грунтовых вод (менее 3 м) с повышенной минерализацией на первых надпойменных террасах речных долин, на плоских недренированных равнинах. В их профиле неглубоко от поверхности залегают водорастворимые соли, а в поглощающем комплексе содержится до 50–70% натрия. Как правило, эти почвы являются солонцами-солончаками или солончаковатыми и солончаковыми солонцами. Среди луговых солонцов широко представлены роды хлоридно-сульфатные, содово-хлоридные, сульфатные солончаковые и другие солонцы.

Полугидроморфные солонцы распространены на слабодренированных равнинных и на надпойменных речных террасах. Они формируются в ареалах минерализованных грунтовых вод, залегающих на глубине 3–6 м. Горизонт водорастворимых солей находится на глубинах 50–150 см.

Автоморфные солонцы приурочены к хорошо дренированным территориям водоразделов и речных террас. Эти солонцы слабо засолены, а их щелочность менее 0,1% HCO_3^- .

Солевые горизонты залегают глубоко. Профиль солонца каштановой зоны всегда имеет горизонты белоглазки и гипсовых аккумуляций.

Такая дифференциация солонцов на типовом уровне целесообразна не только потому, что она позволяет выделять солонцы по наиболее существенным признакам их формирования и развития, но и потому, что можно четко дифференцировать эти группы почв по конкретным методам и способам их мелиорации.

Так, гидроморфные и полугидроморфные солонцы, содержащие в своем профиле значительную массу солей, мелиорируют на основе промывного режима орошения и дренажа — вертикального и (или) горизонтального. В отличие от них автоморфные солонцы можно успешно мелиорировать в бездренажных условиях.

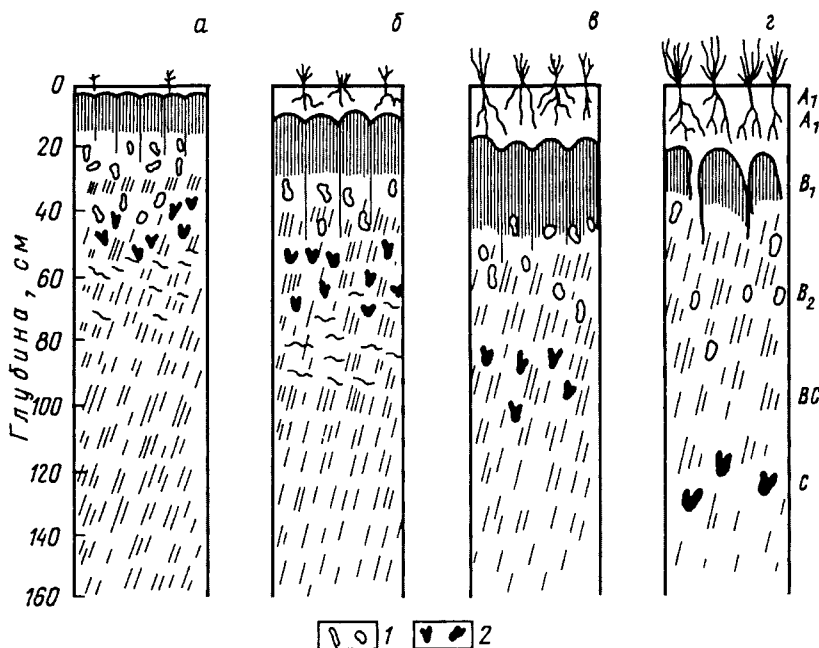


Рис. 91. Строение солонцов (В.В. Егоров, 1954):

а — солонец корковый, б — солонец среднестолбчатый, в — солонец глубоностолбчатый; г — солонец остепняющийся 1 — белоглазка, 2 — гипс

Классификация солонцов (по «Классификации и диагностике почв СССР», 1977)

Тип	Подтип (по зональному признаку)	Род*	Вид*
Автоморфные	черноземные каштановые бурые полупустынные	по химизму, типу засоления: соловые, смешанные (солово-сульфатные, со- во-хлоридно-сульфатные), нейтральные (суль- фатно-хлоридные, хлоридно-сульфатные) по глубине засоления (верхняя граница солевых выделений): солончаковые — легкорастворимые соли на глубине 5–30 см высокосолончаковые — 30–50 см солончаковые — 50–100 см глубокосолончаковые 100–200 см несолончаковые (глубокозасоленные > 200 см)	по мощности надсолонцового горизонта A1: корковые (до 3 см) мелкие (3–10 см) средние (10–18 см) глубокие (> 18 см) по содержанию поглощенного нат- рия в солонцовом горизонте: очень низкое, до 10% (остаточные) малонатриевые — 10–25% средненатриевые — 25–40% многонатриевые — > 40%
Полугидро- морфные	лугово-черноземные лугово-каштановые лугово-бурые полупустынные лугово-мерзлотные	по степени засоления: солонцы-солончаки сильнозасоленные среднезасоленные слабозасоленные незасоленные (встречаются редко)	по степени осолодения: слабосоолоделые осоолоделые сильноосоолоделые
Гидроморфные	черноземно-луговые каштаново-луговые бурые полупустынные луго- вые лугово-болотные лугово-мерзлотные	по глубине залегания карбонатов и гипса: высококарбонатные — выше 40 см глубококарбонатные — глубже 40 см высокогипсовые — выше 40 см глубокогипсовые — глубже 40 см	по структуре солонцового горизонта B1: столбчатые ореховатые призматические глыбистые

* Разделение на роды и виды относится ко всем типам.

Солонцовые почвы и солонцы несут отчетливые признаки зональной приуроченности. В соответствии с классификацией почв выделяют черноземные, каштановые и полупустынные солонцы. Такая дифференциация по генетической принадлежности имеет важное мелиоративное значение. Наименее благоприятны в мелиоративном отношении черноземные солонцы. Они обладают резко выраженной щелочной реакцией, наличием соды, высокой плотностью и другими неблагоприятными свойствами.

Солонцы полупустынной зоны характеризуются прежде всего тем, что в их профиле относительно неглубоко от дневной поверхности залегает гипс. Это важное отличие определяет возможность мобилизации естественных запасов гипса для са м о м е л и о р а ц и и солонцов полупустынной зоны. Их мелиорация облегчается еще и тем, что полупустынные солонцы нередко менее глинисты и содержат меньшее количество органического вещества по сравнению с солонцами черноземной зоны. Важное мелиоративное значение имеют родовые и видовые признаки солонцов. Родовые признаки предполагают дифференциацию солонцов по типу, глубине и степени засоления, а также по глубинам залегания карбонатов и гипса. Видовые признаки позволяют дифференцировать солонцы по мощности надсолонцового горизонта, содержанию поглощенного натрия в солонцовом (иллювиальном) горизонте и структуре горизонта B1 (табл. 25 и рис. 91).

На примере рассмотренной классификации солонцов следует обратить внимание и еще на одно существенное обстоятельство. Рационально построенная классификация не только систематизирует представления о почвах, условиях их формирования и развития (т.е. их генезиса), но и создает основу для выбора адекватных природным условиям мелиоративных мероприятий, направленных на оптимизацию свойств и режимов почв.

Важным фактором, лимитирующим плодородие солонцов, являются их водно-физические свойства. Почвенная масса солонцового горизонта во влажном состоянии отличается тиксотропностью, так как находится в коллоидно-дисперсном состоянии. Это объясняется тем, что при взаимодействии почвы с натриевыми солями (обязательное условие развития солонцового процесса) происходит замещение катионов кальция в коллоидно-полимерном комплексе на натрий. Последнее приводит к возрастанию заряда коллоидных частиц и их электростатическому отталкиванию. Почвенная масса при этом легко пептизируется.

Во влажном состоянии солонцовый горизонт высокопластичный, вязкий и липкий, сильно набухает. Последнее приводит к очень низкой воздухоемкой пористости и пониженному воздухообмену, что вызывает сильное кислородное голодание растений. При высыхании солонцового горизонта имеет место сильное сжа-

тие почвенной массы, развивается трещиноватость и глыбистость почв, особенно заметная на пашне. Сжатие почвенной массы приводит к сильной деформации, а в ряде случаев и к разрыву растений. При высыхании твердость солонцового горизонта возрастает, что способствует увеличению сопротивления почв при обработке.

Во влажном состоянии солонцы отличаются очень низкой водопроницаемостью, она в 10–15 раз меньше, чем у несолонцеватых почв. Водопроницаемость солонцов тем ниже, чем выше доля обменного натрия. Так, скорость фильтрации через солонцовый горизонт на 6-й час измерения в почвах с содержанием обменного Na до 10% колебалась от 0,430 до 0,108 мм/мин, а при увеличении содержания Na сверх 20% фильтрация через солонцовый горизонт полностью прекратилась. Из-за низкой водопроницаемости большая часть выпадающих осадков стекает по поверхности почв. Поэтому общий запас влаги в солонцах всегда ниже, чем у расположенных рядом зональных почв.

Еще одной отрицательной особенностью солонцов является высокое содержание недоступной для растений влаги, оно составляет у солонцов 12–17%, тогда как у черноземов всего 8–12%. Сухая сила корней культурных растений оказывается недостаточной, чтобы усвоить эту влагу. Именно поэтому при одинаковых общих запасах влаги в солонцовых почвах активной влаги всегда меньше, чем в других почвах. В связи с этим в солонцах наблюдается «физиологическая сухость» почвы.

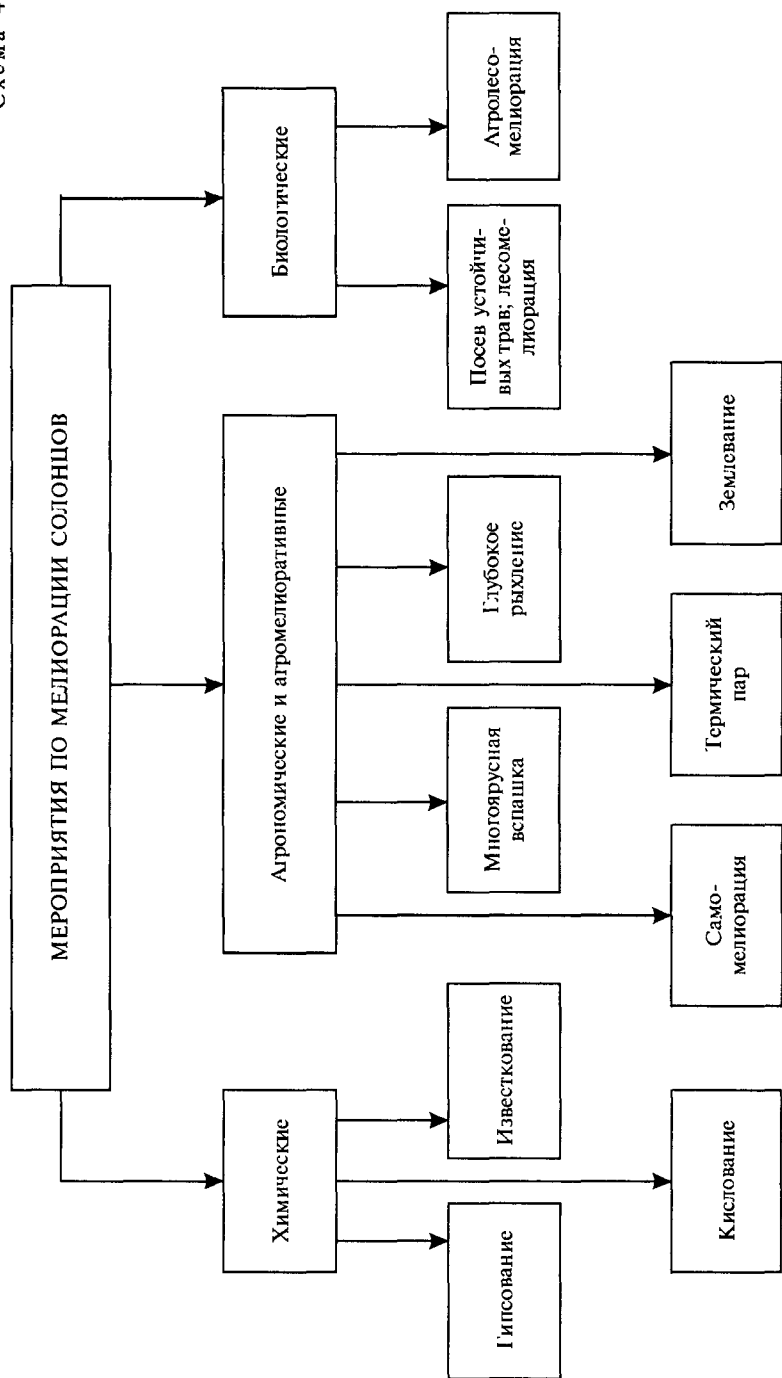
8.12.3. МЕЛИОРАЦИЯ СОЛОНЦОВ

Основная причина низкого плодородия солонцов — повышенное содержание поглощенного натрия в поглощающем комплексе и их неблагоприятные физические, химические и физико-химические свойства. Поэтому мелиорация солонцов должна быть направлена на вытеснение поглощенного натрия кальцием гипса или иного кальцийсодержащего соединения и устранения повышенной щелочности. Для улучшения солонцов в качестве мелиорантов используют гипс, фосфогипс, гипсоносные естественные породы (например, гажу); положительные мелиоративные результаты дает внесение в почву органического вещества, железного купороса, серы и других соединений, способных при биохимическом окислении образовывать серную кислоту (схема 4).

8.12.3.1. ГИПСОВАНИЕ

Применение этого одного из наиболее эффективных способов мелиорации солонцов было начато почти одновременно в разных странах — в Венгрии, России и в США.

К.К. Гедройц теоретически обосновал практику гипсования солонцов и показал необходимость расчета дозы гипса, исходя из содержания поглощенного натрия и емкости поглощения почв.



При расчете доз гипса принимают, что общая щелочность, не превышающая 0,7–0,8 ммоль/100 г, и обменный натрий, содержание которого не превышает 5% от ЕКО, не оказывают отрицательного влияния на свойства почв и развитие растений. Расчет доз гипса основан на эквивалентности обмена натрия на кальций.

Развернутый расчет массы гипса, необходимой для замещения избытка поглощенного натрия на кальций в нейтральной или слабо щелочной почве, может быть выполнен по следующей формуле:

$$M_{\Gamma} = \frac{(Na - 0,05EKO) \cdot h \cdot 10^8 \cdot \rho_b \cdot 0,086}{100 \cdot 10^6},$$

где M_{Γ} — мелиоративная норма гипса (т/га $CaSO_4 \cdot 2H_2O$); Na — содержание обменного Na, ммоль(+)/100 г почвы; 0,05ЕКО — количество натрия Na, которое составляет 5% от ЕКО мелиорируемой почвы, ммоль(+)/100 г почвы; h — мощность мелиорируемого слоя, см; 10^8 — площадь гектара, см²; ρ_b — плотность почвы, г/см³; 0,086 — молярная масса эквивалента гипса ($1/2 CaSO_4 \cdot H_2O$), г/ммоль.

При мелиорации щелочных почв учитывают ту часть общей щелочности, которую нужно «нейтрализовать» гипсом. В этом случае расчет дозы гипса ($M_{\Gamma,щ}$) осуществляется по формуле:

$$M_{\Gamma,щ} = \frac{[(Na - 0,05EKO) + (Ш_{общ} - 0,7)] \cdot h \cdot 10^8 \cdot \rho_b \cdot 0,086}{100 \cdot 10^6},$$

И.Н. Антиповым-Каратаевым (1996) был предложен аналитический метод определения доз гипса, необходимых для мелиорации солонцов. Он основан на том, что по мере увеличения концентрации Са и замещения Na происходит уменьшение дисперсности почвенной массы. Поэтому суспензии одинаковых образцов почвы обрабатывают возрастающими дозами гипса и определяют выход фракции менее 2 микрон. По результатам строят график выхода частиц менее 2 микрон. Точка перелома кривой соответствует количеству гипса, равному 85–90% эквивалентов от содержания обменного натрия в исходной почве. Затем производят расчет дозы гипса, необходимой для мелиорации солонца.

Дозы гипса могут варьировать в широком диапазоне — от 3–5 до 70 т/га. Гипс вносят по пятнам солонцов, расположенных среди незасоленных и несолонцеватых почв. Однако, если пятна солонцов занимают более 30% площади массива, предусматривается сплошное внесение гипса. Мелиорация солонцов методом гипсования наиболее эффективна при внесении крупных норм органических удобрений и орошении.

В условиях орошения мелиоративный эффект может быть достигнут за сравнительно короткий период — 2–3 года.

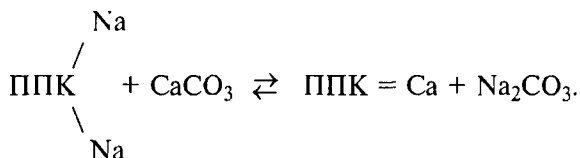
При гипсовании орошаемых земель на глубокостолбчатых солонцах гипс вносят под плуг. На среднестолбчатых — 1/4–1/2 дозы гипса вносят под плуг и 3/4–1/2 дозы поверхностно после вспашки с последующим перемешиванием при культивации.

На корковых солонцах весь гипс разбрасывают по поверхности с последующим перемешиванием его с пахотным слоем боронованием. После внесения гипса производят влагозарядковый полив. Специальные промывочные поливы не делают, а удаление сульфата натрия осуществляют в процессе вегетационных поливов.

Эффективность гипсования резко возрастает на фоне уменьшения толщины помолы гипса. Чем тоньше помол, тем больший контакт между частицами гипса и почвой, тем выше его растворимость и мелиоративное действие. Гипсование оказывает положительное действие на свойства солонцов, уменьшая содержание поглощенного натрия, увеличивая их водопроницаемость, улучшая структурный состав и в целом плодородие.

8.12.3.2. ИЗВЕСТКОВАНИЕ. УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ПОЧВ МОЧАРНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Применение извести для мелиорации солонцов (особенно содовых) не получило широкого распространения, поскольку это мероприятие приводит к появлению соды:



В результате известкования происходит значительное подщелачивание почвы. Известь — слабо растворимое соединение, поэтому реакция взаимодействия почвы с мелиорантом развивается замедленно. Известкование может оказаться наиболее полезным преимущественно на малонатриевых солонцах и особенно на солонцеватых почвах в сочетании с внесением значительных доз органических удобрений, повышающих концентрацию углекислоты в почвенном растворе и в воздухе и увеличивающих растворимость углекислого кальция.

Отметим и еще один случай применения известкования. Он эффективен, в частности, для улучшения мочарных почв с высоким содержанием поглощенного натрия и хорошо выраженными признаками слитости (Зайдельман, Тюльпанов, Ангелов, Давыдов, 1998). Такие почвы широко представлены на юге России. В Ставрополье, Ростовской и других областях они распространены там, где имеет место переувлажнение почв минерализованными водами, связанными с засоленными породами (например, с майкоп-

скими глинами). После понижения уровня грунтовых вод эти почвы мочарных ландшафтов* продолжают сохранять свои неблагоприятные физические свойства, в частности, высокую плотность сложения, крупную глыбистость (рис. 1.52–1.54). Для их улучшения по предложению Ставропольского сельскохозяйственного института и ТСХА проводят поверхностное известкование почв с использованием местных известковых материалов (например, ракушечника) нормами 10–20 т/га. Поле обрабатывают дисковой бороной, в пахотный горизонт вносят смесь азотной (3–3,5 т) и фосфорной (0,5 т) кислот из расчета на один гектар.

8.12.3.3. КИСЛОВАНИЕ

Кислование как способ мелиорации почв содового засоления рассмотрен выше (см. раздел 8.10.1). Эта технология, весьма эффективная при мелиорации солончаков содового засоления, может быть использована и для мелиорации солонцов. Она особенно результативна при мелиорации содовых солонцов. В равной мере с целью мелиорации используют железный купорос, серу и другие серосодержащие соединения, которые при окислении образуют серную кислоту. Важным условием эффективного кислования солонцов является наличие в их профиле достаточных резервов углекислого кальция.

Способ кислования применяют только на орошаемых массивах. Кислование как способ мелиорации солонцов является более эффективным, чем гипсование и известкование.

8.12.3.4. ЗЕМЛЕВАНИЕ

Землевание как способ мелиорации заключается в искусственном создании мощного плодородного пахотного горизонта на поверхности солонца или сильносолонцовой почвы. С этой целью скреперами срезают тонкий (1–2 см) слой поверхностного горизонта окружающей солонец плодородной несолонцовой почвы, который и будет пахотным горизонтом нового профиля. Этот прием наиболее эффективен для мелиорации солонцов черноземной зоны, поскольку срезка поверхностных слоев при тщательном выполнении этого приема не вызывает заметного изменения плодородия черноземов.

Срезанный мелкозем гумусового горизонта в буртах складывают на поверхности мелиорируемых солонцовых участков, а затем разравнивают грейдерами по полю. Н.В. Орловский, впервые предложивший этот прием мелиорации солонцов в черноземной зоне

* Мочарный ландшафт — депрессии в степной зоне с близким от дневной поверхности залеганием грунтовых, часто минерализованных вод. Различают первичные и вторичные мочарные ландшафты

Западной Сибири, считал достаточным нанесение слоя мощностью 6–9 см в несколько приемов. И.Н. Антипов-Каратаев в Поволжье на более мощных черноземах показал возможность землевания в один проход с нанесением на поверхность солонца мощного пахотного слоя (до 15–20 см). Землевание эффективно в первый год выполнения этих работ. Оно оказалось целесообразным на степных солонцах черноземной зоны, но непригодно для луговых солонцов и малоэффективно при мелиорации солонцов сухостепной зоны в связи с небольшой мощностью гумусового горизонта каштановых почв. Землевание должно сочетаться с интенсивной системой мероприятий по восстановлению плодородия почв на срезанных участках поверхности. Большое значение приобретает внесение удобрений, особенно органических, посев сидератов и другие мероприятия.

8.12.3.5. ТЕРМИЧЕСКИЙ ПАР

Термический пар применяют для улучшения свойств солонцеватых почв и солонцов сухостепной и полупустынной зон. Его действие основано на улучшении физических свойств солонцового горизонта под действием солнечной радиации. Способ заключается в том, что при вспашке солонцовый горизонт выворачивают на поверхность, где он подвергается действию климатических факторов. В сухостепной и полупустынной зонах под действием высоких температур в континентальных условиях происходит дегидратация и коагуляция почвенных коллоидов. При этом улучшаются физические свойства солонцового горизонта. Термический пар применим только при малом количестве осадков, высоких и резко колеблющихся температурах. Способ непригоден для мелиорации всех луговых солонцов, а также для мелиорации автоморфных солонцов черноземной зоны.

8.12.3.6. ГЛУБОКОЕ МЕЛИОРАТИВНОЕ РЫХЛЕНИЕ

Глубокое мелиоративное рыхление позволяет существенно улучшить эффект гипсования. Сущность этого приема заключается в том, что солонцы и солонцеватые почвы после внесения гипса подвергают глубокому мелиоративному безотвальному рыхлению. При этом происходит механическое разрушение плотного солонцового горизонта, более полное взаимодействие мелиоранта (гипса) с минеральной массой почвы, изменение неблагоприятных свойств почв в более мощной толще, уменьшение емкости катионного обмена, снижение содержания поглощенного натрия. Глубокое мелиоративное рыхление способствует накоплению влаги и более активному промыванию профиля солонца. Применение глубокого рыхления наиболее целесообразно на орошаемых почвах на фоне дренажа.



← 1.1

Река Варзоб, верхнее течение.
Таджикистан



1.2

Галечниково-валунные отложения в
дельте р. Варзоб



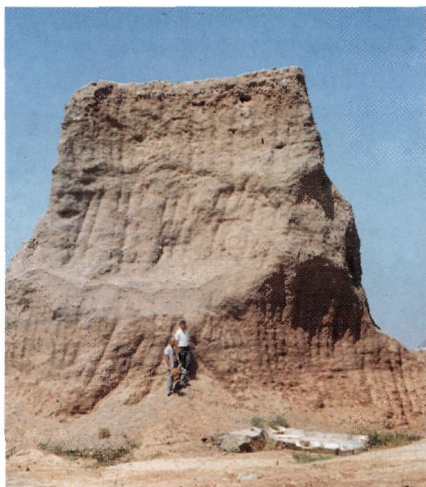
1.3

Толща песчано-валунно-
галечникового аллювия второй
террасы р. Амударья. Ферганская
долина. Таджикистан



1.4

Дно оросительного канала,
проложенного в толще песчано-
валунно-галечникового
аллювия. Ферганская долина.
Таджикистан



← 1.5

Толща каменистых пролювиальных отложений. Останец в карьере на орошаемом массиве Ашт. Таджикистан



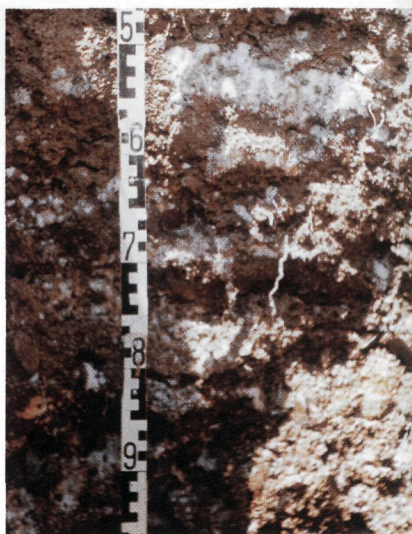
1.6

Закладка сада на орошаемом массиве Ашт, расположенном на пролювиальных каменистых отложениях



1.7

Плодоносящий сад на орошаемом массиве Ашт. Сероземы, образованные на каменистом пролювии



1.8

Аккумуляция гипса в толще каменистого пролювия на орошаемом массиве Ашт. Опасность для развития корней садовых деревьев



1.9

Селевые крупнокаменистые отложения
на второй террасе р. Вахш



1.10

Каменистый элювий на орошаемых
почвах Армянского нагорья

1.11

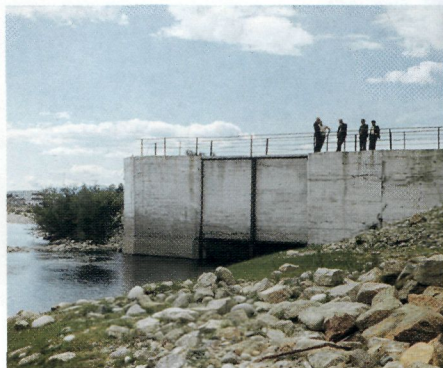
Вертикальная стенка толщи лёссовых
отложений. В основании — галечниковый
аллювий. Северный Таджикистан





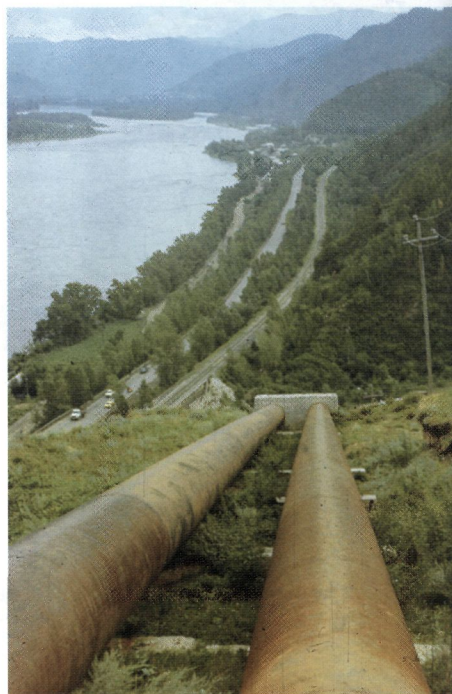
1.12

Адыры-лёссовые отложения на южных склонах Гиссарского хребта.
Таджикистан



1.13

Водозаборное сооружение на р. Инна.
Бурятия



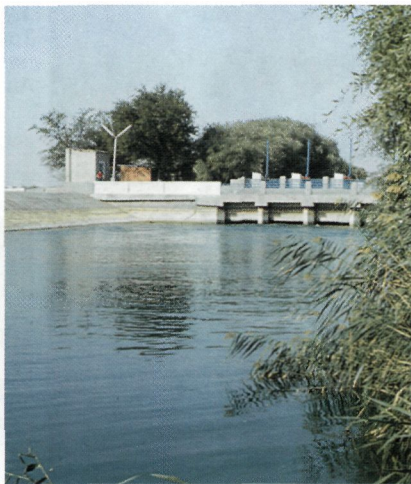
1.14

Водозаборное насосное сооружение в закрытом трубопроводе. Верхний бьеф Саяно-Шушенской ГЭС. Койбальская оросительная система. Хакасия



1.15

Водозаборное насосное сооружение
в закрытом трубопроводе. Забор
воды из р. Енисей. Западная Тува



1.16

Магистральный канал Южной
Голодностепской оросительной
системы. Узбекистан



1.17

Водовыпуск и подпорное сооружение
на канале распределительной сети
Право-Егорлыкской оросительной
системы. Канал в бетонной одежде.
Ставропольский край



1.18

Быстроток на Аштской
оросительной системе.
Таджикистан



1.19

Транспорт воды по оросительному каналу из параболических железобетонных лотков. Алазанская долина. Грузия



1.20

Водовыпуск из железобетонного параболического оросительного канала



1.21

Дюкер. Обход воды под препятствием. Джезакская степь. Узбекистан

1.22

Строительство глубокого горизонтального пластмассового дренажа для рассоления засоленных почв Джезакской степи. Узбекистан





1.23
Формирование песчаного траншейного
фильтра для усиления приточности воды к
пластмассовой дрене. Джезакская степь.
Узбекистан



1.26
Поверхностное орошение
хлопчатника по бороздам.
Каферниганская оросительная
система. Таджикистан



1.24
Планировка поверхности орошаемого
массива длиннобазовым планировщиком



1.25
Устройство временного оросителя
треугольным канавокапателем.
Право-Егорлыкская оросительная
система. Ставропольский край



1.27

Кукуруза на силос на орошаемых сероземах. Полив по бороздам. Каферниганская оросительная система. Таджикистан



1.28

Полив по чекам. Орошение риса. Северный Вьетнам



1.29

Дозревание зерна риса после сброса воды из чека. Северный Вьетнам



1.30

Полив кукурузы агрегатом ДДН, смонтированным на тракторе. Курская обл.



1.31
Полив люцерны
дождевальной
машиной «Фрегат»,
подключенной к
гидранту. Бурятия



1.32
Орошение люцерны
дождевальной
машиной «Волжанка».
Голодная степь.
Узбекистан



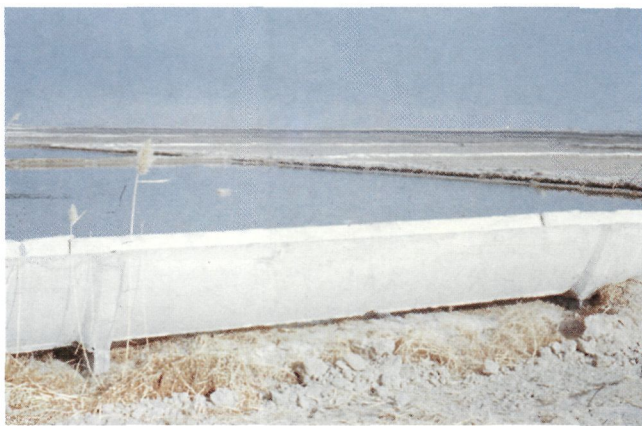
1.33
Дождевальный агрегат «Кубань».
Ставропольский край



1.34
Орошение гречихи
дождевальным
агрегатом «Кубань»



1.35
Промывка засоленных
почв на орошаемом
массиве Голодной
степи. Узбекистан



1.36 Транспорт воды для промывки засоленных почв по
каналам из железобетонных лотков. Голодная степь.
Узбекистан

1.37
Профиль богарного серозема
Джезакской степи. Узбекистан



1.38
Хлопчатник на
орошаемых сероземах
Джезакской степи.
В центре — профессор
Е.И. Панкова, один из
авторов классификации и
ряда карт засоленных
почв



1.39
Профиль орошаемого
незасоленного серозема.
Джезакская степь.
Узбекистан



1.40

Начальная фаза
засоления орошаемых
сероземов —
мелкопятнистое
засоление



1.41

Крупнопятнистое засоление
орошаемого серозема



1.42

Сплошное засоление орошаемого серозема.
Джезакская степь. Узбекистан



1.43

Доломитизация орошаемых сероземов жесткими грунтовыми водами. Накопление карбонатов кальция и магния в верхних горизонтах орошаемых почв. Голодная степь, Узбекистан



1.44

Заполнение чека 1%-й серной кислотой для промывки почв содового засоления



1.45

Почвы сульфатно-содового засоления в долине р. Аракс. В центре — профессор Г.П. Петросян, внедривший в практику орошаемого земледелия способ мелиорации почв содового засоления путем их промывки 1%-м раствором серной кислоты



1.46
Сад на мелиорированном
содовом солончаке.
Долина р. Аракс. Армения



1.47
Мангровые кустарники в
дельте р. Меконг. Зона
формирования почв
сульфидного засоления.
Южный Вьетнам

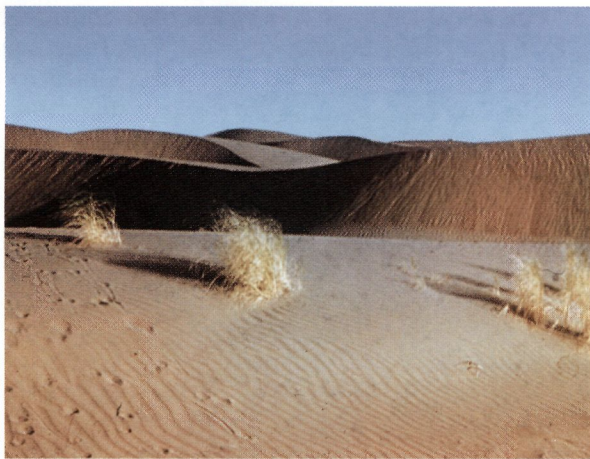


1.48
Профиль почвы сульфидного
засоления. Золотистая кайма —
скопление ярозита. Черноокрашенный
горизонт внизу — зона аккумуляции
сульфида железа. Южный Вьетнам



1.49

Поверхности неосушенных сульфидных почв — зона ретроградации фосфатов. Красноватый оттенок — выход на поверхность гидроксидов железа, возникающих в процессе окисления сульфидов этого элемента. Дельта р. Меконг. Южный Вьетнам



1.50

Подвижные барханы пустыни Каракум



1.51

Фитомелиорация подвижных песков пустыни Каракум. Закрепление песков посадками черного саксаула

1.52.
Вторичное засоление
обыкновенных черноземов
в условиях мочарного
ландшафта.
Ставропольский край



1.53
Угнетенное состояние
посевов кукурузы из-за
переувлажнения
обыкновенного чернозема
в условиях мочарного
ландшафта.
Ставропольский край

1.54
Открытый дренаж
засоленных черноземов
мочарного ландшафта.
Ставропольский край



8.12.3.7. САМОМЕЛИОРАЦИЯ СОЛОНЦОВ (плантажная вспашка)

Применение способа самомелиорации солонцов основано на том, что в зоне сухих степей и полупустынной зоне в этих почвах близко от дневной поверхности залегают гипсовый и карбонатный горизонты. С помощью плантажной вспашки на глубину 50–55 см гипсовый горизонт, залегающий в этих почвах на глубине 35–50 см, перемешивают с солонцовым. Таким образом, осуществляется гипсование солонца за счет естественных ресурсов гипса, сосредоточенных в его профиле. Впервые этот весьма эффективный прием мелiorации солонцов сухих степей и полупустынь был предложен В.А. Ковдой и А.Ф. Большаковым для мелiorации солонцов Прикаспийской низменности. После плантажной вспашки производят обработку почв тяжелыми дисковыми боронами для разрушения глыб, а также выполняют мероприятия по накоплению влаги в почве путем устройства продуваемых полос, посева высокостебельных культур для создания кулис. Мелиорация солонцов при плантажной вспашке происходит через 4–5 лет.

8.12.3.8. МНОГОЯРУСНАЯ ВСПАШКА

При мелiorации солонцов способом многоярусной вспашки, предложенным И.Н. Антиповым-Каратаевым, с помощью плугов специальной конструкции меняют местами солонцовый и гипсовый (карбонатный) горизонты. Гипсовый горизонт поднимают к поверхности, солонцовый с неблагоприятными свойствами опускают вниз. Гумусовый горизонт при обработке почв трехъярусным плугом подвергают рыхлению, его оборачивают, и он остается на поверхности. Сочетание такой обработки с комплексом мероприятий по повышению плодородия почв позволяет придать солонцам, обработанным многоярусной вспашкой, благоприятные свойства для ведения сельскохозяйственного производства.

8.12.3.9. БИОЛОГИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ. КОМПЛЕКСНАЯ АГРОФИТОМЕЛИОРАЦИЯ СОЛОНЦОВ

Посадка и посев растений на солонцах и солонцеватых почвах, устойчивых к неблагоприятным условиям, способствуют улучшению их свойств. Такими растениями в зоне каштановых почв являются тамариск, лох, скумпия, акация желтая, клены татарский и ясенелистный. Своей корневой системой они благоприятно влияют на физические и химические свойства почв. Дополнительная аккумуляция снега не только улучшает их водный режим, но и способствует промывке солей. На улучшенных таким образом почвах солонцового комплекса затем удаляют мелiorирующие посадки многолетних пород, а территорию используют для сельскохозяйственных культур или основных древесных посадок. Вместе с тем в

определенных условиях после сведения кустарников и деревьев-мелиорантов возможно восстановление исходных неблагоприятных свойств почв. В этой связи важное значение имеют исследования по агрофитомелиорации в полупустынной зоне в районе г. Джанибек, выполненные под руководством А.А. Роде на почвах солонцового комплекса (солонцы — светло-бурые почвы полупустынь — темноцветные почвы палин).

Почвы темноцветных палин в естественном немелиорированном состоянии обладают благоприятными лесорастительными свойствами. Их профиль отмыт от легководорастворимых солей; в поглощающем комплексе содержание поглощенного Na не более 3–5% от емкости поглощения; на глубине 5–6 м залегают пресные неминерализованные воды. На таких почвах хорошо произрастают ценные древесные породы, однако их площадь невелика. Каштановые солонцеватые почвы и солонцы необходимо мелиорировать, прежде чем начинать посадку лесных полос.

Мелиорация почв солонцового комплекса оказалась возможной в результате выполнения следующих агро- и фитомелиоративных мероприятий.

В первый год освоения целинной территории производят весеннюю вспашку на глубину 20–25 см (термический пар) с последующей осенней плантажной вспашкой на глубину 45–50 см для перемешивания солонцового и гипсового горизонтов (самомелиорация). Далее выполняют снегозадержание с целью промывки и влагозарядки. На второй год освоения осуществляют весеннюю культивацию, а также кулисный пар из высокостебельных культур (сорго, подсолнечника), осеннюю перепашку межкулисного пространства на глубину 30 см; на третий год — весеннюю культивацию с боронованием, посадку древесно-кустарниковых кулис (полос) из засухо- и солеустойчивых культур.

Созданные древесно-кустарниковые полосы рассчитывают таким образом, чтоб они могли не только устойчиво развиваться сами, но и обеспечивать межкулисные пространства некоторым дополнительным объемом влаги за счет перераспределения снега. В обычных условиях снег сносится с полей в овраги и безвозвратно теряется, усиливая эрозию. Успех выращивания снегонакопительных кулис на почвах солонцового комплекса в полупустынной зоне во многом определяется целесообразным подбором древесных и кустарниковых соле- и солонцеустойчивых пород.

Исследования А.А. Роде и его сотрудников показали, что такими породами являются из древесных — вяз мелколистный, а из кустарников — смородина золотистая, жимолость татарская, лох узколистный. В богарных условиях эти мероприятия в жестких климатических условиях полупустыни позволяют вести устойчивое земледелие со стабильными урожаями пшеницы (12–16 ц/га), ячменя (10–12), горчицы (3,5–4,0 ц/га) и др.

Однако неперенным условием эффективного функционирования такой системы комплексной агрофитомелиорации солонцов является освоение не более 1/4 территории. При дальнейшем расширении площади начинает проявляться дефицит твердых осадков, обеспечивающих влагозарядку мелиорируемого массива, поэтому в полупустынной зоне может быть освоено в такой системе агрофитомелиорации не более 20–25% площади.

8.12.3.10. ЭЛЕКТРОМЕЛИОРАЦИЯ

Электромелиорация как способ устранения засоленности и солонцеватости, улучшения структуры была апробирована рядом исследователей и показала хорошие результаты на почвах разного генезиса в разных природных зонах. Несмотря на то что способ электромелиорации почв в настоящее время следует рассматривать как поисковый, тем не менее различными исследователями получены весьма обнадеживающие результаты, подтверждающие целесообразность его применения для мелиорации засоленных почв (солончаков и солонцов).

Сущность метода электромелиорации засоленных почв заключается в следующем. При наложении постоянного электрического тока в почве возникают и усиливаются явления электроосмоса и электролиза, увеличивается растворимость солей, усиливается и упорядочивается миграция ионов к электродам соответственно их зарядам, ускоряется процесс рассоления межэлектродного пространства (Вадюнина, 1979). Установлено, что абсолютный вынос солей водой при промывке на фоне поля, наложенного постоянным электротоком, увеличивается в среднем на 35–50% по сравнению с обычной промывкой. Ток не влияет на вынос наиболее активного мигранта — хлора, но вызывает резкое увеличение подвижности наименее растворимых бикарбонатов и особенно карбонатов, поэтому прием электромелиорации может оказаться весьма эффективным при промывке почв содового засоления и содовых солончаков. При этом можно ожидать сокращения сроков рассоления и уменьшения норм воды для промывки. Под влиянием тока происходит интенсивное рассолонцевание почв. Ток усиливает выход из поглощающего комплекса ионов натрия и его замещение ионами щелочноземельных металлов (кальция и магния). Установлено изменение ряда физических свойств почв в условиях поля, образованного постоянным током. Так, электромелиорация сопровождается увеличением водопроницаемости почв. Это обусловлено агрегацией массы мелкозема, известным улучшением пористости и плотности.

Способ электромелиорации засоленных почв пока не получил производственного применения. Однако приведенные данные, несомненно, интересны в прикладном отношении.

8.13. МЕЛИОРАЦИЯ ТАКЫРОВ

8.13.1. ГЕНЕЗИС, СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ ТАКЫРОВ

В пустынной зоне Центральной Азии преимущественно на глинистых древнеаллювиальных и староирригационных наносах, на пролювиальных и делювиальных отложениях получили широкое распространение такыры и такыровидные почвы. Такыры — это корковые солонцы-солончаки пустынной зоны. Они приурочены к глинистым плоским понижениям дельт Сырдарьи, Амударьи, Мургаба, Теджена, Атрека, к древним долинам стока других рек. Такыры расположены также среди останцовых возвышенностей пустынь Кызылкумы и Каракумы, на плато Устюрт, Бетпак-Дала, на подгорных равнинах Копетдага, Малых и Больших Балханов и в других регионах. Они повсеместно представлены на равнинных слабобрасчлененных элементах рельефа. Такыры испытывают систематическое переувлажнение во время и после прохождения паводка и затем — глубокое иссушение. Почвообразующие породы такыров отличаются высокой карбонатностью и засолением. Их поверхность имеет характерный полигональный рисунок. Верхний горизонт образует плотная корка мощностью 2–3 см. Ниже залегают слоеватый пористый и комковатый горизонты (4–6 см). Корка такыров отмыта от солей и обычно насыщена натрием. Соли в обыкновенных такырах встречаются на глубине 20–30 см и ниже. Наиболее распространены такыры типичные. Они представлены родами — обычные, солончаковые, солонцеватые, слитые (хаковые), опесчаненные и старозалежные. В солончаковых такырах соли находятся на поверхности. Солонцовые такыры промыты от солей и отличаются высокой щелочностью.

Слитые такыры (хаковые) формируются в условиях длительного застоя воды, имеют глубокотрещиноватую плотную куполовидную корку. Опесчаненные такыры отличаются наличием на их поверхности песка, а старозалежные такыры приурочены к оставленным ирригационным системам.

Такыры бедны гумусом (0,3–0,8% фульватного гумуса), обладают щелочной реакцией водной вытяжки (рН 8–10). Все они карбонатны, сильно засолены, максимум солей сосредоточено в подкорковом горизонте. Обычно такыры характеризуются сульфатно-хлоридно-натриевым засолением.

Как и солонцы, такыры отличаются неблагоприятными физическими свойствами — плотным сложением, низкой фильтрацией, малой порозностью. Они обладают низким плодородием, их мелиорация и освоение сопряжены с необходимостью проведения сложных и дорогостоящих работ. Все это позволяет признать, что такыры не являются первоочередным и перспективным объектом орошения.

8.13.2. ОСОБЕННОСТИ МЕЛИОРАЦИИ ТАКЫРОВ

Такыры могут быть использованы в земледелии только в условиях орошения. После создания оросительной и дренажной сетей необходимо выполнить следующий комплекс гидротехнических, агромелиоративных и агрономических работ по их освоению. Они направлены на решение двух задач. Во-первых, на устранение опасной солонцеватости. Для этого такыры подвергают глубокой плантажной пахоте, т.е. производят самомелиорацию почв. При такой обработке в поверхностные слои такыров вовлекается гипс из нижележащей толщи и происходит одновременное «растворение» солонцовых горизонтов в мощной толще вновь образованного пахотного горизонта. Во-вторых, в осенне-зимний период выполняют промывку почв от легководорастворимых солей. Особенно важны мероприятия по повышению плодородия почв. В пахотный горизонт такыров вносят органические удобрения (навоз, компосты), азотные и фосфорокислые минеральные удобрения. После этого возделывают 2–3 года люцерну, джугару, просо и затем приступают к производству хлопчатника.

Для улучшения физических свойств почв в поверхностный горизонт полезно вносить песок. Все эти мероприятия выполняют на фоне функционирования ирригационно-дренажной сети. Таким образом могут быть освоены обычные, солончаковые, солонцеватые, опесчаненные и старозалежные такыры. Однако хаковые (или слитые) такыры трудно поддаются окультуриванию в условиях орошаемого земледелия и их целесообразнее использовать как естественные водосборные площади.

8.14. ПЕРЕЛОГОВАЯ СИСТЕМА ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В БЕССТОЧНЫХ РАЙОНАХ НА ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВАХ

Страны СНГ располагают огромными запасами пресных неминерализованных поверхностных и грунтовых вод. До недавнего времени реки в районах традиционного орошения (Сырдарья, Амударья, Зеравшан, Волга, Кура и др.) имели воду с низкой концентрацией солей (менее 0,2–0,3 г/л) и благоприятным солевым составом. Однако в последнее время во всем мире происходит повышение минерализации речных вод, используемых на орошение. Одновременно наблюдается изменение их солевого состава, повышение содержания натрия, увеличение концентраций сульфатов, хлоридов, рост щелочности. Общая минерализация речных вод возросла до 0,6–1,0 г/л и выше. В отдельных бассейнах ожидается дальнейшее увеличение минерализации речных вод.

Причины этого явления связаны с общей зарегулированностью стока и возрастанием роли испарения, поступлением в долины рек сбросных и дренажных минерализованных вод, сбросом городских и промышленных стоков. Весьма существенное влияние на минерализацию оросительных вод оказывает приток в реки солей с вновь орошаемых массивов.

Реакция на минерализованные воды растений и почв разная. Растения могут развиваться при относительно высоких концентрациях солей в оросительных водах. Однако такие концентрации солей оказывают отрицательное влияние на свойства супесчаных, суглинистых и глинистых почв. Орошение минерализованными водами возможно только на легких песчаных почвах с обеспеченными зимними промывками атмосферными осадками на фоне дренажа. Такие условия чаще всего имеют место в странах субтропического климата.

При проектировании ирригационных систем особое внимание следует уделять мероприятиям, направленным на резкое сокращение общего объема стока минерализованных дренажных вод. Чем меньше солей сбрасывает в водоприемник оросительная система, тем экологичнее земледелие. Однако на разных участках бассейна одной и той же реки всегда существуют весьма неоднородные условия функционирования оросительных систем.

Эти различия обусловлены главным образом степенью дренированности территории, гидрохимией поверхностных и грунтовых вод, характером почвенного покрова. Так, в сухостепной, полупустынной и пустынной зонах в верхних и, реже, в средних частях речных долин преобладает благоприятный естественный дренаж. В низовья, однако, на бессточные массивы с водосбора поступают значительные объемы минерализованных вод. Они сильно засолены и залегают неглубоко от дневной поверхности.

Такие условия, например, имеют место в Приаралье, в дельтах Сырдарьи и Амударьи. Усиление промывного эффекта при поливах засоленных почв происходит здесь за счет увеличения поливных норм, однако при этом интенсификация дренажа в конечном итоге малоэффективна. Поиск выхода из этой, казалось бы, тупиковой ситуации заставляет вернуться к древнейшему народному опыту использования засоленных почв бессточных территорий низовий речных долин. Издавна местное население здесь применяло перелоговую систему орошаемого земледелия. Ее принципиальная особенность заключалась в том, что заведомо большая часть периферии орошаемого массива оставлялась в перелог, не использовалась и служила для аккумуляции солевых масс, отесняемых при поливах с бездренажного орошаемого участка.

Такой несложный, но в конечном итоге эффективный прием освобождения части площади от избытка солей позволял вести сбалансированное орошаемое земледелие в нижних частях речных до-

лин без применения дренажа (или используя весьма ограниченный дренаж) и механического водоподъема, рассоляя почвы путем горизонтального вытеснения солей пресными поливными водами на периферию массива.

В определенных условиях такая система использования засоленных почв нередко целесообразна не только в экологическом, но и в экономическом отношении. В частности, она может оказаться весьма уместной в ряде случаев на орошаемых массивах низовий речных долин в условиях бессточных равнин или депрессий.

8.15. ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОРОШЕНИЯ И ПОЧВООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Орошение создает принципиально новый водный режим почв. Поэтому оно существенно меняет направленность почвообразования, эволюцию почв в условиях интенсивного антропогенного воздействия, их свойства, режим и плодородие. Орошение нередко создает новый тип почв и приводит не только к формированию новых почв, но и определяет вторичное изменение свойств почвообразующих пород и грунтовых вод. Таким образом, орошение оказывает глубокое влияние на ландшафт в целом.

В районах традиционного орошения на территории Центральной Азии воды крупнейших рек этого региона (Сырдарья, Амударья и др.) несут значительный объем твердого стока. Плотность суспензии в них до недавнего времени составляла 4–10 кг/м³. Это значит, что при поливе напуском по полосам при поливной норме 1000 м³/га на каждом гектаре откладывалось только за один полив от 4 до 10 т минеральной взвеси. Эта взвесь и являлась материнской почвообразующей породой на орошаемых полях в условиях ирригационного агроландшафта. Такое количество взвеси достаточно для того, чтобы образовывать ежегодно на поверхности орошаемого поля слои ирригационного нашла мощностью 2–6 мм. Поскольку орошение в районах древнего земледелия в оазисах Центральной Азии насчитывает не менее 1,5–2 тыс. лет, за этот период возникли совершенно новые «рукотворные» почвы, мощность которых в настоящее время достигает 2–3 м и более (Минашина, 1974). Такие почвы представляют бесконечную свиту отдельных маломощных погребенных горизонтов, некогда формировавших поверхностный пахотный слой. Это подтверждают фрагменты керамики, стекла, угля, наличие предметов быта, остатки саманных построек и другие включения, несомненно свидетельствующие об антропогенном происхождении почв на ирригационных отложениях. Культурно-поливные почвы на ирригационных

наносах, как правило, обладают высоким плодородием, благоприятными физическими свойствами. Они отличаются высокими и равномерными по профилю значениями пористости и водопроницаемости. Однако в последние десятилетия сток на реках был зарегулирован каскадами плотин. Это создало весьма благоприятную обстановку для планомерного ведения орошаемого земледелия, аккумуляции необходимого для орошения в маловодные периоды объема воды.

Вместе с тем строительство водохранилищ имело и другие последствия. На полив идет более подогретая вода со значительно меньшим содержанием твердых частиц. Осветленные воды, поступающие на орошаемые поля, не оставляют на их поверхности столь значительной массы наилка, как прежде. Они содержат лишь очень тонкие, преимущественно коллоидальные частицы, образующие лишь малозаметные незначительные илистые пленки на поверхности агрегатов. Формирующиеся в этих условиях орошаемые почвы будут отличаться менее благоприятными физическими свойствами, повышенной плотностью, невысокой или низкой водопроницаемостью. В меньшей мере такие почвы будут обеспечены и элементами питания. Таким образом, изменение гидротехнических решений в зоне орошения приведет к изменению свойств орошаемых почв.

Подогрев воды в поверхностных слоях и их испарение на акватории водохранилища вызывают изменение ионного равновесия и соотношения ионов. В этом случае в воде снижаются парциальное давление уголекислоты и растворимость щелочноземельных металлов. Гидрокарбонатно-кальциевые растворы замещаются на гидрокарбонатно-натриевые и иные, менее благоприятные для полива.

Существенное влияние на формирование почв оказывает дренаж. Глубокий горизонтальный дренаж снижает уровень грунтовых вод на орошаемом массиве и создает необходимые условия для формирования плодородных почв. В условиях обеспеченного дренажа на благоприятных (незасоленных) карбонатных почвах, содержащих гипс, возможна длительная и весьма эффективная культура орошаемого земледелия (например, такие условия сложились на орошаемых массивах сероземов Ташкентского и Самаркандского оазисов).

Нередко, однако, при обеспеченном дренаже на гидрокарбонатно-кальциевых грунтовых водах в горизонтах почвенного профиля сохраняются или возникают зоны плотных карбонатных цементаций. Эти новообразования резко ухудшают физические свойства орошаемых сероземов. В последние годы для увеличения мощности корнеобитаемых горизонтов и ликвидации вторичных водоупоров на орошаемых почвах применяют глубокое мелиора-

тивное рыхление в сочетании с внесением повышенных доз органических удобрений.

Глубокий горизонтальный дренаж формирует необходимые условия для систематического отвода с орошаемой территории значительных масс солей. Если его действие стабильно, то в конечном итоге обычно формируется профиль орошаемой гидроморфной почвы сероземного типа с промывным водным режимом. Следует, однако, подчеркнуть, что характер вторичных трансформаций орошаемых почв тесно связан не только с природными условиями массива орошения, но и с комплексом инженерно-технических мероприятий по мелиорации почв. Так, глубокий горизонтальный дренаж способен сравнительно быстро опреснить поверхностные горизонты почв и грунтовых вод. Вакуумирование закрытого горизонтального дренажа ускоряет процесс рассоления в 2–3 раза. При этом солевые массы, залегающие глубже 5–8 м, не вовлекаются в общий процесс рассоления. В эксплуатационный период (после мелиорации) глубокий горизонтальный дренаж будет работать на удаление солей, поступающих с оросительными водами. Иная ситуация возникает при применении вертикального дренажа и использовании дренажных вод вертикальных скважин для орошения. В этом случае в оборот включаются огромные запасы солей всей зоны влияния вертикального дренажа (т.е. толщи мощностью 40–150 м). Откачка подземных вод вертикальным дренажем вызывает миграцию на поверхность в десятки раз большие массы солей, чем горизонтальный дренаж. Возвратные воды вертикального (или комбинированного — горизонтального и вертикального) дренажа нередко отличаются особо высокой минерализацией. Поэтому применение тех или иных способов орошения, рациональное управление почвенным плодородием должны опираться на тщательный анализ всех статей водно-солевого баланса, формирующегося в условиях применения конкретных способов орошения и дренажа. Следует, однако, подчеркнуть, что такой анализ является необходимым и достаточным условием для зоны орошаемого земледелия Центральной Азии. Здесь высокое содержание углекислого кальция и гипса исключают ощелачивание и изменение катионного состава поглощающего комплекса почв, однако в степной зоне, особенно в зоне распространения черноземных и темнокаштановых почв, он должен дополняться тщательным прогнозом изменения их физико-химических свойств при орошении.

В безгипсовых черноземных и темнокаштановых почвах высока угроза перехода натрия из растворов в обменное состояние. Опасность этого явления оценивается по соотношению ионов натрия и кальция (магния) в водном растворе. Если соотношение $(Na + K)/(Ca + Mg) > 4$, то опасность осолонцевания весьма значительна. При соотношении, равном 1–4, она невелика и отсутствует полностью при соотношении $(Na + K)/(Ca + Mg) < 1$.

Если на орошение используют щелочные воды, содержащие бикарбонаты и карбонаты натрия (содержание HCO^- больше $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), то происходит быстрое ощелачивание почвы. Появляется обменный натрий в количестве, равном 15–20% от емкости катионного обмена, в почве накапливается свободная сода, повышается ее щелочность, утрачивается структура, снижается водопроницаемость, усиливается коркообразование. Эти явления быстро протекают в суглинистых и глинистых почвах, но слабо выражены или отсутствуют вообще в песчаных.

Несомненно, дренаж обеспечивает возможность мелиорации засоленных почв и гарантирует орошаемые массивы от угрозы вторичного засоления. Однако одновременно он усиливает и опасность экологической деградации территории в условиях орошаемого земледелия, поскольку дренажный сток транспортирует в водоприемник значительные массы водорастворимых солей, токсических дериватов гербицидов и других ядохимикатов, а также макро- и микроудобрений, тяжелых металлов. Опасность заключается не только в повышении концентрации солей в водах водоисточника, но и в их эвтрофировании. С такими явлениями мировая практика орошения сталкивается почти повсеместно. Поэтому следует существенно сократить общий объем дренажного минерализованного стока с оросительных систем, свести его к минимальным значениям. Эта задача может быть решена прежде всего в результате пересмотра поливных и оросительных норм; некоторого экономически оправданного снижения верхней границы увлажнения (с уровня ППВ до 0,95–0,90 ППВ); уточнения мощности активного слоя; опреснения поверхностных горизонтов способом вымывания, оттесняя токсические соли за пределы корнеобитаемой зоны. Этой цели служат также использование глубокого мелиоративного рыхления при промывках засоленных почв, усиливающее взаимодействие промывных вод и солей, биологический дренаж и другие мероприятия. В результате применения этих и других мер можно сократить дренажный водоотвод на засоленных почвах до 10–15, а на незасоленных автоморфных — до 5–8%.

Значительную роль в орошаемом земледелии южных районов страны приобретает культура риса, возделываемая в условиях длительного затопления. Она позволяет не только получить значительный объем ценной продовольственной продукции, но и мелиорировать сильнозасоленные почвы. Поливная культура риса на фоне глубокого горизонтального дренажа позволяет промыть и ввести в интенсивное и стабильное сельскохозяйственное использование крупные массивы ранее бесплодных, сильнозасоленных почв и солончаков. Вместе с тем при отсутствии глубокого дренажа или его недостаточной интенсивности урожаи риса оказываются низкими, а на смежных участках обычно возникают заболоченность и засоленность почв. Исследования В.А. Ковды, М.Б. Минкина, А.Г. Ан-

древья и других показали высокую динамичность химических свойств почв и вод при культуре риса. Так, их щелочность в рисовых чеках резко возрастает в середине солнечного, жаркого дня. Это связано с интенсивной фотосинтетической активностью водорослей (альгофлоры) и высших растений и снижением растворимости CO_2 при повышении температуры оросительных вод. В воде уменьшается содержание бикарбонатов натрия, магния и кальция. В растворе преобладают Na_2CO_3 и MgCO_3 , а CaCO_3 выпадает в осадок. При этом существенно возрастает щелочность. Вечером и ночью фотосинтез ослабевает, а температура воды понижается. В результате возрастает концентрация CO_2 . Следствием этих изменений является уменьшение щелочности. Колебания значений pH оказываются столь значительными, что могут отрицательно влиять на урожай.

Необходимо подчеркнуть, что при низких концентрациях солей в промывных водах после удаления водорастворимых соединений из толщи засоленных почв возможен гидролиз обменного натрия почвенных коллоидов. В результате возникают гидрат окиси натрия и карбонат натрия, резко возрастают значения pH, происходит диспергация почвенных агрегатов, активная деградация почвенного профиля. Б.Г. Розанов с соавторами (1989) наблюдали увеличение подвижности и потерю органического вещества в почвах на рисовых системах, возникновение железистых сегрегированных гидроокисных конкреционных новообразований типа ортштейнов, уплотнение почв и ухудшение их физических свойств.

Из этого следует, что благоприятные условия в орошаемых черноземных и каштановых почвах, используемых для культуры риса, можно создать на фоне дренажа, внесения органических удобрений, небольших доз гипса и активной аэрации глубоких горизонтов почвенного профиля с помощью кротования и глубокого рыхления. Эти мероприятия по дренированию, кротованию, глубокому рыхлению и введение травопольных севооборотов с участием люцерны необходимы еще и потому, что почвы под рисом должны активно проветриваться для окисления возникающих при затоплении токсичных соединений закисного железа, марганца, а также сероводорода, водорода, метана, аммиака и др.

Таким образом, рациональное ведение культуры риса связано с анаэробной фазой длительного обводнения, периодически сменяющейся аэробной после сброса вод, затапливающих рисовый чек. Орошение черноземных почв для возделывания зерновых и других полевых культур на фоне бездренажной ирригации, как правило, быстро приводит к существенному подъему уровня грунтовых вод. Автоморфные черноземы переходят в категорию гидроморфных почв, уровни грунтовых вод поднимаются на отметки, близкие к критическим (3–5 м). Весьма эффективным в этом случае оказывается вовлечение в орошение на фоне дренажа южных и, реже,

обыкновенных черноземов, приуроченных к ареалам распространения сульфатно-кальциевых или гидрокарбонатно-кальциевых грунтовых вод с рН менее 8 и соотношением $\text{Na} / (\text{Ca} + \text{Mg})$ менее 1,5–2,0. В иных случаях грунтовые и оросительные воды оказываются весьма опасными, несмотря на низкие концентрации в них натрия. Бездренажное орошение является причиной быстрого осолонцевания почв, их интенсивного поверхностного уплотнения, слитизации и часто оглеения.

Если орошение осуществляется пресными водами и на фоне дренажа, но с периодическими переполивками, то в этом случае формируется застойно-промывной водный режим с частой сменой аэробных и анаэробных условий. При таком режиме также может возникать процесс глееобразования, имеющий пульсирующий характер. Следствием этого процесса является несбалансированный вынос железа, кальция, магния, подкисление среды, переход гуматного гумуса в фульватный, возникновение лессиважа. В результате черноземы и каштановые почвы подвергаются интенсивной деградации и в конечном итоге оподзоливанию. В поверхностных слоях почвенного профиля возникает элювиальный, часто осветленный горизонт с кислой реакцией. Профилактика этого опасного явления связана с необходимостью исключения причин возникновения процесса глееобразования в условиях пульсирующего режима, т.е. устранения переполивов, внесения в почву извести, улучшения физических свойств почв путем введения травопольного орошаемого земледелия, устранения факторов уплотнения почв и др.

Орошение почв аридной и полуаридной зон является достаточно очевидным и необходимым мероприятием, если оно улучшает экологическую обстановку и оправдано в экономическом отношении. Значительно сложнее решается этот вопрос применительно к черноземным почвам степи и лесостепи. В.В. Докучаев обращал особое внимание на то, что в этих природных зонах необходимо прежде всего сохранять благоприятные физические свойства почв, особенно их структурное состояние. Поэтому орошение многолетних трав, обладающих высоким водопотреблением и мощной корневой системой, обычно целесообразно в таких условиях. В равной мере это справедливо для садов, ягодных кустарников, а также для многих овощных. Однако целесообразность орошения культур полевых севооборотов должна рассматриваться в строгом соответствии с климатическими условиями лесостепной и степной зон и подтиповой принадлежностью почв. Учитывая, что современные максимальные урожаи на орошаемых оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземах в настоящее время не превышают 35–40 ц/га, следует подчеркнуть, что такие же урожаи могут быть получены и на богаре, только за счет атмосферных осадков. Последнее подтверждает следующий несложный практический рас-

чет. Многолетние данные метеорологических наблюдений свидетельствуют о том, что в этих зонах выпадает около 450–550 мм осадков в средние по влажности годы. По усредненным подсчетам для создания 10 ц зерна на гектар необходимо 100 мм осадков. Из этого следует, что урожаи зерна на этих трех подтипах черноземов на богаре могут составить около 40–50 ц/га на фоне сортов современной селекции. На обыкновенных и особенно на южных черноземах, где сумма осадков составляет 300–400 мм, получить такие урожаи невозможно. В этом случае осторожное дополнительное орошение зерновых может оказаться безусловно оправданным и целесообразным мероприятием. Такой дифференцированный и увязанный с конкретными почвенными и агроэкологическими условиями подход должен использоваться при решении вопроса о необходимости орошения черноземов.

Изложенное выше иллюстрирует рис. 92, на котором показана урожайность зерновых культур на неорошаемых и орошаемых почвах степной и сухостепной зон (Зимовец, 1991). Существенно то, что максимальный прирост продукции от ирригации (увеличение более чем в 3 раза) имеет место на каштановых почвах и солонцах светлокаштанового подтипа.

В Нечерноземной зоне страны в областях, приуроченных к подзонам распространения подзолистых, болотно-подзолистых, дерново-карбонатных, дерново-глеевых и бурых пойменных почв, орошение применяют главным образом при возделывании овощей, кормов, садов. Значительный эффект дает орошение картофеля при его возделывании на почвах легкого гранулометрического состава.

В Нечерноземной зоне страны орошение применяют главным образом в хозяйствах, специализирующихся на производстве овощей и кормов. Здесь нет угрозы вторичного засоления, осолонцевания, ошелачивания почв, слитизации, однако орошаемое земледелие в этих условиях сталкивается с серьезной угрозой деградации почв при монокультуре овощных пропашных. Эта угроза особенно отчетливо проявляется в последние годы в поймах,

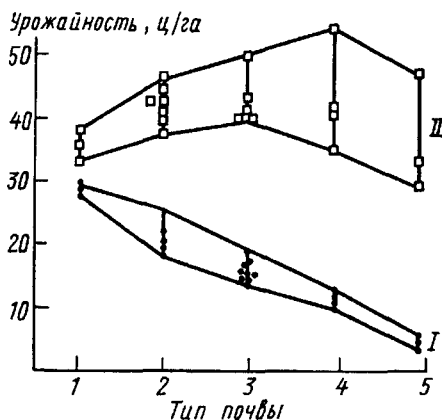


Рис. 92. Урожай зерновых культур на орошаемых (II) и неорошаемых (I) почвах (Б.А. Зимовец, 1991):

1 — чернозем типичный; 2 — чернозем обыкновенный; 3 — чернозем южный и темнокаштановая почва; 4 — каштановая и светлокаштановая почвы; 5 — солонцы

покров которых в исходном состоянии обычно образуют структурные зернистые почвы. Стабилизация их физических свойств возможна только в том случае, если они используются в системе травопольных севооборотов, насыщенных луговыми травами. Особенно опасно в лесной зоне, так же как и на черноземах, при орошении почв использовать тяжелую колесную обрабатывающую и уборочную технику с высоким удельным давлением. Уплотнение орошаемых почв в результате применения такой техники сопровождается падением их водопроницаемости, резким увеличением поверхностного стока, его аккумуляцией в низинах, депрессиях и локальных понижениях. Эти явления вызывают перегрузку дренажа, вымокание культур и другие неблагоприятные последствия.

Известны сведения и о том, что дождевание осушенных торфяных почв при глубоком залегании грунтовых вод (на глубине 1 м и более) вызывает интенсификацию микробиологической активности и ускоренную сработку торфа.

Наконец, орошение почв в гумидной зоне связано с проведением планировочных работ, в ходе которых осуществляется устранение неровностей, западин, отдельных земляных выемок и др. Поскольку почвы здесь имеют весьма незначительный гумусовый горизонт, эти мероприятия могут существенно снизить их продуктивность, поэтому они должны осуществляться только при условии непрямого восстановления утраченного плодородия почв.

9. ОСУШИТЕЛЬНЫЕ МЕЛИОРАЦИИ

9.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Более 75% территории России и около 51% территории стран СНГ находятся в зоне избыточного увлажнения, где осушительные мелиорации играют исключительно важное, нередко определяющее значение для рационального ведения сельскохозяйственного и лесохозяйственного производства, улучшения условий существования человека, мест обитания биоты, рекреационной обстановки, дизайна ландшафтов. Осушение (дренаж) играет важную роль в создании транспортных коммуникаций, зданий промышленного и гражданского назначения, спортивных сооружений (стадионов, спортивнополей, футбольных полей), аэродромов и др.

Развитие мелиорации в Нечерноземной зоне в настоящее время актуально по ряду причин. Заболоченные и болотные почвы являются практически единственным источником вовлечения в сельскохозяйственное производство после мелиорации новых земель. Мелиорируемые почвы Нечерноземной зоны, как правило, обеспечены влагой. Здесь нет острых засух, отсутствует угроза засоления почв, нет проблемы утилизации и использования засоленных вод и обычно складываются относительно благоприятные условия для двустороннего регулирования водного режима почв. Мелиорация переувлажненных почв Нечерноземья актуальна еще и потому, что она является обязательным условием улучшения состояния современных пашен, страдающих от избыточного увлажнения, ликвидации мелкой контурности, а также сложной структуры почвенного покрова, затрудняющей ведение сельскохозяйственного производства. Мелиорация заболоченных и болотных почв устраняет вымокание и заболевание растений, создает благоприятные условия для механизации и обработки полей, повышает производительность труда. Очень часто мелиорация оказывается не только основным звеном сельскохозяйственного и лесохозяйственного производства, но необходимым условием оптимизации жизни человека в условиях гумидных ландшафтов.

Наконец, актуально и то, что в зонах радиоактивного загрязнения поступление радионуклидов в растения оказывается минимальным при залегании грунтовых вод на глубине 80–90 см, тогда как при меньших и больших глубинах внедрение стронция-90 и цезия-137 в биомассу и продукцию растениеводства резко возрастает (Богdevич, 1995).

Несмотря на известную однородность общих гидрологических условий (превышение общей суммы осадков над испаряемостью) территории, Нечерноземье отличается исключительным разнообразием природных факторов. Они обусловлены, во-первых, приуроченностью Нечерноземья к четырем почвенно-климатическим зонам (тундре; лесотундре; тайге — северной, средней, южной; зоне широколиственных лесов), дифференцированным на провинции с различными условиями континентальности. Во-вторых, территория Нечерноземья в недавнем прошлом была ареной активного оледенения в разные фазы плейстоцена и отличается исключительным (по сравнению с другими территориями) разнообразием почвообразующих пород и почв. Это объясняет сложность мелиорации переувлажненных почв в пределах рассматриваемого региона, необходимость тщательного учета генезиса для выработки целесообразных систем мероприятий по их мелиорации.

9.2. ЗАБОЛОЧЕННЫЕ И БОЛОТНЫЕ ПОЧВЫ КАК ОБЪЕКТЫ МЕЛИОРАЦИИ

Почвенный покров зоны избыточного увлажнения можно подразделить на две важные и весьма самостоятельные в мелиоративном отношении группы: автоморфные и гидроморфные почвы.

Автоморфные почвы не испытывают длительного застоя влаги в горизонтах почвенного профиля (условно в толще 1,5 м) и не несут устойчивых признаков гидроморфизма. К автоморфным относятся преимущественно зональные типы почв умеренного пояса: выщелоченные черноземы, серые лесные, бурые, дерново-карбонатные, рендзины, а также подбуры высоких широт, отличающиеся хорошей дренированностью, пойменные дерновые зернистые и слоистые неоглеенные почвы и др. Эти почвы успешно могут быть использованы в сельском и лесном хозяйствах без устройства дренажа, а для улучшения их водного режима достаточно применения агротехнических и агромелиоративных мероприятий и орошения.

Обширная группа гидроморфных почв, т.е. почв, формирование которых сопровождается застоем влаги и появлением в их профиле отчетливых признаков гидроморфизма, распадается на две группы: минеральные и органогенные.

Минеральные гидроморфные почвы несут устойчивые признаки гидроморфизма в виде холодной окраски горизонтов, возникающей при оглеении, специфических железисто-марганцевых, железистых, гумус-алюминиевых и карбонатных новообразований, накопления грубого гумуса или оторфования. Эти почвы характеризуются периодическим или постоянным насыщением влагой отдельных горизонтов или всего профиля и формируются в условиях нормального или повышенного увлажнения в результате поступления вод различного происхождения.

Нормальным называется увлажнение, при котором почва получает влагу только в виде осадков в количестве, не превышающем их сумму, свойственную для климата данной местности. Почвы повышенного увлажнения отличаются поступлением дополнительной влаги сверх этой нормы.

Минеральные гидроморфные почвы далеко не всегда несут устойчивые морфохроматические (цветовые) признаки оглеения. Цветовые признаки оглеения, таким образом, являются весьма распространенным, но не исключительным морфологическим признаком этих почв. Так, в зоне Силурийского плато на карбонатных моренных отложениях с высоким содержанием извести широко представлены минеральные гидроморфные почвы, не несущие четких морфохроматических признаков оглеения, но отличающиеся длительным обводнением в теплый период, накоплением в поверхностных слоях грубого гумуса и их заметным оторфованием, присутствием гидрофильной растительности.

Минеральные гидроморфные почвы, особенно на начальных этапах проявления признаков гидроморфизма, можно успешно использовать в сельском и лесном хозяйствах без устройств дренажа. Нередко на таких почвах могут быть получены более высокие урожаи сельскохозяйственных культур, чем на автоморфных, не несущих четких признаков гидроморфизма. Поэтому из обширной группы минеральных гидроморфных почв следует выделить заболоченные почвы, являющиеся наиболее частым объектом мелиорации в Нечерноземной зоне. Заболоченными и называют такие минеральные гидроморфные почвы, в которых анаэробный период, обусловленный застоем влаги, столь продолжителен, что затрудняет или исключает рост и развитие сельскохозяйственных культур. Поэтому заболоченные почвы непригодны для сельскохозяйственного использования без проведения мероприятий по удалению избыточной влаги. К заболоченным почвам с максимальной мощностью торфа относят почвы, у которых органогенный горизонт до осушения не превышает 30 см, а после осушения — мощность пахотного слоя.

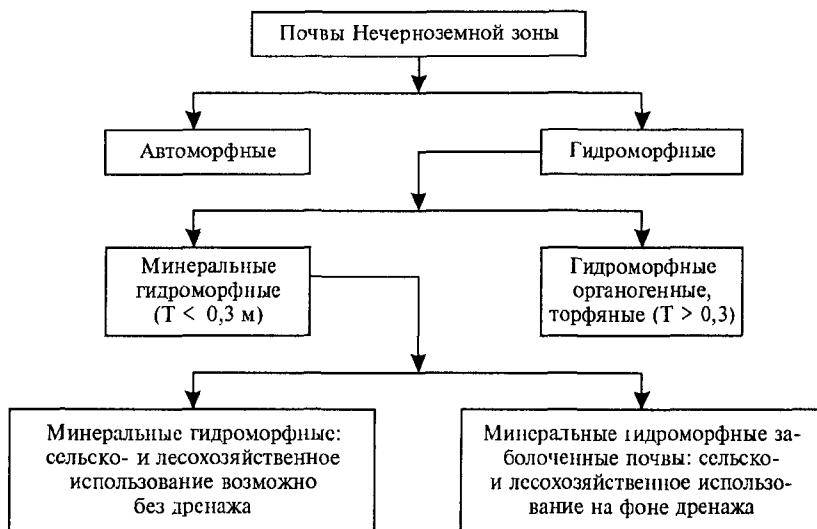
Все органогенные почвы, т.е. почвы, имеющие мощность торфяного горизонта более 30 см, являются гидроморфными, и их

сельско- или лесохозяйственное использование невозможно без предварительного осушения.

Рассмотренная группировка почв Нечерноземной зоны приведена на схеме 5.

Схема 5

ГРУППИРОВКА ПОЧВ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ
ПО ИХ УВЛАЖНЕНИЮ В МЕЛИОРАТИВНЫХ ЦЕЛЯХ



Болотные торфяные почвы относятся к трем различным по свойствам и происхождению типам. Рассмотрим условия, в которых они формируются.

Верховые, или олиготрофные, болота образуются преимущественно под влиянием поверхностных и (или) ультрапресных грунтовых вод. Они приурочены к водораздельным пространствам и часто расположены на повышенных элементах рельефа. Основные растения-торфообразователи — сфагновые мхи. Верховые болота бедны элементами питания, имеют кислую реакцию.

Торф верховых болот обладает низкой конституционной зольностью (менее 4%), высокой теплотворной способностью. Сельскохозяйственное значение связано главным образом с его использованием как подстильного материала.

Сфагновые торфа верховых болот обладают высокой влагоемкостью. Одна из причин этого явления связана с наличием в сфагновых мхах гиалиновых клеток, аккумулирующих значительные объемы воды. Обладая высокой влагоемкостью, сфагновые торфа и торфяные почвы, развитые на сфагновых торфах, отличаются одновременно низкими значениями коэффициента фильтрации

(K_f 0,05–0,01 м/сут). Вместе с тем очес таких торфяников, состоящий из живых сфагnumовых мхов, обладает огромной водопроницаемостью (до 50–100 м/сут и более), поэтому на верховых болотах формируется поверхностный сток. В настоящее время мелиорация торфяных почв верховых болот в сельскохозяйственных целях не представляется перспективной в связи с необходимостью применения при их осушении интенсивной системы дренажа, сложного комплекса мероприятий по освоению, окультуриванию и использованию. Более правильным является использование таких болотных массивов в качестве плантаций лекарственных растений, естественных ягодников, охотничьих угодий и т.п.

Низинные, или евтрофные, болота формируются под влиянием различных факторов заболачивания, но чаще всего под влиянием грунтовых, грунтово-напорных, намывных русловых и других вод. Они тяготеют к пониженным пространствам, речным долинам. Растения-торфообразователи — зеленые мхи, травы, кустарниковая и древесная растительность. Торфяная залежь низинных болот и торфяные почвы обладают различными химическими и физическими свойствами. Моховые и осоковые болотные почвы обладают относительно низкой водопроницаемостью и высокой влагоемкостью. Тростниковые и древесные торфяные залежи отличаются высокой (жильной) фильтрацией. На древесных (ивовых, березовых и особенно ольховых) торфах формируются почвы с высоким уровнем потенциального плодородия. Как правило, низинные болота — весьма перспективные массивы сельскохозяйственного использования после осушения (конституционная зольность > 6%).

Переходные, или мезотрофные, болота занимают промежуточное положение между низинными и верховыми. Чаще всего здесь формируются моховые, древесно-моховые торфяные залежи с высоким участием зеленых сфагnumов (конституционная зольность 4–6%). Переходные болота вовлекают в интенсивное сельскохозяйственное использование обычно при условии, когда они отличаются высокой, более 10–15%, неконституционной зональностью (например, в районах активной вулканической деятельности на Камчатском полуострове, в Карелии, где они обогащены минеральными алюмосиликатными частицами, поступающими в виде твердого стока на поверхность этих почв).

9.3. ПРИЧИНЫ ЗАБОЛАЧИВАНИЯ ПОЧВ И ИХ ДИАГНОСТИКА

Заболоченные и болотные почвы возникают в результате действия разных причин заболачивания. Исходя из задач мелиорации и сельскохозяйственного производства, под причиной заболачивания понимают такой гидрологический фактор (факторы), который вызывает длительный анаэробизм, обусловленный

застоем влаги в горизонтах почвенного профиля. Он приводит к угнетению или гибели сельскохозяйственных культур, возникновению характерных признаков почвенного гидроморфизма, ухудшению условий проведения сельскохозяйственных и других работ. Устранение этих причин с помощью гидротехнических и агро-мелиоративных мероприятий создает благоприятные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур и выполнения полевых работ. Заболоченные и болотные почвы, входящие в обширную группу гидроморфных почв, формируются под влиянием главным образом пяти гидрологических факторов: атмосферных, намывных склоновых, намывных русловых, грунтовых и грунтово-напорных вод (рис 93).

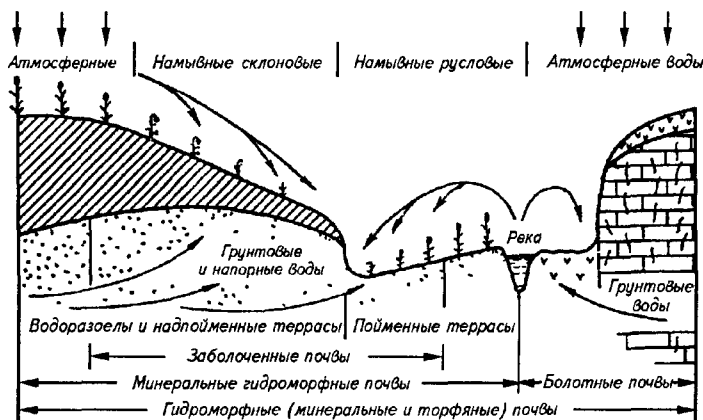


Рис 93 Гидрологические причины заболачивания почв суши

Кроме того, заболоченные и болотные почвы могут возникать в результате зарастания водоемов или под влиянием биогенного заболачивания. Таким образом, заболоченные и болотные почвы образуются под действием семи факторов (или семи причин) заболачивания (пяти гидрологических факторов заболачивания суши, зарастания водоемов и биогенного заболачивания).

В мелиоративном отношении диагностика причин заболачивания почв представляет существенный интерес, поскольку они определяют метод осушения, т.е. принципиальную направленность мелиоративных мероприятий (например, понижение уровня грунтовых вод при заболачивании почв грунтовыми водами, ускорение поверхностного и внутрипочвенного стока при заболачивании намывными склоновыми водами и т.д.).

Наблюдается определенная зональность причин заболачивания. Так, на севере, в холодном поясе, возникновение гидроморфных почв связано исключительно с влиянием осадков, вызывающих формирование надмерзлотной верховодки. В умеренно теплом

попоясе в пределах огромных заливных равнин доминируют гидроморфные почвы, возникшие под влиянием грунтовых вод. На моренных, озерно-ледниковых, пермских, покровных суглинках и глинах водоразделов распространены преимущественно почвы, заболоченные намывными склоновыми водами (рис. 2.2, 2.3, 2.5—2.8). В лесостепной зоне заболачивание почв вызвано главным образом выклиниванием грунтовых и напорных вод в поймах рек.

Причины заболачивания почв тесно связаны с геологическим и геоморфологическим строением территории, растительным покровом.

9.3.1. ПРИЗНАКИ ЗАБОЛАЧИВАНИЯ ПОЧВ ГРУНТОВЫМИ И НАПОРНЫМИ ВОДАМИ

Проходя через толщу рыхлых или сильно трещиноватых отложений, грунтовые и напорные воды в местах выклинивания разгружаются от ранее выщелоченных и растворенных соединений. Поэтому аккумуляция в почвах различных солей часто является надежным диагностическим признаком заболачивания почв грунтовыми, грунтово-напорными или напорными водами.

В районах гумидного климата в зонах грунтового заболачивания откладываются обильные скопления окиси железа, карбонатов кальция и магния, реже гипса.

Железистые соединения часто возникают в почвах в тех случаях, когда водосборная площадь бассейна образована песчаными почвогрунтами и особенно когда подземные воды мигрируют по породам, содержащим сульфиды, карбонаты и гидроокиси железа.

Фильтруясь через такие почвогрунты, осадки в условиях господствующего на этой территории глееобразования растворяют пленки окиси железа и в виде закисных железоорганических и минеральных солей приносят эти соединения в грунтовый поток. В зонах аэрации эти формы двухвалентного железа подвергаются интенсивному окислению и выпадают в осадок в виде гидроокиси железа. При последующей дегидратации в местах скопления гидроокиси формируются прослойки болотной руды, нередко достигающие большой мощности (нескольких дециметров).

Аккумуляция карбонатов в виде болотного мергеля, туфа, конкреций и других образований происходит в тех случаях, когда грунтовые или напорные воды проходят сквозь толщу трещиноватых известняков или рыхлых четвертичных отложений, обогащенных обломками известняковых пород. В этом случае подземные воды транспортируют кальциевые и магниевые соли в виде бикарбонатов, которые удерживаются в растворе лишь при высокой концентрации свободной углекислоты. В зоне разгрузки этих вод происходит резкое уменьшение парциального давления углекислоты; бикарбонаты переходят в карбонаты и выпадают в осадок.

Поэтому в почвах, заболоченных грунтовыми и напорными водами, возникают своеобразные новообразования, имеющие важное диагностическое значение при мелиоративных изысканиях и исследованиях.

Почвы, заболоченные грунтовыми водами, развиваются под покровом специфической растительности. Так, в зоне южной тайги в притеррасных депрессиях широко распространены сообщества черной ольхи, ивы и березы. На ольховых коблах произрастают таволга вязолистная, черная смородина, крапива жгучая. Деревья часто обвиты хмелем. Между коблами осоки дернистая, острая и другие образуют редкие кочки значительной высоты, а в сильно обводненных участках — сабельник болотный, вахта трехлистная, калужница болотная, белокрыльник болотный, манник наплывающий, осоки пузырчатая, ложносытевая. Этот растительный покров обычно приурочен к минеральным «икряным» почвам ольховых топей, а также к хорошо разложившимся высокозольным торфяным почвам, обогащенным элементами зольного и азотного питания.

При заболачивании менее минерализованными грунтовыми водами часто поселяются березово-травяные сообщества и сообщества крупных кочкарных осок. На осоковых кочках растут вероника длинностная, вербейник обыкновенный, валериана лекарственная. В этом сообществе наряду с высокорослым разнотравьем поселяются тростник обыкновенный и различные виды вейника.

Тростниковые сообщества, образованные тростником, рогозом широколистным и узколистным, камышом озерным, обычно приурочены к участкам с проточной водой.

В местах выклинивания жестких грунтовых вод поселяются гипново-моховые сообщества; в условиях заболачивания мягкими водами на болотных почвах — осоково-гипновые и гипново-осоковые, на минеральных — влажные сообщества белоуса, сообщества мелких осок и др.

Следует, однако, подчеркнуть, что растительность не является исключительным индикатором причин заболачивания, так как нередко в условиях различного заболачивания встречаются близкие ассоциации и в однородных условиях — различные сообщества.

9.3.2. ПРИЗНАКИ ЗАБОЛАЧИВАНИЯ ПОЧВ АТМОСФЕРНЫМИ И НАМЫВНЫМИ СКЛОНОВЫМИ ВОДАМИ

Атмосферные и намывные склоновые воды поступают непосредственно на рассматриваемую территорию или проходя относительно короткий путь по поверхности водосбора. Их химический состав и количество влекомого мелкозема определяются величиной, составом пород и характером водосбора.

Водный режим почв, заболоченных атмосферными и намывными склоновыми водами, отличается выраженной сезонной цикличностью. Их обильная обводненность во время выпадения осадков и весеннего снеготаяния сменяется резким падением уровня верховодки или ее полным исчезновением в засушливый период. Почвы, заболоченные атмосферными и намывными склоновыми водами, обычно приурочены к массивам, образованным породами суглинистого и глинистого механического состава. Вместе с тем почвы с таким заболачиванием могут быть приурочены и к породам с двучленным строением (верхний легкий нанос песчаного или супесчаного гранулометрического состава подстилается кислыми, карбонатными моренными или покровными суглинками и глинами) (рис. 2.10). Наконец, на севере в холодном поясе надмерзлотная верховодка может формироваться в почвах, приуроченных к любым породам. Генезис этих почвообразующих пород различен. Севернее границы Валдайского оледенения широко распространены карбонатные и реже кислые тяжелые моренные (рис. 2.3, 2.5) и озерно-ледниковые отложения (рис. 2.6, 2.7); южнее, в зоне Московского оледенения, — преимущественно кислые покровные лёссовидные (рис. 2.8) и моренные суглинки и глины.

В Приуралье почвы, заболоченные поверхностными, преимущественно намывными склоновыми водами, формируются на суглинистом и глинистом красноцветном элювии карбонатных пермских пород (рис. 2.2). Широкое распространение в срединной части зоны получили почвы, приуроченные к флювиогляциальным пескам, подстилаемым на небольшой глубине моренными суглинками (рис. 2.9, 2.10).

Формирование и развитие почв под влиянием поверхностного заболачивания протекают под покровом малотребовательных к условиям зольного питания растительных ассоциаций — злаково-разнотравно-мелкотравных, влажных мелкоосоковых, осоково-вейниковых и др.

В сухие годы минеральные почвы, заболоченные поверхностными водами, нередко распаиваются. В этом случае исчезает естественная растительность, и о заболачивании почв можно судить лишь по поселяющейся здесь влаголюбивой сорной растительности. Относительно устойчивыми индикаторами, указывающими на заболоченность пашен, являются горец шероховатый, мокрица, мятлик болотный, тростник обыкновенный.

Низинные болота, возникающие под влиянием атмосферных и намывных склоновых вод, встречаются на внепойменных пространствах и покрыты осоковой, осоково-вейниковой, вейниковой и гипново-осоковой растительностью.

Переходные болота, приуроченные преимущественно к водораздельным территориям, формируются под покровом осоково-сфагновой, сфагново-осоковой растительности.

Растениями-торфообразователями верховых болот обычно являются сфагновые мхи. В небольшом количестве встречаются мелкие осоки, пушица влагалищная, морошка. Древесная растительность представлена болотными формами сосны, березы, лиственницы.

9.3.3. ПРИЗНАКИ ЗАБОЛАЧИВАНИЯ ПОЧВ НАМЫВНЫМИ РУСЛОВЫМИ ВОДАМИ

Внешне заболачивание почв намывными русловыми (полыми) водами имеет некоторые общие признаки с заболачиванием почв атмосферными и склоновыми водами. Такие почвы характеризуются тяжелым гранулометрическим составом, а верховодка и в этом случае подвержена резким колебаниям. Однако в отличие от атмосферных и склоновых намывные русловые воды проходят значительный путь по водосборному бассейну и руслу реки, обогащаясь массой смытого с поверхности почв мелкоземистого материала и растворенных соединений. Поэтому среди пойменных почв, заболоченных намывными русловыми водами, нейтральные или слабокислые почвы встречаются значительно чаще, чем на водоразделах. В поймах северных рек широко распространены в различной мере заболоченные светлобурые, а в средней и южной частях тайги и лесостепной зоне — бурые, темнобурые и серые в разной степени заболоченные зернистые почвы. Как правило, после осушения именно эти почвы являются наилучшими для пастбищ, лугов и возделывания овощных культур. Кроме этих почв, обычно доминирующих в поймах, здесь встречаются иловато-глеевые (реже слитые). Перечисленные почвы настолько специфичны для пойм, что их правильно установленный генезис служит лучшим показателем заболачивания намывными русловыми водами.

Кроме этого признака на заболачивание почв русловыми водами указывает литология профиля, их растительный покров, геоморфологическая приуроченность. Такое заболачивание характерно только для пойменной террасы речной долины и наиболее часто встречается в центральной ее части. Влияние намывных русловых вод на почвообразование настолько значительно, что среди почв, заболоченных водами этого типа, почти не встречаются оподзоленные разновидности. Профиль дерновых зернистых почв, заболоченных поверхностными водами, образуют обычно хорошо оформленные агрегаты, сохраняющие свою форму даже при интенсивном оглеении (рис. 2.11, 2.12). Эти почвы в отличие от почв водораздельных пространств, заболоченных склоновыми и атмосферными водами, обладают относительно высокой водопроницаемостью неоглеенных и глееватых горизонтов, значительной водопрочностью агрегатов. Относительно высокая водопроницаемость этих почв объясняет то обстоятельство, что в почвах центральной поймы на-

чальные стадии заболачивания проявляются прежде всего в оглее-нии не верхних, а глубоких слоев почвенного профиля. В субаква-льных условиях на наиболее пониженных участках поймы форми-руются иловато-глеевые слитые почвы. Им свойственна уплотнен-ность всех горизонтов, дезагрегированность и очень низкая водо-проницаемость.

Болотные почвы, формирующиеся под влиянием русловых вод, занимают относительно небольшие площади и представлены преимущественно низинными, часто древесными и осоково-дре-весными высокозольными торфяниками (рис. 2.13).

Почвы, заболоченные намывными русловыми водами, разви-ваются под покровом травянистой растительности, образующей на плоских участках поймы злаково-осоковые и злаково-разнотрав-ные ассоциации с преобладанием щучки дернистой, полевицы бе-лой и собачьей, овсяницы красной, лисохвоста лугового и коленча-того, гравилата речного, таволги вязолистной, осок обыкновенной, заячьей и др.

Луга низкого уровня, заболоченные намывными русловыми водами, образованы крупнозлаковыми и крупнозлаково-осоковы-ми сообществами, травостой которых формируют канареечник тростниковидный, бекмания гусеницевидная, мятлик болотный, манник водяной, осоки острая и лисья, вейник ланцетный и др.

Реже на почвах, длительно заболоченных русловыми водами, поселяются крупноосоковые ассоциации.

9.3.4. ПРИЗНАКИ БОЛОТНЫХ ПОЧВ, ВОЗНИКАЮЩИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЗАРАСТАНИЯ ВОДОЕМОВ

Характерным топографическим признаком болотных массивов, возникающих в результате зарастания водоемов, является их оваль-ная форма, повторяющая форму открытого водоема. Наиболее часто болота подобного генезиса расположены на водораздельных про-странствах и гораздо реже встречаются в поймах, несмотря на зна-чительное распространение в них озер старичного происхождения.

Ниже приведены основные диагностические признаки, кото-рые позволяют в поле установить возникновение торфяных почв в результате зарастания водоемов.

Заболачивание водоемов происходит в результате их зараста-ния или нарастания (образования сплавин). Первый случай свой-ствен водоемам с пологими берегами. Растения-торфообразовате-ли формируют концентрические пояса (рис. 94). Наиболее глубо-кие участки занимают зеленые, сине-зеленые и диатомовые водо-росли (а), далее следует пояс растений, полностью погруженных в воду, — роголистник погруженный, узколистный рдесты (б). Тре-тий пояс образуют широколиственные рдесты (в), четвертый — во-

данные лилии (г) и далее — пояс камышей и тростника, высоко поднимающихся над водной поверхностью (д). Шестой пояс представлен крупными осоками (е), седьмой, непосредственно у берега, — мелкими осоками (ж).

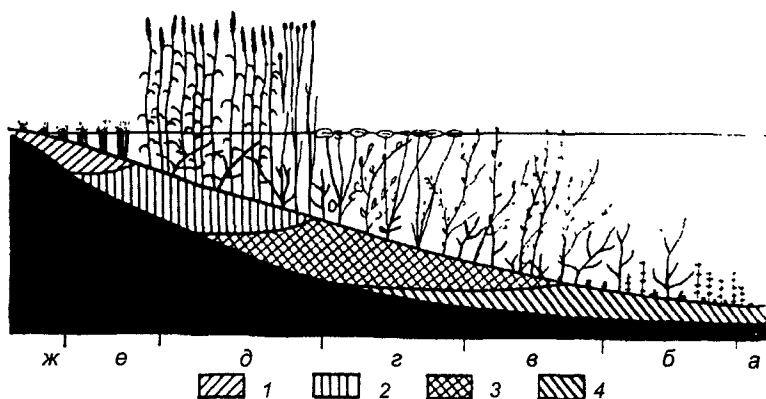


Рис. 94. Заболачивание в результате зарастания водоема (по В.Н. Сукачеву, 1926):

1 — осоковый торф; 2 — тростниковый торф с примесью камыша; 3 — торфянистый сапропель; 4 — смешанноводорослевый сапропель

Каждый пояс растений откладывает на дно водоема органические остатки специфического ботанического состава. Заполняя водоем, эти пояса центростремительно сдвигаются, в результате чего происходит постепенное погребение торфа предшествующего пояса растительными остатками вновь поселяющихся поясов. На дне водоема, особенно в его центральной части, оседает большое количество отмерших животных и растительных организмов, образующих планктон.

Эти остатки, смешанные с минеральными частицами, формируют плотную студенистую массу — сапропель. Наличие сапропеля под слоем торфяника, чередование слоев торфа, которое полностью или частично соответствует чередованию вышеперечисленных поясов растений-торфообразователей, являются безусловными показателями возникновения рассматриваемого болота в результате зарастания водоема. Такие болота, как правило, относятся к низинному типу.

В тех случаях, когда берега водоема круты и достаточно хорошо защищены от ветров, происходит нарастание на открытую водную поверхность мохового покрова из зеленых мхов или некоторых видов сфагнума (если воды бедны известью или слабоминерализованы), поселение на моховом покрове осок, вахты трехлистной, шейхцерии болотной и др.

В дальнейшем на таком растительном покрове развиваются болотные кустарнички. Сплавина, уплотняясь и разрастаясь, покрывает водную поверхность. При сплавинном образовании болотам свойственны «окна» — небольшие участки открытой водной поверхности. Отмирая и опускаясь на дно, растительные остатки формируют относительно однородную по ботаническому составу торфяную толщу, которая достигает нередко значительной мощности. В этом случае могут формироваться как низинные, так и верховые болота различного ботанического состава.

9.3.5. ПРИЗНАКИ БИОГЕННОГО ЗАБОЛАЧИВАНИЯ ПОЧВ

Почвы этого типа заболачивания приурочены к водораздельным пространствам Нечерноземной зоны в районах широкого распространения подзолистых почв. Интенсивное развитие подзолообразования на кислых почвообразующих породах является причиной формирования почв, бедных элементами зольного и азотного питания. Поэтому плотнокустовые злаки, поселившиеся вначале на этих почвах, быстро сменяются менее требовательными растительными группировками, образованными преимущественно сфагновыми мхами. В последующей эволюции растительного покрова болот такого типа абсолютное доминирование получают сфагновые мхи и непосредственно на минеральных подзолистых почвах развивается мощная толща верховых торфов. Валовой анализ погребенной минеральной почвы нередко отражает характерные особенности подзолистых почв. В отличие от иных случаев формирования верховых болот в зоне контакта минеральных и органогенных горизонтов отсутствуют прослойки переходных и тем более низинных торфов, а подзолистые почвы, подстилающие торфяник, часто имеют легкий механический состав (супесь, легкий суглинок). Естественно, что грунтовые воды в случае биогенного заболачивания не влияют на почвообразовательный процесс, а водосбор с окружающих территорий отсутствует (последнее можно легко проследить по топографической карте).

Почвы биогенного заболачивания приурочены к наиболее высоким нерасчлененным участкам водораздельных пространств.

Биогенное заболачивание в лесной зоне является нередко следствием не столько спонтанной эволюции растительности, сколько результатом глубокого изменения гидрологического режима территории, связанного с вырубкой леса, пожарами и другими причинами. При резком уменьшении транспирации и испарения с поверхности почвы, покрытой древесными остатками, на неочищенных лесосеках и пожарищах поселяется моховая растительность, обуславливающая прогрессирующее заболачивание окружающей территории. Вместе с тем процесс биогенного заболачивания

весьма лабилен и его интенсивность может существенно ослабевать в результате естественной эволюции фитоценозов.

Этот вид заболачивания не приводит к образованию стабильных по площади заболоченных территорий. Он наиболее часто встречается в зоне средней и северной тайги, преимущественно на кислых алюмосиликатных породах ледникового происхождения.

9.4. ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ ПОЧВЫ ГУМИДНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Одним из наиболее распространенных процессов почвообразования в гумидных ландшафтах является глееобразование.

Г л е е о б р а з о в а н и е — почвообразовательный процесс, протекающий в анаэробных условиях при обязательном участии микроорганизмов и наличии органического вещества, в условиях постоянного или продолжительного обводнения отдельных горизонтов или всего профиля, процесс, сопровождающийся переходом окисных соединений в закисные, изменением или распадом алюмосиликатов и новообразованием минералов при изменении окислительно-восстановительного потенциала, а также в хорошо аэрируемых горизонтах почвенного профиля или за его пределами. Важнейшим следствием преобразования является несбалансированный вынос (или перераспределение) железа из мелкозема почвенного профиля или его плазмы (Зайдельман, 1974).

При глееобразовании, таким образом, происходит восстановление окисных форм различных металлов, накапливаются «агрессивные» органические соединения, способные образовывать комплексы с металлами — низкомолекулярные одно-, двух- и трехосновные кислоты, полифенолы и другие соединения. Они могут оказывать различное действие на минеральный субстрат. Во-первых, органические соединения, возникшие в анаэробных условиях, действуют как кислоты, во-вторых, как комплексообразователи и, в-третьих, как восстановители.

С точки зрения полевой диагностики важным следствием такого воздействия является переход в подвижное состояние железа и марганца, сосредоточенного преимущественно в виде гидроокисных пленок на поверхности минеральных частиц. В результате материнская порода, ранее окрашенная в теплые красноватые, желтоватые, коричневатые тона, освобождаясь от вуалирующей их собственный цвет железистых гидроокисных пленок, приобретает холодный оттенок, свойственный основной массе силикатов и алюмосиликатов, — серый, сизоватый, голубоватый. В этом заключается одна из важнейших причин изменения цвета почвообразующей породы при возникновении о г л е е н н ы х или г л е е в ы х го-

ризонтов. Если, однако, в этом горизонте имеется локальная аэрация по ходу корней, пустот или верхняя граница горизонта находится в зоне аэрации, то здесь возможно выпадение из растворов железа и окрашивание этой зоны в ярко-охристый или ржавый цвет, свойственный гидроокисным соединениям железа.

Для возникновения процесса глееобразования необходимы три фактора: 1) наличие органического вещества, способного к сбраживанию; 2) анаэробная микрофлора; 3) переувлажнение. Очевидно, такие факторы встречаются повсеместно в гумидных ландшафтах земли. Поэтому процесс глееобразования получил повсеместное распространение в тундре и лесотундре, в северной, средней и южной тайге, в тропиках и субтропиках. Он широко представлен в условиях близкого залегания грунтовых вод в зонах широколиственных лесов, лесостепи и степи, в пустынной зоне, особенно в районах орошаемого земледелия, в верхних бьефах водохранилищ и по трассам крупных ирригационных каналов.

Глееобразование — наиболее распространенный почвообразовательный процесс на территории земного шара. Оно может происходить при различном водном режиме и на разных породах. В условиях застойного режима процесс восстановления и выноса металлов протекает медленно; не все металлы в этих условиях активно выносятся из горизонта (например, ограничен вынос кальция и магния, весьма стабилен алюминий), здесь невозможен л е с с и в а ж — вынос тонких (илистых) частиц из верхних горизонтов в нижние без предварительного разрушения алюмо- и ферросиликатных минералов. Формируется горизонт з а с т о й н о г о (редуцированного) г л е я.

Однако глееобразование может осуществляться и при пульсирующем застойно-промывном водном режиме. В этих условиях, обеспечивающих интенсивное развитие элювиальных явлений, происходит глубокая деградация поверхностных горизонтов почвенного профиля. Горизонт, формирующийся под влиянием глееобразования в условиях застойно-промывного водного режима, быстро обедняется марганцем, железом, алюминием и щелочноземельными металлами; здесь возможен весьма активный лессиваж. Происходит относительное накопление кварца. Горизонт в целом приобретает белесоватую или белесую окраску, а профиль — элювиальную или элювиально-иллювиальную дифференциацию. В условиях застойно-промывного режима на кислых, нейтральных и выщелоченных породах элювиальные горизонты обладают кислой реакцией.

Таким образом, в этих условиях под влиянием глееобразования возникают почвы с белесыми кислыми горизонтами, элювиальными по отношению к марганцу, железу, кальцию, магнию и алюминию. В таких почвах наблюдается активный вынос ила. Глееобразование на фоне застойно-промывного режима проявляется в

формировании почв, имеющих следующие генетические горизонты: A_1-A_2-B-C (A_2-B-C) или $A_{lg}(E)-A_{2g}-B_g-G(A_{2g}-B_g-G)$. Последнее позволяет признать, что подзолистые и болотно-подзолистые почвы являются одной из форм глееобразования, когда этот процесс реализуется на кислых, выщелоченных и нейтральных породах в условиях застойно-промывного водного режима. Из этого следует, в частности, вывод о том, что если дренаж переводит минеральные почвы из состояния субаквального, застойного водного режима в застойно-промывной (это часто происходит при осушении дерново-глеевых и других сильно заболоченных почв), то происходит резкая интенсификация выноса двух- и трехвалентных металлов, лессиваж, подкисление почв. Начинается активный процесс деградации почв, который в конечном итоге проявляется в возникновении подзолистых светлых кислых горизонтов или в увеличении их мощности (если они присутствовали в почвенном профиле до осушения). Поэтому дренированные почвы необходимо защищать от возникновения в их профиле (особенно в поверхностных горизонтах) периодического переувлажнения и анаэробных условий, например, с помощью агромелиоративных мероприятий по ускорению поверхностного стока, ликвидации водоупорных горизонтов путем кротования почв или их глубокого рыхления. Не менее актуально в этих условиях известкование кислых почв, внесение органических, минеральных удобрений и, в частности, микроудобрений. Мелиорированные почвы, таким образом, должны обладать мощным плодородным корнеобитаемым горизонтом. Из этого также следует, что мелиорация почв должна рассматриваться как система комплексных гидротехнических, агромелиоративных и агрономических мероприятий.

На огромных пространствах лесной зоны России доминируют подзолистые и болотно-подзолистые почвы, приуроченные к различным почвообразующим породам.

Подзолообразование, как следует из изложенного (Зайдельман, 1974, 1998), является одной из форм общего процесса глееобразования, когда оно реализуется в условиях застойно-промывного режима на кислых, нейтральных или выщелоченных породах.

Подзолообразование — почвообразовательный процесс, заключающийся в трансформации материнской породы при периодическом переувлажнении и анаэробиизе под влиянием кислотного воздействия, выносе двух- и трехвалентных металлов из верхних элювиальных горизонтов почвенного профиля и их лессиваже. Иллювиальные горизонты формируются, таким образом, вследствие нисходящей миграции органо-минеральных соединений и лессиважа. Наиболее отчетливо лессиваж может быть обнаружен в почвах суглинистого и глинистого состава. В целом процесс подзолообразования может развиваться на породах любого механического состава в том случае, если кислые поверхностные горизонты

периодически избыточно увлажняются и находятся в условиях застойно-промывного водного режима. Разнообразие зональных и фациальных условий, почвообразующих пород и вод является причиной того, что тип подзолистых почв объединяет широкую общность кислых почв с элювиально-иллювиальным профилем со следующим чередованием горизонтов А2–В–С или А1–А2–В–С.

При длительном застое влаги в поверхностных горизонтах формируется тип болотно-подзолистых почв, несущих отчетливые морфохроматические признаки оглеения. Именно в профиле болотно-подзолистых почв, приуроченных к легкосуглинистым, супесчаным и особенно к песчаным почвообразующим породам, наблюдается наибольшая мощность подзолистых горизонтов. На таких породах обычно встречаются сильноподзолистые почвы и подзолы. Их морфологическое строение следующее: АО–А2 (А_{2g}) или А_{2fs}, В_g–G.

Большинство гидроморфных почв Нечерноземной зоны имеет гумусово-аккумулятивные горизонты. Их возникновение является следствием дернового процесса. Характерной особенностью дернового процесса является накопление органического вещества (гумуса) в поверхностных горизонтах почвенного профиля. Дерновый процесс протекает в аэробных условиях или при таком чередовании фаз аэробнобиоза и анаэробнобиоза, когда происходит глубокое разложение растительных и животных организмов до гумифицированных остатков.

При заболачивании резко сокращается фаза аэробного разложения органического вещества и происходит накопление неразложившихся остатков. Начинается формирование торфяных горизонтов. Торфообразование является следствием заболачивания территории, заключающееся в анаэробной, преимущественно субаквальной консервации остатков растений-торфообразователей. В результате торфообразования происходит накопление торфа.

По С.Н. Тюремнову (1976), торфоорганической является порода, содержащая не более 50% минеральных веществ (от абсолютно сухого вещества торфа), образовавшаяся в результате отмирания и неполного распада болотных растений в условиях повышенной влажности при недостатке кислорода.

В отличие от торфоорганогенной породы к болотным (торфяным) почвам в условиях естественного режима относят только поверхностные горизонты торфяной залежи выше уровня наиболее глубокого стояния грунтовых вод в межлетний период. Почвы отличаются от породы более активной микробиологической деятельностью, наличием аэробной микрофлоры, корней растений (Скрынникова, 1964).

Под влиянием застойных вод, тормозящих разложение органического вещества, происходит заболачивание территории, формирование заболоченных и болотных (органогенных) почв.

В Нечерноземной зоне может осуществляться заболачивание суши и заболачивание водоемов. Выше было показано, что заболачивание суши происходит под влиянием атмосферных, намывных склоновых, намывных русловых, грунтовых и напорных вод. В заболачивании суши могут принимать участие криогенные, биогенные и другие факторы.

Болотные (торфяные) почвы возникают и вследствие заболачивания водоемов в результате заполнения водоемов минеральными наносами и последующего образования надыловых сплавин, зарастания водоемов надводными сплавами и растительностью, укореняющейся на дне водоема.

Мелиорация болотных почв, возникающих в результате заболачивания водоемов, сопряжена с определенными трудностями при выполнении строительных работ, поэтому диагностика таких массивов имеет важное прикладное значение. Существенным признаком таких болот является наличие в их нижних слоях мощных сапропелевых горизонтов.

Сапропели, по Н.С. Тюремнову (1976), — «современные тонкоструктурные, коллоидные отложения континентальных водоемов, содержащие не менее 15% органического вещества и структурных остатков микроскопических водных организмов, а также некоторое количество неорганических компонентов биогенного происхождения и привнесенных минеральных примесей» (с. 22).

В формировании характерных горизонтов профиля гидроморфных почв важная роль отводится процессу гидрогенного привноса и аккумуляции соединений двух- и трехвалентных металлов. Он осуществляется в результате миграции бикарбонатов железа, кальция и магния и реже гипса к поверхности с током грунтовых и грунтово-напорных вод. В результате в профиле гидроморфных почв, главным образом в нижних слоях зоны аэрации, возникают горизонты аккумуляции гидроокисного железа — ортзанды, рудяки, железистые коры, а в случае заболачивания почв жесткими грунтовыми водами — горизонты лугового мергеля, туфа, твердые известковые и своеобразные железокarbonатные конкреции.

Следует указать еще на два важных процесса, оказывающих определяющее влияние на формирование своеобразной группы почв, приуроченных к первой (пойменной) террасе речных долин, — аллювиальный и пойменный процессы.

Аллювиальным называют процесс отложения на поверхности поймы элементов твердого стока из полых вод. Под влиянием аллювиального процесса на поверхности пойменных почв систематически откладываются наносы, которые и являются почвообразующей породой. В дальнейшем эти наносы вовлекаются в почвообразование и включаются в состав аккумулятивного горизонта. Таким образом, пойменные почвы в отличие от минеральных водо-

раздельных «растут сверху», подобно болотным. Все слои этих почв поэтому являлись в недалеком прошлом гумусово-аккумулятивными горизонтами. Это и определяет их специфические мелиоративные особенности, обусловленные макро- и микроагрегированностью, высокой порозностью, водоотдачей и др.

Почвы центральной и притеррасной пойм обычно, несмотря на тяжелый гранулометрический состав, обладают высокой водопроницаемостью. Нередко при тяжелосуглинистом или легкосуглинистом составе значения их латеральной (боковой) фильтрации составляют 1–2 м/сут, т.е. близки по значениям коэффициента фильтрации супесчаным горизонтам. В связи с особенностями генезиса эти почвы обладают выраженным анизотропизмом значений коэффициента фильтрации K_f в вертикальном и латеральном направлениях. При этом K_f в латеральном направлении оказывается в 2–5 раз выше, чем в вертикальном.

Поёмный процесс — затопление почв пойменной террасы паводковыми водами. Его продолжительность определяет степень проявления признаков гидроморфизма, длительность субаквальной фазы пойменного почвообразования. Аллювиальный и поёмный процессы тесно связаны между собой, а их интенсивность находится в обратной зависимости. Чем продолжительнее поёмность (например, в притеррасье полноразвитой поймы), тем слабее выражен аллювиальный процесс, меньше мощность и тяжелее гранулометрический состав наноса. Напротив, в прирусловой пойме в зоне максимальных скоростей и минимальной по продолжительности поёмности откладываются мощные слои аллювия.

Очевидно, процесс гидрогенного привноса и аккумуляции металлов, аллювиальный и пойменный процессы не являются почвообразовательными. Это гидрохимические и геологические процессы. Однако они играют важную роль в формировании почвенного покрова мелиорируемых территорий.

9.4.1. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ КАК ИНДИКАТОР ТИПА БОЛОТ

В растительном покрове болот выделяют древесный, кустарниковый (высотой более 1 м), кустарничковый (0,2–1,0 м), травяной и моховый (или мохово-лишайниковый) ярусы.

Каждому типу болот соответствует определенный набор растений. Так, в южной тайге европейской территории России на низинных болотах в древесном ярусе встречаются: береза пушистая, ольха клейкая и серая, ель и сосна обыкновенная. Среди кустарников чаще всего преобладают ивы. Разнообразен травяной ярус низинных болот. Особенно характерны осоки кочкарные — дернистая, своеобразная, омская. На поверхности болот они обра-

зуют крупные и высокие кочки; длиннокорневищные осоки — бутылчатая, стройная, двутычиночная. Помимо осок на низинных болотах часто растет тростник, а иногда он образует чистые заросли; здесь растут вейники и другие злаки. На безлесных болотах произрастают обычно пушицы: узколистная, широколистная, тонкая и другие, остатки которых в торфе объединены под общим названием пушицы многоголовой в отличие от пушицы одноголовой, характерной для верховых болот. В травяном ярусе низинных болот значительную роль играют хвощи топяной и болотный, вахта трехлистная, растут различные виды папоротников и других травянистых растений. В моховом ярусе на низинных болотах преобладают гипновые мхи, встречаются и сфагновые мхи.

Верховые болота питают воды, очень бедные минеральными солями, что обуславливает набор видов растений, характерных для этих болот. В растительном покрове верховых болот также выделяют несколько ярусов. В древесном ярусе, как правило, растет сосна обыкновенная, но в угнетенном состоянии. Степень угнетения зависит от условий местообитания растений.

Самой яркой особенностью растительности верховых болот является кустарничковый ярус, образованный преимущественно растениями из семейства вересковых: багульник болотный, мирт (кассандра) болотный, подбел многолистный, вереск обыкновенный. Кроме них обильны водяника, в северных районах — голубика, клюквы болотная и мелкоплодная. Часто встречается карликовая береза. Все кустарники имеют древеснеющие стебли и узкие, часто свернутые листья с опушением (багульник), восковым налетом (подбел) и другими приспособлениями к условиям среды. В травяном ярусе на верховых болотах широко распространена пушица одноголовая, образующая крупные кочки, нередко создающая почти сплошной покров. На сильно обводненных местах встречаются очеретник белый и осока топяная. Характерна для верховых болот шейхцерия болотная, особенно для сильно обводненных участков. Моховой ярус на верховых болотах очень хорошо развит и образован, как правило, сфагновыми мхами (ангустифолиум, балтикум, фускум, магеланикум, последний и на переходных болотах). В условиях слишком сильного обводнения и ухудшения аэрации сфагновые мхи угнетаются, и на их месте поселяются лишайники, иногда в значительных количествах. После отмирания они полностью разлагаются и не являются торфообразователями.

На переходных болотах распространены растения низинных и верховых болот. Они часто приурочены к разным элементам микрорельефа (первые — к кочкам, вторые — к мочажинам). На переходных болотах произрастают: в кустарничковом ярусе — карликовая береза; из травянистых — вахта трехлистная, осока шершавоплодная, пухonos дернистый (Куликова, 1974).

9.4.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ТОРФОВ*

В зависимости от состава растений-торфообразователей формируется три типа торфов: низинный, переходный и верховой. При определении типа торфа руководствуются растениями-торфообразователями.

Низинный тип торфа образуют растения-торфообразователи: древесные породы — береза, ольха, ель, ивы; травянистые растения — осоки шершавоплодная, бутылчатая, своеобразная, дернистая и омская, вейник, хвощ, вахта, пушица многоголовая; зеленые и сфагновые мхи.

Для верхового типа торфа характерна следующая растительность: кустарнички — подбел, кассандра, багульник, водяника; травянистые растения — пушица влагалищная (одноголовая), шейхцерия, очеретник; зеленые и сфагновые мхи.

Некоторые растения-торфообразователи могут встречаться на болотах разных типов.

В зависимости от обводнения меняется облесенность торфяника. Каждый тип торфа дифференцируют на подтипы — лесной, лесотопяной и топяной. Последующее подразделение торфа на группы связано с оценкой участия древесной, травяной и моховой растительности в формировании органогенной толщи.

Группы торфов по видовому составу растений-торфообразователей подразделяют на виды. Видом торфа называется первичная таксономическая единица, характеризующаяся определенным, достаточно постоянным сочетанием доминирующих остатков отдельных видов растений, отражающих (насколько возможно) исходные растительные группировки.

Название вида торфа зависит от процентного соотношения растительных остатков в соответствии с классификацией видов торфа (табл. 26). Оно дается по растению, остатки которого доминируют в торфе (не менее 40%), например шейхцериевый. Если в торфе доминируют остатки двух растений, он будет иметь двойное название, например древесно-осоковый, шейхцериево-сфагновый.

Торфяная залежь — закономерное вертикальное сочетание отдельных видов торфа от поверхности до минерального грунта или подстилающих озерных отложений.

Вид залежи определяется преобладающим видом торфа. Подтипы залежи выделяются по признаку наличия или преобладания в них торфов того или иного подтипа. Характер чередования и доля участия торфов того или иного типа определяют тип залежи. Выделяют четыре типа торфяных залежей: низинный, переходный, смешанный и верховой.

* Классификация торфов и характеристика болот даны по Н.С. Тюремнову (1976).

**Подразделение торфов на группы по содержанию древесных,
травянистых и моховых остатков**

Группа	Содержание растительных остатков, %		
	древесных	травянистых	моховых
Древесная	> 40		
Древесно-травяная	15–35		
Древесно-моховая	15–35		
Травяная	< 5–10	> 40	5–10
Травяно-моховая	< 5–10		10–35
Моховая	< 5–10		> 40

К низинному типу относят залежи, полностью или более чем наполовину общей глубины сложенные низинными торфами или перекрытые верховыми торфами, но не более чем на 0,5 м.

К переходному типу относят залежи, сложенные нацело или более чем наполовину переходными торфами, слой верховых торфов составляет не более 0,5 м.

Смешанный тип объединяет залежи из низинных или переходных торфов, перекрытых верховыми. При этом мощность слоя верховых торфов составляет более 0,5 м, но не превышает половины общей глубины залежи.

К верховому типу относят залежи, полностью сложенные верховыми торфами или такие, где пласт верховых торфов подстилается переходными или низинными торфами, но при этом мощность верховых торфов составляет не менее половины общей глубины залежи.

Типы торфов отличаются также по средней конституционной зольности, т.е. зольности, свойственной растениям-торфообразователям. Зольность в зависимости от типа торфов колеблется в следующих пределах: низинные — 6–18%, переходные — 4–6, верховые — 2–4%.

9.4.3. МАКРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ РАЗЛОЖЕНИЯ ТОРФА

Степень разложения связана главным образом с интенсивностью биохимического распада тканей в верхнем слое залежи и весьма несущественно зависит от возраста торфа, так как, погружаясь в глубину залежи, торф в течение тысячелетий подвергается лишь незначительным изменениям (табл. 27).

По степени разложения можно судить о целом ряде физических и химических свойств торфа. Она определяет плотность, связность и другие свойства. При определенных условиях степень раз-

Степень разложения торфа по Посту методом сжатия образца

Отжатая субстанция	Остаток после отжатия	Структура растительности в торфе	Степень разложения	Символ
Чистая вода			едва заметная	H1
Желто-бурая вода	не кашеобразный	отчетливая	очень слабая	H2
Мутная вода			слабая	H3
Очень мутная вода с 1/3 торфяной субстанции	кашеобразный	слабоотчетливая	средняя	H4
			среднесильная, довольно сильная	H5 H6
Очень сильно мутная вода с 2/3 торфяной субстанции	только волокна, древесина	несотчетливая	сильная, очень сильная	H7 H8
Водянистая каша из общей торфяной субстанции	почти нет остатка	почти неузнаваемая	почти полная, полная	H9 H10

ложения может оказаться более существенным показателем, чем ботанический состав торфа.

Для низинного торфа характерен серый до землисто-черного цвет, наличие остатков нитевидных светлых корешков осок, блестящих черных пленок хвоща, бронзово-коричневых стеблей и листочков гипновых мхов, оливковых остатков корневищ тростника, чечевицеобразных семян вахты, белых остатков коры березы.

Верховой торф имеет цвет от желтого до темно-коричневого, в нем различимы стебли и листочки сфагновых мхов, волокна и корешки пушицы, блестящие пленки шейхцерии, корешки кустарников, остатки коры сосны.

В образце нарушенной структуры определяют пластичность торфа, его цвет, количество и окраску отжимаемой воды, структуру растительных остатков и их примерный объем. Ниже приведены признаки низинного торфа (Тюремнов, 1976), позволяющие на основе микроскопического изучения образца определить его вид.

Древесные торфа, как правило, встречаются отдельными прослойками в форме примеси в других торфах, реже в форме сплошных залежей. Древесные низинные торфа формируются в условиях переменного затопления, относительно хорошей дренированности территории, что обуславливает их высокую степень разложения и темную окраску. В торфах содержатся остатки ольхи, березы, ели, реже сосны. Эти торфа имеют наиболее высокую зольность.

Ольховый торф — красновато-коричневый, с остатками древесины и коры, много корешков осок, хвоща, рогоза.

Березовый торф — почти черного цвета, с включениями белой коры березы.

Еловый торф — темно-коричневого цвета, преобладает на торфяниках северо-востока европейской территории России, древесные остатки хорошо различимы визуалью.

Травяные торфа низинного типа представлены следующими видами: хвощовым, тростниковым, тростниково-осоковым, осоковым, вахтовым и шейхцериевым.

Хвощовый торф состоит из корневищ, стеблей, характеризующихся зубчатыми влагалищами, и ветвей с обильным включением черных блестящих пленок, облегающих корневища хвощей и просвечивающих красным цветом в проходящем свете. Легко отличается от других торфов. Цвет торфа темный, часто почти черный. В чистом виде встречается редко, обычно имеет примесь осок и тростника. Образуется преимущественно в условиях богатого питания речными и озерными водами.

Тростниковый торф состоит из остатков корневищ и стеблей тростника, отличается глубоковолокнуистым строением и ленточно-сложной структурой. Легко отличается от других торфов хорошо заметными блестящими лентами сплюсненных корневищ желтой или бурой окраски. Слаборазложившийся торф глубоковолокнуистый, свежавынутый, часто пахнет сероводородом. В тростниково-осоковом торфе повышенное содержание примеси корешков осок.

Вахтовый торф легко отличить по частым включениям корневищ и блестящим красновато-желтым округло-плоским семенам. В волокнах торфа корневище вахты, снабженное крупными воздухоносными полостями, приобретает вид широких и плоских лент со слабым зеленоватым оттенком.

Осоковый торф отличается буровато-серой окраской, которую придают ему резко выступающие на общем темном фоне серые корешки осок. Степень разложения в среднем 30%. Примесь других травянистых и древесных растений невелика.

В шейхцериевом низинном торфе визуалью легко обнаружить большое количество корешков и хорошо сохранившихся соломенно-желтых корневищ шейхцерии. Корневища шейхцерии несколько похожи на корневища тростника, но уже их. Постоянно встречающиеся семена шейхцерии напоминают мелкие муравьиные яйца. Торф коротковолокнистый, в чистом виде встречается редко и обычно содержит остатки сфагновых и гипновых мхов, пушицы, вересковых и др. Этот торф образуется в условиях подтопления слабоминерализованными водами, отличается пониженной степенью разложения и небольшой зольностью.

Моховые низинные торфа представлены двумя видами — гипновым и сфагновым.

В гипновом торфе хорошо сохраняются гипновые мхи, листочки и стебельки легко различимы. Свежий образец гипнового торфа имеет характерную коричневато-бронзовую окраску, быстро темнеющую на воздухе. Зольность и степень разложения пониженные — соответственно 6–8 и 20–30%. Однако гипновые торфа могут развиваться и при богатом грунтовым питании в зонах выхода кальциевых и железистых вод. В этих случаях их зольность достигает 9–21%. Торфа этого вида образуются в условиях увлажнения грунтовыми водами. В вертикальном разрезе верховых (сфагновых) болот гипновый торф часто образует подстилающие слои, лежащие на минеральном дне болота.

Помимо чисто гипнового чаще встречаются травяно-гипновые, осоково-гипновые, древесно-гипновые и сфагново-гипновые торфа.

Сфагновый низинный торф по окраске светлее вышеописанных, поскольку основную массу растительных волокон образуют сероватые корешки осок и остатки низинных сфагновых мхов, сохранивших светлую естественную окраску. Сфагновый низинный торф встречается на торфяниках склонов при подтоплении бедными грунтовыми водами и в виде сплавин по берегам озер.

Промежуточные группы низинных торфов — древесно-травяная, древесно-моховая и травяно-моховая — образованы соответственно древесно-осоковым, древесно-тростниковым, древесно-хвощовым, древесно-сфагновым, осоково-гипновым и осоково-сфагновым видами низинных торфов. Они обладают общими свойствами, присущими растениям-торфообразователям и торфам основных групп низинных торфов.

При выполнении мелиоративных изысканий важно в полевых условиях диагностировать почвы переходных и особенно верховых болот.

Ниже приведены основные признаки, необходимые для визуальной диагностики основных групп и видов таких торфов.

К древесным верховым торфам относится сосново-кустарничковый торф, в естественном влажном состоянии — темно-коричневая пластинчатая масса. Различимы лишь кора и древесина сосны и корешки кустарничков. Степень разложения 50–60%, зольность выше, чем у других видов торфов верховых болот, — 3–5%. В сосновых торфах переходных болот часто встречаются остатки коры березы.

Травяные верховые торфа включают два вида: пушицевый и шейхцериевый верховой.

Пушицевый верховой торф имеет темно-коричневую окраску, в нем хорошо заметны волокна пушицы, постоянная

примесь сфагновых мхов, встречаются остатки сосны и кустарничков. Степень разложения высокая — 30–60%.

Шейхцериевый верховой торф имеет темно-оливковую окраску и слизисто-волокнистую структуру. Присутствуют остатки сфагновых мхов. Остатки пушицы до 35%. Шейхцериевый верховой торф формируется в наиболее обводненных участках грядово-мочажинного и грядово-озерного комплексов. Эти участки увлажняются осадками или бедными водами поверхностного стока. Степень разложения весьма высокая — 40–45%, зольность — 2,5%. В нижних горизонтах интенсивно развивается анаэробный, сопровождающийся бурным выделением метана.

Обычно встречаются следующие виды верховых торфов: ангустифолиум, магелланикум, фускум, сфагновый мочажинный и комплексный верховой. Ангустифолиум, магелланикум и сфагновый торфа имеют желтоватый цвет, фускум — красноватый оттенок, сфагновый мочажинный — желтый цвет и волокнисто-губчатую структуру. Вся группа верховых торфов отличается низкой зольностью (2–4%) и невысокой степенью разложения (5–25%).

Сфагновый верховой торф слаборазложившийся, имеет волокнисто-губчатое строение, состоит главным образом из веточек, листочков и стебельков сфагноума. Часто попадаются кусочки древесины сосны и красные ниточки вересковых.

9.4.4. ДИАГНОСТИКА САПРОПЕЛЕЙ И ИХ СВОЙСТВА

В болотах, образовавшихся на месте водоемов, придонные слои заняты сапропелями. В естественно-влажном состоянии сапропели представляют собой однородную студенисто-желеобразную массу, в которой структурные остатки животных и растительных организмов почти неразличимы. Поскольку при зарастании водоемов образуются чаще всего тростниковые и осоковые болота, над сапропелем залегают слои осокового и тростникового торфов. В составе сапропелей, как правило, отсутствуют растительные остатки высших растений.

Во влажном состоянии сапропель легко отстает от руки, не пачкая ее. При высыхании меняет цвет, сильно твердеет, не размокает, имеет раковистый излом, легко расслаивается на тонкие листочки. Окраска серая, зеленоватая, коричневая, реже желтая и черная.

В сухом состоянии на огне обугливается, издавая неприятный запах горелого мяса, иногда горит коптящим пламенем.

В зависимости от содержания минеральной и органической частей различается несколько видов сапропелей. На европейской территории России чаще всего встречаются следующие сапропели: глинистые — характеризуются большой пластичностью (цвет

их обычно серый); песчанистые — примесь песка заметна на ощупь и на глаз; известковистые — содержат большое количество известковых частиц, часто имеют примесь кремнезема, цвет их белесовато-светло-серый, иногда почти белый; диатомовые — обогащены кремнеземом, часто содержат окислы железа, придающие им темный или коричневый цвет; детритовые — состоят в основном из органической массы. Окраска детритового сапропеля разнообразная: коричневая, оливковая, желтоватая, розоватая и др.

В сапропелях — отложениях пресноводных континентальных водоемов — содержится не менее 15% органического вещества. В связи с особенностями происхождения они обогащены кальцием, фосфором, железом, физиологически активными веществами. Сапропель по содержанию извести делят на следующие категории: 1) менее 30%; 2) 30–50; 3) 50–70; 4) более 70%. Сапропель второй и более высокой категорий рассматривают только как материал для известкования кислых почв. В целом от первой к четвертой категории ценность сапропеля резко снижается.

Диагностика сапропеля, таким образом, актуальна для оценки генезиса болотного массива, возможности его использования в качестве удобрения или известкового материала, а также для определения особенностей производства работ по строительству осушительной системы. Сапропели обладают высокой влагоемкостью, низкой водопроницаемостью, значительным содержанием коллоидальных частиц.

Сапропели — весьма нестабильные грунты, в которых каналы могут быть устойчивы только при значительных коэффициентах откоса. Они не способны нести большие нагрузки. Выполнение всего цикла мелиоративных работ связано с серьезными затруднениями. Поэтому их диагностика при почвенно-мелиоративных изысканиях и определение контура распространения имеют важное практическое значение.

9.5. ОСУШЕНИЕ ЗАБОЛОЧЕННЫХ И БОЛОТНЫХ ПОЧВ

9.5.1. ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ОБЪЕКТА ОСУШЕНИЯ

Основным объектом осушительных мелиораций являются переувлажненные почвы, т.е. почвы, в которых анаэробный период, обусловленный избытком влаги, столь продолжителен, что при этом происходит снижение урожая сельскохозяйственных культур или их рост и развитие (или сев и уборка) оказываются невозможными. Однако мелиоративные мероприятия должны быть всесторонне обоснованы не только гидрологической и экологической целесообразностью. Кроме того они должны получить подтверждение

экономической необходимости. Эта сложная и комплексная задача определяется уровнем и направленностью хозяйства землепользователя. Однако всегда необходимо показать, что применение мелиорации позволит получить дополнительный доход, оправдывающий инвестиции на мелиоративное строительство и эксплуатацию осушительных систем. В противном случае выполнение таких мероприятий, как правило, допускать не следует.

Оценка экономической целесообразности осушения (как, впрочем, и всех других видов мелиорации) должна учитывать особенности и продуктивность каждой разновидности, слагающей почвенный покров массива мелиорации. Последнее необходимо потому, что величины дополнительного дохода, сроки окупаемости и целесообразность осушения могут существенно варьировать в зависимости от свойств и режимов конкретных почв. Такой анализ в первую очередь необходим при оценке целесообразности осушения минеральных почв разной степени заболоченности.

Аналогичный экономический анализ и обоснование целесообразности осушения нужны и для торфяных почв.

Однако в последнем случае следует учитывать, что без мелиорации исключена возможность любого сельскохозяйственного использования почв, находящихся в условиях субаквального водного режима.

По разным причинам, однако, крупные группы торфяных почв, по крайней мере в настоящее время, в России не следует вовлекать в сельскохозяйственное использование. Очевидно, нецелесообразно вовлечение в земледелие торфяных почв всех верховых болот. Они обладают высокой влагоемкостью и низкой водопроницаемостью, низкими зольностью и степенью разложения растений-торфообразователей, высокой кислотностью. Их освоение будет лимитировано не только высокой стоимостью осушения, но и значительными затратами на освоение и повышение плодородия этих малопродуктивных почв.

Такая же оценка должна быть сделана и в отношении переходных болотных почв. Только в двух регионах они могут быть эффективно использованы в земледелии. Такими территориями являются Карелия и Камчатка. В первом случае торфяные почвы переходного типа обладают повышенной зольностью благодаря поступлению с водосбора с водами поверхностного стока минеральных частиц. Это обогащение минеральной массой болот переходного типа обусловлено интенсивной водной эрозией рыхлых отложений в условиях пересеченного рельефа Карелии. На Камчатке высокая зольность переходных торфяных почв связана с активной вулканической деятельностью на всей территории полуострова и регулярным осадением пепла на поверхности органогенных почв. Поскольку эти почвы формируются на фоне вулканической активности, в слоях всей толщи их профиля можно обнаружить аккумуляции вулка-

нического непа разной мощности. Последний, как правило, отличается повышенным содержанием биогенных элементов (калия, фосфора и др.).

Далее следует признать нецелесообразным сельскохозяйственное использование аапа — болот, торфяных почв гридово-мочажинного комплекса. Это также обусловлено сложностью их осушения и сельскохозяйственного освоения.

Несомненно, нецелесообразно вовлечение в осушение и сельскохозяйственное освоение всех типов болот (в том числе и низинных) при подстилании незначительной толщи торфа плотными метаморфическими, изверженными породами или галечниковым и грубообломочным каменистым материалом.

В этих случаях возможна быстрая сработка торфа в результате его осадки, биохимического разложения органического вещества, ветровой эрозии и пожаров. Осушение таких маломощных торфяных почв (мощность торфа $\leq 1,0$ м) обычно сопровождается выходом на дневную поверхность доломитовых отложений, массивно-кристаллических пород (гнейса, гранита) или валунно-галечникового аллювия и иного каменистого материала.

Все эти органогенные почвы по рассмотренным причинам нецелесообразно вовлекать в сельскохозяйственное использование. Их следует рассматривать как естественные заповедные образования, которые представляют значительный интерес для создания охотничьих угодий, ягодников, плантаций лекарственных растений. Территории, образованные такими почвами, как правило, играют важную водоохранную роль.

9.5.2. ЗАДАЧИ ОСУШЕНИЯ. ПОНЯТИЯ О МЕТОДЕ И СПОСОБЕ ОСУШЕНИЯ

Основная задача осушения заключается в том, чтобы в периоды выполнения сельскохозяйственных работ, роста и развития растений исключить избыточное увлажнение почв и обеспечить поддержание такого водного режима, при котором возможно получение максимального амбарного урожая при минимальных капиталовложениях. Осушение должно сопровождаться повышением плодородия почв, обеспечивать их сохранность и экологическую стабильность. Осушение не следует рассматривать только как мероприятие по сбросу избыточных вод. Это всегда комплекс гидротехнических, культуртехнических, агромелиоративных, химических и других мероприятий, направленных как на удаление избыточной влаги из поверхностных и корнеобитаемых горизонтов, так и на улучшение их физических и других свойств. Такое представление о задачах осушения как о комплексе различных абсолютно необходимых и тесно взаимосвязанных мероприятий, направленных на по-

вышение плодородия почв, особенно актуально для Нечерноземной зоны России.

Следует подчеркнуть, что в настоящее время основным объектом мелиорации здесь являются минеральные заболоченные почвы, занимающие около 80–90% площадей, сельскохозяйственное использование которых возможно после осушения.

Выше было показано, что причины заболачивания почв определяют метод осушения, т.е. принципиальную направленность мелиоративных мероприятий. Так, при заболачивании почв грунтовыми водами метод осушения будет заключаться в понижении уровня грунтовых вод; при заболачивании намывными склоновыми водами принципиальная направленность (т.е. метод) заключается в перехвате этих вод и в ускорении их сброса за пределы осушаемой территории. При заболачивании почв намывными русловыми водами метод осушения заключается в защите территорий от затопления намывными русловыми водами и т.д. Если заболачивание почв связано с одновременным действием разных факторов, то и методы осушения в этом случае могут приобретать более сложный характер.

Принцип (метод) осушения может быть реализован, очевидно, с помощью различных конкретных инженерных приемов. Например, при грунтовом заболачивании понижение уровня грунтовых вод может быть достигнуто как с помощью открытых каналов, так и закрытым дренажем, причем необходимый эффект можно получить с применением различных видов закрытого дренажа — пластмассового, деревянного, гончарного, каменного и др. Защита территории от затопления намывными русловыми водами может осуществляться не только с помощью дамб обвалования. В определенных условиях может оказаться достаточным спрямление русла реки и т.д.

Таким образом, мелиорация заболоченных и болотных почв осуществляется с помощью совершенно конкретных инженерных приемов или способов осушения.

Способ осушения — конкретный инженерный прием, применяемый для реализации принципа осушения, обусловленного причинами заболачивания почв. Способ осушения может быть реализован в условиях функционирования осушительной системы.

9.6. ОСУШИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

9.6.1. КОНСТРУКЦИЯ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Осушительная система является комплексом сооружений, необходимых для удаления избыточной гравитационной влаги из горизонтов почвенного профиля. Обычно осушительная система состоит из следующих (рис. 95) составных частей (элементов): 1) осу-

шаемой территории, 2) ограждающей сети, 3) регулирующей сети осушителей или дренажа, 4) проводящей коллекторной сети, 5) магистрального канала (рис. 2.16, 2.17), 6) водоприемника, 7) сооружений на осушительной сети.

Применение всех или отдельных элементов ограждающей сети обусловлено причинами заболачивания почв осушаемого объекта. К элементам ограждающей сети относятся дамбы обвалования (защитные валы), нагорные и ловчие каналы. Дамбы обвалования защищают территорию от поступления на осушаемый массив, главным образом в поймах рек, намывных русловых вод. Они необходимы в поймах и дельтах рек для защиты территории от поступления полых вод в период весенних или летне-осенних паводков (или только летне-осенних).

Нагорные каналы перехватывают поверхностные намывные склоновые воды, поступающие на осушаемый массив с окружающего водосбора. Это преимущественно неглубокие каналы с распластанным откосом, обращенным к внешнему водосбору.

Ловчие каналы служат для перехвата или понижения аллохтонных, грунтовых подземных вод, поступающих на осушаемую площадь со стороны водосбора. Ловчие каналы обычно глубокие. Их устраивают по наиболее низким отметкам поверхности (например, в притеррасной части пойменной террасы у коренного берега).

Регулирующая сеть осушителей, или дренаж, (от англ. *to drain* — отвести, слить). Эту функцию на осушительной системе выполняют открытые (каналы, ложбины) или закрытые (пластмассовые, гончарные и др.) осушители, или дрены. Таким образом, дренаж может быть открытым или закрытым.

Закрытые материальные дрены изготавливают из различных материалов — керамики, пластмассы, дерева и др. Земляная дрена создаётся на месте в горизонтах поч-

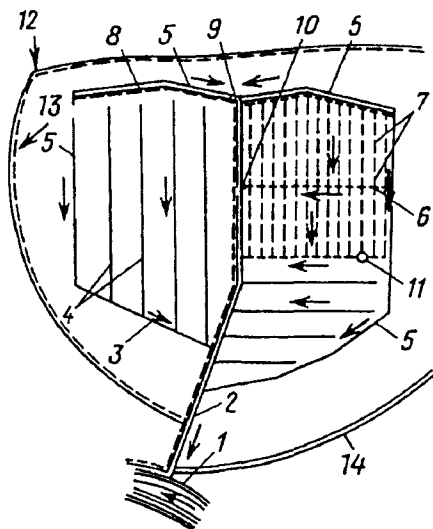


Рис 95 Элементы осушительной системы

1 — река-водоприемник, 2 — магистральный канал, 3 — открытый коллектор, 4 — открытые осушители, 5 — ловчий канал, 6 — закрытый коллектор, 7 — дрены, 8 — почтовая дорога, 9 — труба-пересзд, 10 — устьевое сооружение, 11 — смотровой колодец, 12 — нагорный канал, 13 — ловчий канал, 14 — дамба обвалования

венного профиля с помощью специальных кротдренажных машин. Регулирующая сеть осушителей трансформирует гравитационную почвенную влагу в дренажный сток и транспортирует этот сток в проводящую открытую или закрытую коллекторную сеть.

Проводящая коллекторная сеть собирает воду из регулирующей сети осушителей и транспортирует ее в магистральный канал. Эта сеть играет в основном водопроводную роль. Она представлена открытыми каналами или материальными закрытыми трубопроводами из пластмассовых, керамических и иных материалов (рис. 96).

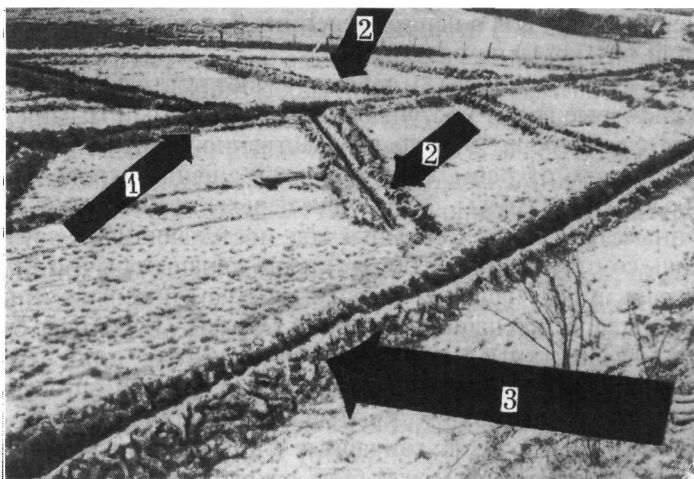


Рис. 96. Фрагмент осушительной системы. Коллектор-собира-тель (1), регулирующая сеть закрытых дрен-осушителей (2) и ловчая дрена (3), принимающая и отводящая грунтовый поток со склона (Р. Эгельсманн, 1984)

Осушители впадают в коллекторы второго порядка. Из этих коллекторов вода перетекает в коллекторы (сборители) первого порядка и наконец поступает в магистральный канал осушительной системы. Проводящая сеть закладывается с уклоном $0,008-0,015$. Минимальные уклоны коллекторов — $0,002-0,003$. Функцию коллекторной (проводящей) сети не следует определять, однако, однозначно только как водопроводящую. Коллекторы действуют только как водопроводы главным образом в условиях заболачивания почв намывными склоновыми или атмосферными, т.е. поверхностными, водами, когда почвы формируются на плотных тяжелых почвообразующих породах с низкой водопроницаемостью. Однако при грунтовом заболачивании на породах и почвах с высокой фильтрацией коллекторная транспортирующая сеть оказывает интенсивное осушающее (дренирующее) действие, которое

особенно отчетливо проявляется в поймах при близком залегании к поверхности рыхлого аллювия, а также на водораздельных низменностях, образованных мощной толщей моренных и флювиогляциальных песков (например, в Окско-Мещерском, Деснинском и других полесьях европейской части страны).

Магистральный канал принимает воду из коллекторной сети и транспортирует ее в водоприемник. Если функции магистрального канала выполняет закрытый трубопровод, то он называется магистральным коллектором. Такой коллектор изготавливают из труб большого диаметра (рис. 2.19).

Водоприемником называют водоем или водоток, в который поступают воды дренажного и поверхностного стоков из магистрального канала или из магистрального коллектора. Водоприемником могут служить река, озеро, естественный тальвег или иные водотоки. В водоприемнике должен быть сохранен или обеспечен режим, исключающий застой водных масс и ухудшение качества воды в результате сброса дренажных вод.

Сооружениями на осушительной системе являются устья коллекторов (рис. 2.22), смотровые колодцы и колодцы-поглотители, или шлюкеры (рис. 97, 2.20), шлюзы-регуляторы, насосные станции, переходы и переезды, подпорные и другие

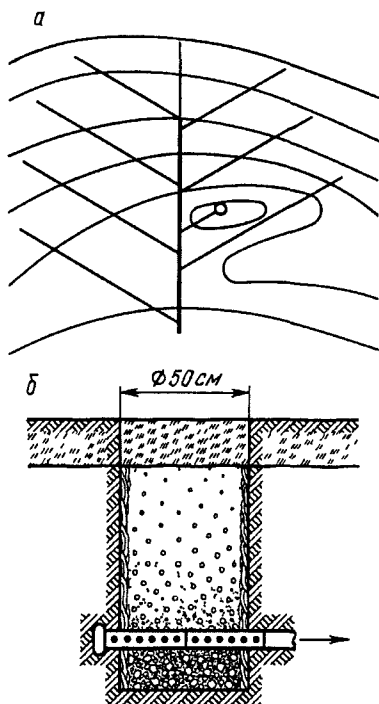


Рис 97 Отвод воды из западин колодцем-поглотителем (шлюкером) Положение шлюкера в плане (а), шлюкер в разрезе (б)

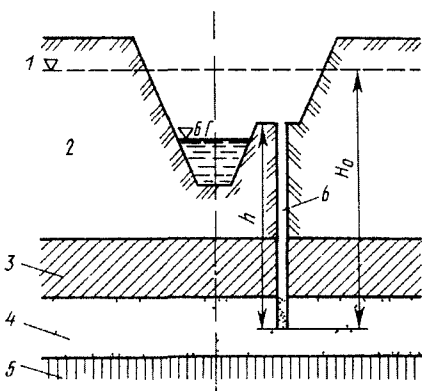


Рис 98 Разгрузочная скважина в канале при заболачивании почв напорными водами

1 — пьезометрический уровень напорных вод (H_0), 2 — первый водоносный горизонт, 3 — водоупор, 4 — второй водоносный напорный горизонт, 5 — водоупор, 6 — разгрузочная скважина (h)

сооружения (рис. 2.27), разгрузочные скважины в каналах при заболачивании почв напорными водами (рис. 98, 2.21).

В зависимости от конкретных условий для мелиорации заболоченных почв могут использоваться различные виды осушительных систем, обычно обладающие всеми или частью перечисленных выше составных частей.

9.6.2. ВИДЫ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Осушительные системы существенно различаются по своим принципиальным конструктивным особенностям. Эти отличия определяются гидрологическими условиями и характером водоприемника, генезисом и составом почв, почвообразующих пород, причинами заболачивания и другими факторами.

По принципиальным конструктивным особенностям и характеру поступления воды в водоприемник осушительные системы делят на системы самотечные и польдерные.

Самотечные осушительные системы позволяют отводить с дренируемой территории избыточную влагу только под влиянием гравитационных сил, самотеком. Движение воды осуществляется за счет уклона дренажных и коллекторных линий в магистральный канал и затем в водоприемник.

Польдерные осушительные системы, приуроченные к морским побережьям, крупным дельтам или к поймам, обычно строят в таких условиях, когда уровень воды в водоприемнике находится выше или на гипсометрической отметке осушаемого массива. Поэтому вода осушительной системы не может самотеком быть сброшена в водоприемник. С этой целью вся осушаемая территория обваловывается, на дамбе строят насосную станцию, которая перекачивает воду в задамбовую зону в водоприемник из подводящего магистрального канала. Польдерные системы могут быть незатапливаемыми (зимние польдеры) или затапливаемыми (летние польдеры). Различают польдеры морские (рис. 99) и речные, в зависимости от их приуроченности к поймам и дельтам или к морскому побережью. Польдерные системы, обеспечивающие двустороннюю перекачку воды (из подводящего магистрального канала в водоприемник и из водоприемника в сухой период в проводящую сеть осушительной системы на территорию польдера) позволяют эффективно осуществлять двустороннее регулирование водного режима. Поэтому на территории польдера создаются благоприятные условия регулирования шлюзования и сублиригации, а также для организации дождевания на осушаемых почвах. Польдерные системы в определенных условиях являются более экологичными, чем самотечные. Они исключают необходимость регулирования водоприемника (реки), его спрямления и углубления русла и, как следствие, общего понижения базиса эрозии и уровней грунтовых вод всего мелиорируемого ландшафта (рис. 2.25, 2.26).

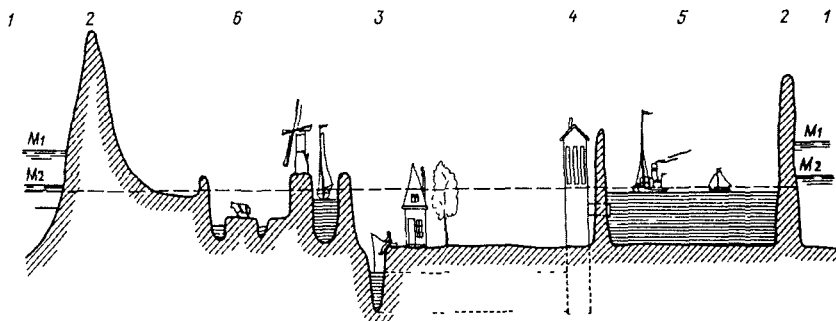


Рис. 99. Морской пolder (разрез территории пoldera Зайдерзее, Голландия): 1 — уровни моря (M_1 , M_2 — прилив, отлив); 2 — дамба; 3 — подводящий магистральный канал, 4 — насосная станция, 5 — судоходный шлюз, 6 — осушительные каналы различного порядка

По отношению регулирующей сети осушителей к уклону поверхности осушительные системы делят на продольные и поперечные. При продольном расположении регулирующая сеть осушителей укладывается нормально к горизонталям; при поперечном — вдоль горизонталей или под небольшим углом к ним поперек склона (рис. 100). Выбор схемы укладки регулирующей сети осушителей определяется главным образом причинами заболачивания почв. Поперечная укладка осушителей необходима всегда при заболачивании почв поверхностными водами намывными склоновыми). При заболачивании почв грунтовыми водами может быть использована как поперечная, так и продольная схемы.

По расположению регулирующей сети осушителей в плане в зависимости от структуры почвенного покрова применяют систематический или выборочный дренаж. Систематический дренаж (рис. 101) необходим на массивах, образованных только заболоченными и болотными почвами. В этом случае весь осушаемый массив покрывают систематической сетью дрен (каналов).

Выборочный дренаж (рис. 102) применяют при сложной структуре почвенного покрова, в состав которого входят как автоморф-

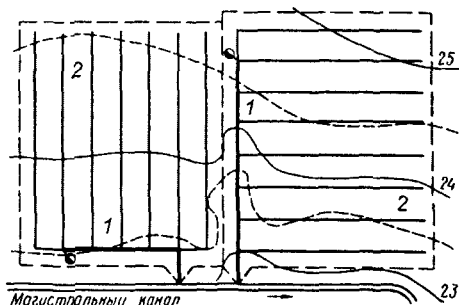


Рис. 100. Продольная (слева) и поперечная (справа) схемы расположения систематического дренажа:

1 — коллектор, 2 — дрены-осушители, 23—25 — горизонтали

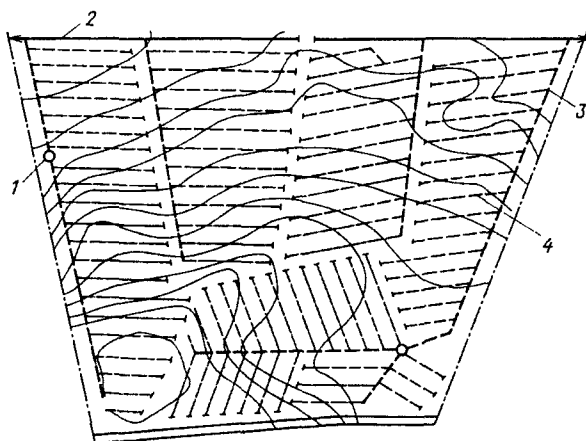


Рис. 101. Систематический дренаж:
1 — смотровой колодец; 2 — канал; 3 — коллектор; 4 — дрена

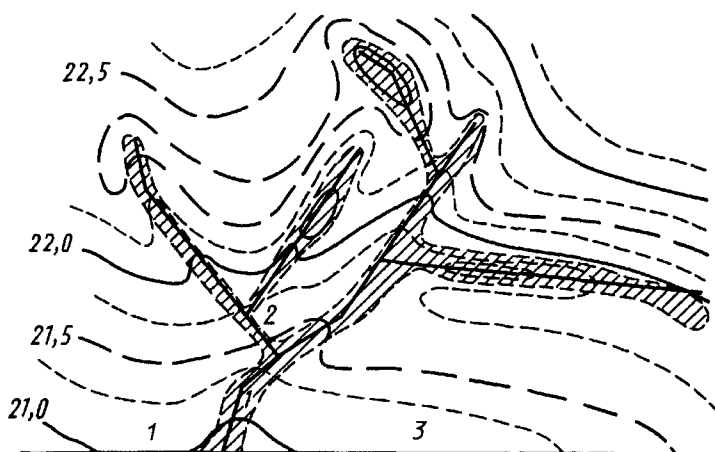


Рис. 102. Выборочный дренаж:
1 — коллектор; 2 — дрены-осушители; 3 — водоприемник; 21–22,5 — горизонтали; заштрихованная площадь — расположение заболоченных почв

ные и гидроморфные незаболоченные почвы, так и заболоченные (например, сочетание дерново-подзолистых неоглеенных и глубокооглеенных почв, не нуждающихся в осушении при любом использовании, и сильнозаболоченных дерново-подзолистых глеевых и торфянисто-глеевых почв, осушение которых необходимо при любом сельскохозяйственном использовании). В этом случае регулирующая сеть осушителей приурочена только к контурам

собственно заболоченных почв, тогда как на территории, образованной незаболоченными почвами, проходит лишь проводящая сеть.

По сочетанию (или отсутствию сочетания) комплекса гидротехнических и агромелиоративных мероприятий по организации поверхностного и внутрипочвенного стока осушительные системы делят на комбинированные и некомбинированные. Комбинированные осушительные системы применяют на почвах с низкими значениями коэффициента фильтрации подпахотного горизонта ($K_{\phi} \leq 0,1-0,3$ м/сут). В этом случае наряду с закрытым дренажем или открытой сетью каналов предусматривают выполнение мероприятий по организации поверхностного и внутрипочвенного стоков — например, узкозагонной пахоты, грядования, гребневания, кротования, глубокого мелиоративного рыхления и т.д. (рис. 103).

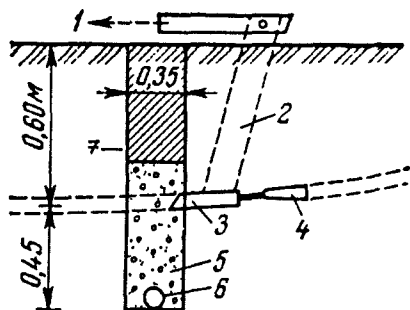


Рис 103. Вариант комбинированного (гончарный и кротовый) дренажа при осушении тяжелых, плохо водопроницаемых почв (Р Эггельсманн, 1984):

1 — направление тяги, 2 — нож дренаера, 3 — крот-дренер сечением 8 см, 4 — уширитель сечением 10 см, 5 — фильтрующий слой в дренажной траншее из гравелистого песка над гончарной трубой, 6 — гончарная труба, 7 — дренажная траншея

Кроме перечисленных следует различать следующие виды осушения.

Кольматаж, основанный на повышении гипсометрических отметок поверхности осушаемой территории. Кольматаж осуществляют путем седиментации на осушаемой поверхности твердого стока, который несут реки многих предгорных районов. Регулируя скорости движения воды по поверхности осушаемых почв уклоном подводящих каналов, можно управлять процессом осаждения минеральных частиц разного размера и гранулометрическим составом новых почв. Такой способ осушения заболоченных почв применяется, например, в Италии в долине р. По. Он был использован при осушении почв Колхиды в долине р. Риони при создании плантации цитрусовых культур. Широкого распространения этот способ осушения не получил.

Рефулирование позволяет существенно ускорить процесс подъема поверхности при осушении заболоченных почв по сравнению с кольматажем. В этом случае транспортировка и отложение минерального материала осуществляются с помощью землесосных

установок. Несортированный материал, например пульпа, получаемая при очистке русла реки землесосными установками, транспортируется по пульпопроводам на поверхность осушаемой территории (рис. 104). Отложенная масса грунта разравнивается затем бульдозерами. В результате на поверхности почвы формируется слой разнозернистого мелкозема, который служит породой для антропогенного создания новых почв. Их гранулометрический состав при этом, очевидно, не регулируется и определяется составом разрабатываемого землесосом грунта. В последние годы предпринимаются попытки сочетания рефулирования и кольматажа. При таком способе удастся быстро поднять отметки поверхности осушаемой территории путем отложения грубого материала с помощью рефулирования и затем создать почвы с необходимым гранулометрическим составом, используя кольматаж.



Рис. 104. Разработка пульпы землесосными снарядами на р. Риони и ее подача на осушаемую территорию для рефулирования

Вакуум-дренаж в настоящее время проходит экспериментальную проверку как способ осушения заболоченных почв тяжелого гранулометрического состава закрытым дренажем, на который накладывается вакуум. Он позволяет увеличить общую водоотдачу и извлекать избыточную влагу из относительно тонких капилляров почвы, которые в обычных условиях остаются заполненными водой. Применение вакуум-дренажа для осушения тяжелых почв позволяет увеличить общий слой и модули дренажного стока.

Биологический дренаж — способ осушения, основанный на применении для осушения почв растений, обладающих высокой транспирационной способностью. Впервые такой способ

был применен в Колхиде в начале 30-х годов. В качестве растения-осушителя был использован эвкалипт. Этот способ, однако, как и вакуум-дренаж, не получил широкого распространения в мелиоративной практике.

Независимо от вида осушительной системы, ее конструкции и составляющих элементов на массиве осушения, как правило, всегда предусматривают в проекте строительство регулирующей сети осушителей. В настоящее время в практике мелиоративного строительства используют весьма разнообразные виды осушителей.

9.6.3. ВИДЫ ДРЕНАЖА (ОСУШИТЕЛЕЙ)

Осушители на мелиоративных осушительных системах имеют различную конструкцию, форму, изготавливаются из разных материалов. Их виды, используемые в настоящее время в производстве, показаны на схеме 6.

9.6.3.1. ОТКРЫТЫЙ ДРЕНАЖ

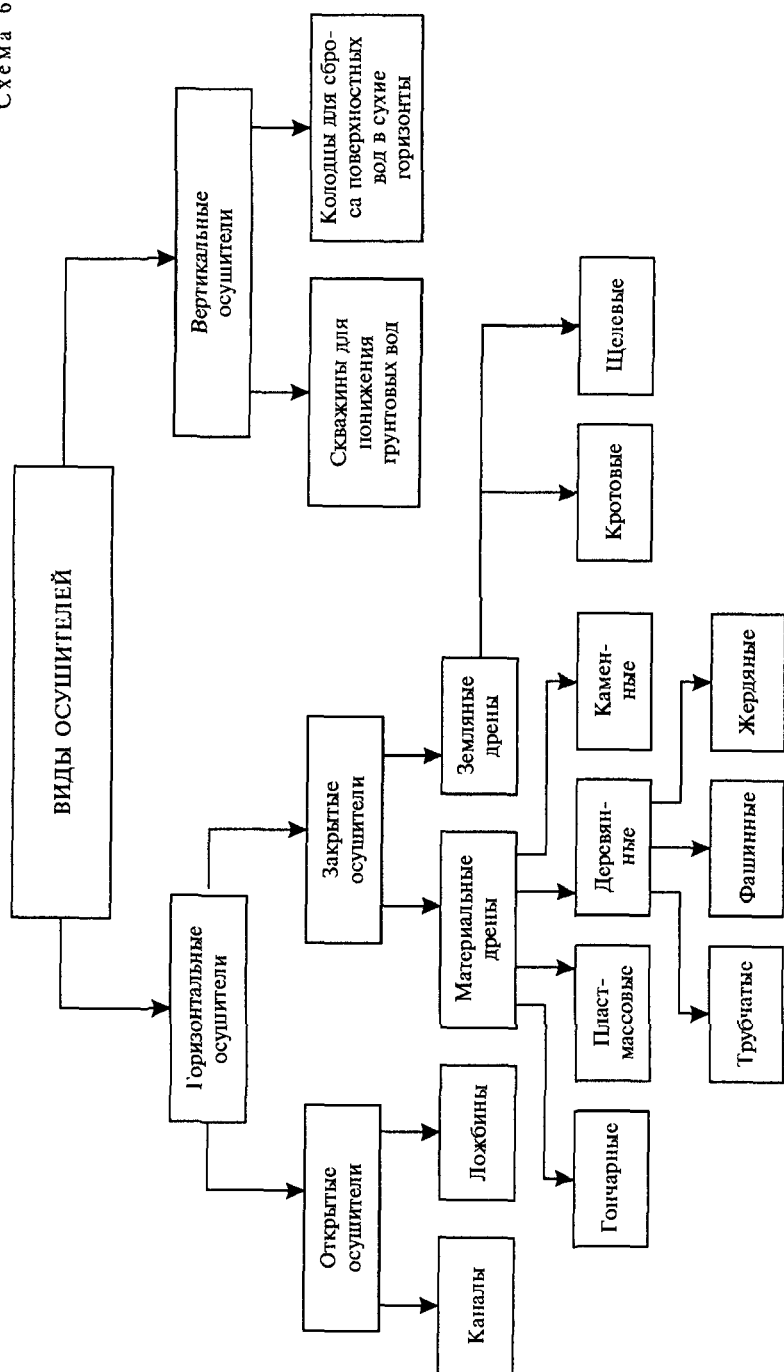
Осушительные каналы на мелиоративных системах устраивают всегда в выемке. Параметры осушительных каналов связаны с хозяйственным использованием осушенных земель. На лугах и пастбищах глубину каналов принимают равной 0,8–1,0 м, на полевых угодьях — 1,0–1,2, в садах — 1,2–1,4 м. Длина каналов составляет 600–1200 м, уклон дна — 0,0005–0,005. Глубина проводящих каналов определяется условиями сопряжения открытых осушителей и коллекторов в вертикальной плоскости. Глубину более крупных каналов определяют по А.Д. Брудастову: глубина выпадающего канала плюс глубина воды в нем в расчетный период.

Ложбины — распластанные каналы глубиной 0,3–0,6 м с коэффициентом откосов 5,6. Ложбины служат для отвода поверхностных вод. Они применяются в условиях поверхностного заболачивания на тяжелых, плоховодопроницаемых почвах. В условиях грунтового заболачивания использование ложбин для создания регулирующей сети осушителей неэффективно.

9.6.3.2. ЗАКРЫТЫЙ ДРЕНАЖ

9.6.3.2.1. МАТЕРИАЛЬНЫЙ ДРЕНАЖ

Гончарный дренаж строят из отдельных коротких керамических труб, укладывая их в одну линию встык одну к другой. Длина одной трубы — 33 см. В сечении трубы круглые или шестигранные (рис. 105). Вода поступает в дренажную линию через стыки между отдельными трубами. Зазор между трубами должен быть равен 1,0–1,5 мм. На внешней стороне гончарной дрены часто устраивают желоба, ускоряющие проток воды к стыку дренажных



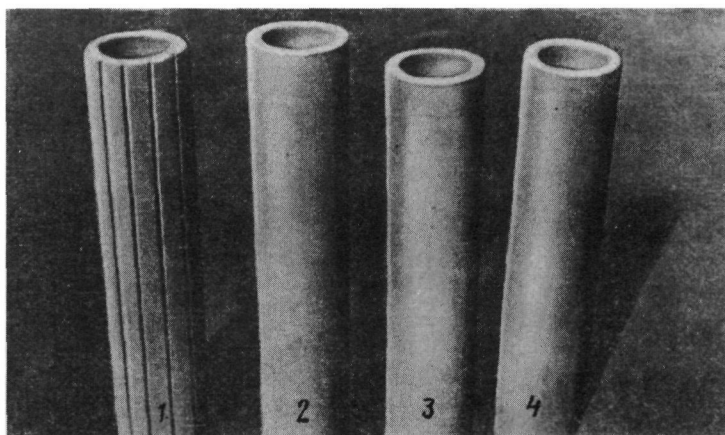


Рис. 105. Гончарные керамические дренажные круглые трубы:
1 — гофрированные; 2, 3, 4 — гладкие

труб. Промышленность изготавливает гончарные трубы с внутренним диаметром 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20 см и более. Трубы диаметром 5 и 7,5 см, как правило, используют для строительства закрытых дрен-осушителей. Трубы большого диаметра применяют для закрытых коллекторов различного порядка (рис. 2.14, 2.15).

Длина дренажных линий обычно равна 150–200 м; им придает-ся уклон, равный 0,002–0,004, иногда больше, но не свыше 0,01. Для защиты от заилиения стыки покрывают стеклотканью, мхом, синтетическими неткаными материалами и др. Скорость движения воды в дрене не должна быть заиливающей и размывающей, т.е. она может изменяться в интервале от 0,25 до 1 м/с. При больших скоростях возможен размыв почвогрунта в стыках дрен.

Строительство горизонтального трубчатого дренажа производят с помощью дреноукладчиков. Эти машины делятся на траншейные, узкотраншейные и бестраншейные дреноукладчики.

Для устройства дренажа траншейным или узкотраншейным способом применяют траншеекопатели с активными рабочими органами. Бестраншейные дреноукладчики имеют долотообразный нож-щелерез. Эти машины используют только для строительства бестраншейного пластмассового дренажа.

В России наиболее широкое распространение получили траншейные и в меньшей мере узкотраншейные машины. Они способны создавать прямоугольные траншеи шириной соответственно 50 и 30 (25) см. Наиболее распространенным является траншейный экскаватор-дреноукладчик ЭТЦ-202. С его помощью (рис. 106) создают дренажную траншею глубиной до 1,4 (обычно 0,8–1,2) и шириной 0,5 м, на дно которой укладывают дренажные трубы. Таким образом формируются дренажные линии. В последние годы в

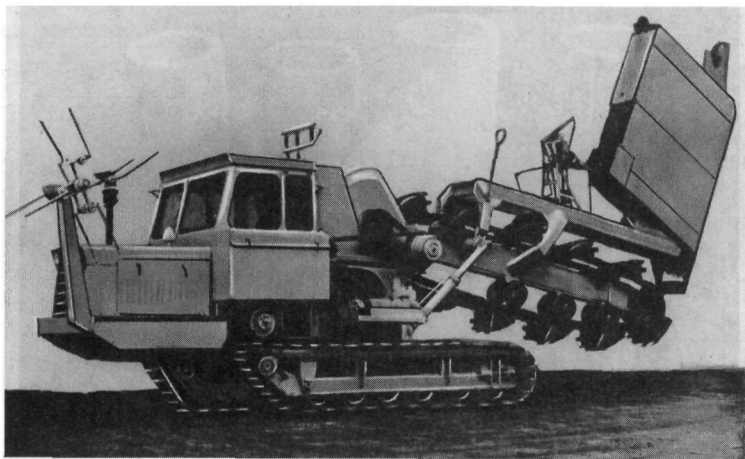


Рис. 106. Траншейный экскаватор-дреноукладчик ЭТЦ-202

практику дренажного строительства внедрены узкотраншейные дреноукладочные экскаваторы фрезерного типа. Они способны формировать траншею шириной 25–30 см, что резко снижает объем земляных работ и экономит расход материалов на устройство траншейных фильтров. Фрезерные многоковшовые экскаваторы (широко- и узкотраншейные) могут использоваться и для укладки непрерывных пластмассовых труб.

В каменистых (особенно в сильнокаменистых) почвах (содержащих камней в метровой толще более 1% от объема) дренажные траншеи создают с помощью одноковшовых экскаваторов. Стыки труб независимо от вида дрен защищают от заиливания мхом, стеклотканью и другими хорошо фильтрующими материалами. В минеральных неплывунных почвах гончарный дренаж укладывают непосредственно на суглинистое и глинистое дно траншеи. В плывунных почвогрунтах и на торфяных болотах территорию предварительно осушают сетью открытых каналов. Только после осадки и стабилизации почвогрунтовой толщи по прошествии ряда лет после предварительного осушения сетью открытых каналов или ложбин приступают к строительству закрытого гончарного дренажа. В таких почвогрунтах линии гончарных дрен укладывают на стеллажах, т.е. досках, фиксирующих его планово-высотное положение. На рис. 107 показано сопряжение гончарной дрены с трубой коллектора (соединение внахлест).

Закрытый гончарный дренаж в настоящее время получил широкое применение в практике мелиоративного строительства, решая задачу эффективного осушения заболоченных и болотных почв на многих миллионах гектаров сельскохозяйственных земель. Массовое строительство осушительных систем с применением за-

крытого гончарного дренажа в России началось в 60-х годах XX столетия. Применение закрытого гончарного дренажа повышает КЗИ, снижает затраты на эксплуатацию, улучшает условия взаимодействия значительных масс воды с почвой, ведение сельскохозяйственных работ, усиливает рост и развитие культур. Однако недостатки: во-первых, строительство ручного труда, усиливает извлечение почвы после завершения строительства (рис. 2.30).

Рис. 107. Сопряжение керамической дрены (1) с коллектором (2) внахлест; глиняный замок (3)

Инициатором создания дренажа из пластмассовых труб был немецкий почвовед-мелиоратор Х. Янерт. Вскоре после Второй мировой войны им было предложено устройство, которое производило под землей сшивание пластмассовой ленты в трубу с помощью шва и замка по типу «молнии». Таким образом формировалась пластмассовая дренажная труба диаметром 4 см. Вода поступала в трубу снизу через шов. Позднее была разработана технология изготовления дренажных пластмассовых труб с гладкой, а затем с гофрированной поверхностью. В странах Западной Европы строительство закрытых осушительных систем с использованием пластмассовых дренажных труб в настоящее время осуществляется на 95% осушаемой территории с равнинным рельефом.

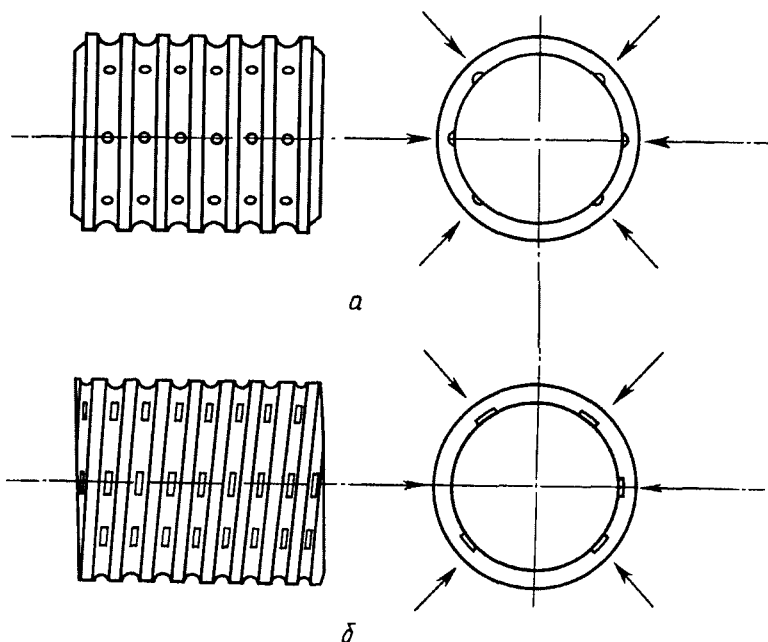


Рис. 108 Пластмассовые дренажи. Гофрированные пластмассовые дренажные трубы:

a — труба с кольцевыми замкнутыми гофрами и круглыми отверстиями во впадинах; *б* — с винтовыми гофрами и щелями во впадинах

Наиболее распространенным является бестраншейный способ укладки пластмассовых труб. Дреноукладчик (МД-4, МД-12 и др.; рис. 109), смонтированный на тракторе Т-130, с помощью ножа формирует щель необходимой глубины (обычно 100–130 см) и ширины (8–20 см), в которую вводится подключенная к гончарному коллектору пластмассовая перфорированная труба (дрена). При устройстве щели почвогрунтовая масса расклинивается ножом рабочего органа дреноукладчика. При этом не происходит перемещения или смещения горизонтов почвенного профиля (рис. 2.32–2.34). В некоторых случаях пластмассовый дренаж могут укладывать в траншеи, используя для их строительства многоковшовые фрезерные или одноковшовые (в каменистых почвах) экскаваторы.

Защиту отверстий (перфораций) пластмассовых труб производят с помощью фильтров из стеклоткани. В последнее время применяют новые, более прогрессивные способы защиты пластмассовых труб от заиливания с помощью объемных дренажных фильтров. Объемные дренажные фильтры (рис. 110) изготавливают из отходов текстильного производства, соломы злаковых (главным образом из ржаной соломы), волокнистого торфа, волокон кокосового ореха и других материалов. Объемные

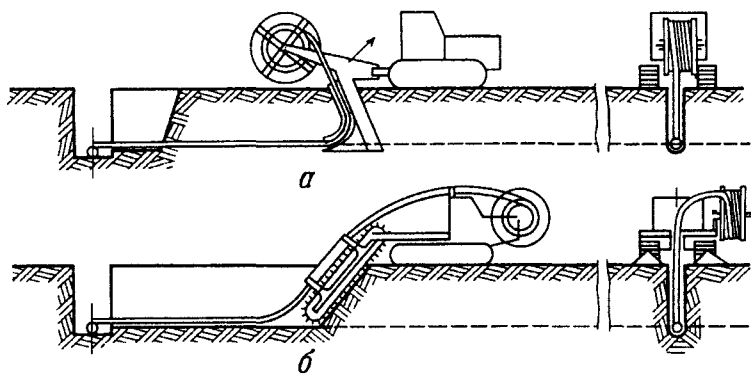


Рис. 109. Схема технологии укладки пластмассовых дренажных труб при строительстве закрытой сети:

а — бестраншейным способом; б — узкотраншейным способом

фильтры не только защищают пластмассовую дренажную трубу от заиливания, но улучшают и усиливают приточность воды. Фильтры из органических материалов (например, из ржаной соломы) перспективны еще и потому, что они длительно не снижают своей водопроницаемости в условиях интенсивного заиливания (кольматации) благодаря способности к авторегенерации, к восстановлению пористости в результате постепенного разложения материала фильтра.

Несомненным преимуществом закрытого бестраншейного пластмассового дренажа является, во-первых, высокая производительность труда при его строительстве (в 2–5 раз выше, чем при строительстве гончарного дренажа); во-вторых, непрерывность укладки, исключающая возможные дефекты строительства, связанные со смещением отдельных звеньев дренажных линий, и практически полное устранение ручного труда; в-третьих, минимальное нарушение строения почвенного профиля, выполнение мелиоративного строительства без выноса на поверхность неплодородных горизонтов почв и почвообразующих пород (рис. 2.31). Поэтому по сравнению с другими видами бестраншейный пластмассовый дренаж является экологически наиболее целесообразным.

Вместе с тем этот вид дренажа обладает и определенными недостатками. Он значительно легче, чем гончарный, деревянный и другие виды закрытого дренажа, подвергается закупорке гидроокисью железа. При его применении в тяжелых почвах особенно актуальна задача обеспечения гидравлической связи пахотного горизонта с дренажной трубой с помощью траншейных фильтров из стабильных, хорошо фильтрующих материалов — щебня, гравия, шлака, керамзита и др. (рис. 2.35). Пластмассовый дренаж пока несколько дороже гончарного.

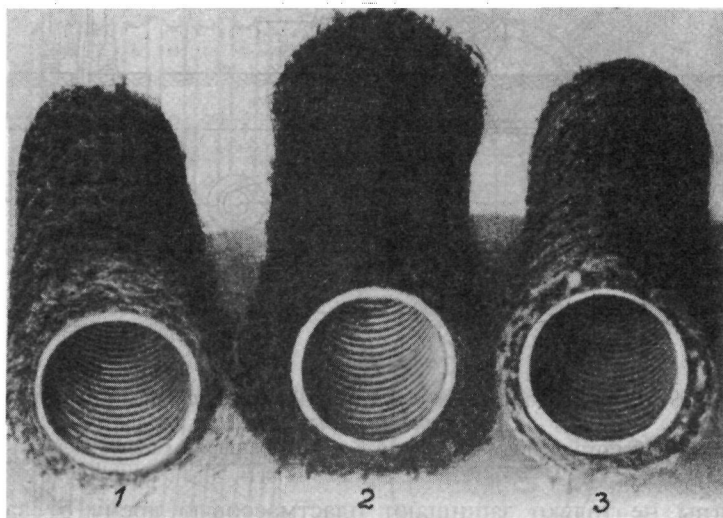


Рис. 110. Объемные дренажные фильтры на пластмассовых трубах (Р. Эггельсманн, 1984). Материалы дренажных фильтров:

1 — кокосовое волокно; 2 — полипропиленовое волокно; 3 — торфяное волокно.

Общий вид готовых пластмассовых дрен с объемным фильтром

Гончарный (керамический) и пластмассовый дренажи получили широкое распространение для осушения почв разного генезиса, гранулометрического состава и причин заболачивания. Эти виды дренажа находят применение в различных природных зонах страны. Однако следует отметить, что возможность их использования ограничена территориями, где к началу расчетного периода профиль почвы свободен от мерзлоты или оттаивание мерзлоты происходит сверху и снизу и она исчезает к началу теплого периода. Если, однако, почва прогревается медленно весной, а ее оттаивание наблюдается преимущественно в поверхностных горизонтах, то ранней весной при таянии снега гравитационная вода попадает в дрены, залегающие в мерзлотных горизонтах с большим запасом холода. Там она замерзает. Ледовые пробки (рис. 111) полностью перекрывают дрены. Системы закрытого гончарного дренажа прекращают свою работу в наиболее ответственный период гидрологического цикла. В таких условиях оказываются мелиоративные системы в Западной Сибири (например, в Барабинской низменности), на Северном Урале, а также в других регионах с длительно-сезонно-мерзлотными или постоянно-мерзлотными почвами. Поэтому здесь нередко целесообразно отказаться от применения закрытого гончарного или пластмассового дренажа и использовать для осушения преимущественно каналы или каменный дренаж.

Деревянный дренаж применяют в практике осушения весьма редко, так как его строительство возможно при использовании ручного труда. Тем не менее в определенных случаях (например, при осушении неустойчивых торфяников, дающих значительную осадку; при значительном избытке древесины) при применении деревянного дренажа может быть достигнут необходимый эффект (рис. 112). Используют следующие виды деревянного дренажа: трубчатый, фашинный, жердяной. Древесные материалы перед укладкой пропитывают антисептиками. В торфяных почвах деревянный дренаж сохраняется и работает в течение 40–50 лет, в минеральных — до 15 лет.

Трубчатый деревянный дренаж обычно может быть двух видов.

Во-первых, из досок толщиной 1–2 и шириной 7–15 см, сколачиваемых в виде трубы прямоугольного или треугольного сечения на всю длину дрены. Доски по длине трубы соединяют вперевязку, таким образом создается стабильная дрена. Вода проникает в трубу через щели между досками. Уклон такой дрены — 0,001–0,05, скорость течения — от 0,2 до 3,5 м/с. Длина дрены — 200–250 м. Деревянная дрена монтируется на поверхности и затем укладывается в траншею. Такие дрены легко заменяются, стабильно действуют при деформации осушаемой торфяной толщи, с успехом работают на мощных торфяных залежах (рис. 2.23). Иногда применяют трубчатый деревянный дренаж треугольного сечения. Во-вторых, трубчатый деревянный дренаж изготавливают из бревен, распиленных пополам. Из каждой половины бревна фрезой удаляют середину, затем накладывают одну половину на другую и скрепляют их проволокой или гвоздями.

Фашинный дренаж изготавливают из свежесрубленного хвороста ивы, ольхи, березы толщиной 2–6 см в комлевой части. Из этого хвороста постепенно наращиванием вяжут на месте на козлах



Рис. 111. Ледовые пробки в гончарных дренах осушительной системы на Убинской опытной станции. Барабинская низменность. Фото И.И. Логинова

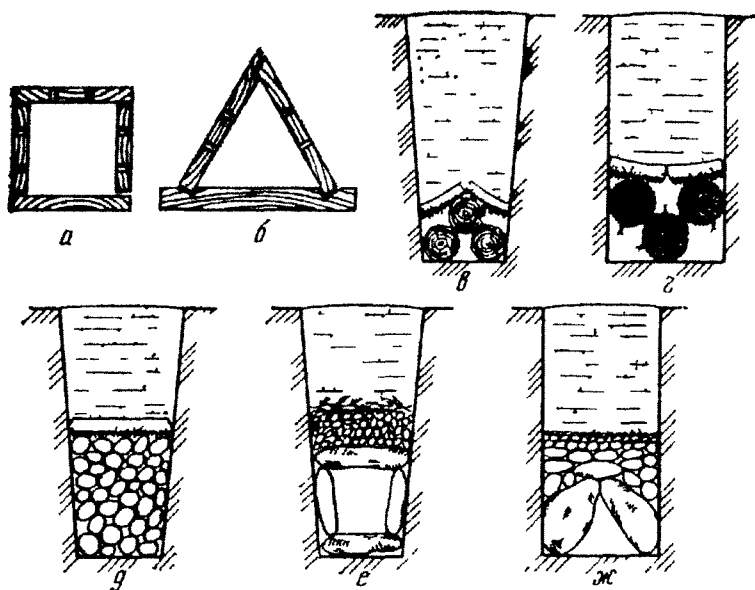


Рис 112 Виды дренажа, выполняемого вручную (Р Эгтельсманн, 1984)
а, б — деревянный трубчатый дренаж, *в* — жердяной дренаж, *г* — фашинный дренаж, *д, е, ж* — каменный дренаж, *з* — дрены, покрытые дерниной

фашины — длинные хворостяные канаты (100–150 м) диаметром 20–30 см, укладываемые по одной или по две-три на козлах или на перекладинах. Фашины не боятся осадки почвы, но быстро заиливаются, работают при уклонах 0,003–0,005, в минеральных почвах служат 12–15, в торфяных 15–20 лет. Устье фашинной дрены обычно впадает в открытый канал и крепится деревянной трубой.

Жердяной дренаж выполняют из жердей (6–8 см) обычно хвойных пород. Жерди связывают в пучки диаметром 25–30 см и укладывают на стеллажи из горбыля с уклоном 0,003–0,008. Сверху жерди также перекрывают горбылем.

Каменный дренаж устраивают на плотных минеральных почвогрунтах, исключающих оседание каменной дрены. Каменная дрена складывается из камня без цементного раствора. Эти дрены мало заиливаются, прочны, не боятся мороза. В последние годы каменный дренаж начали применять при осушении длительно-сезонно-мерзлых почв на европейском севере России.

9.6.3.3. ЗЕМЛЯНОЙ ДРЕНАЖ

9.6.3.3.1. КРОВОЙ ДРЕНАЖ

Кротовым дренажем называют гидротехническое сооружение, образованное длительно действующими кротовыми (земля-

ными) дренами, которые служат для удаления избыточной гравитационной влаги за пределы осушаемой территории. Кротовые дрены имеют диаметр 5–10 см в минеральных и 10–20 см в торфяных почвах. Кротовым дренам придается необходимый уклон (0,003–0,005) для самотечного сброса гравитационной влаги в материальную дренаю (в случае комбинированного дренажа) или в коллектор. Кротовый дренаж устраивают в таких минеральных (суглинистых и глинистых) или торфяных почвах, где их эффективное действие сохраняется на протяжении 3–4 лет и более (о сроках действия кротовых дренах см. раздел 9.7.6).

Кротовый дренаж — один из наиболее старых способов осушения почв закрытым дренажем. Первый патент на кротовый плуг был выдан в Англии в 1797 г. Кротовый дренаж — экономичный способ осушения заболоченных и болотных почв (рис. 2.24). Однако целесообразность его применения строго ограничена почвенно-генетическими условиями массива осушения. В сочетании с закрытым гончарным дренажем или как самостоятельный способ осушения кротовый дренаж нашел широкое распространение в Англии, где он с успехом применяется уже около двухсот лет (Nicolson, 1934), а также в мелиоративной практике других стран. В России была показана высокая эффективность кротового дренажа не только в осушении, но и в борьбе с засолением, анаэробизмом и другими неблагоприятными явлениями.

Однако сведения о целесообразности устройства и устойчивости кротовых дренах разноречивы. Т. Купер (Cooper, 1953) отмечает, что раскопками была установлена сохранность кротовых дренах, заложенных для осушения заболоченных глинистых почв (Англия), после их непрерывного действия в течение 84 лет. М. Никольсон на основании массового опроса фермеров района Оксфорда приходит к заключению, что наиболее часто такие дрены служат 5–10 лет. На длительную устойчивость кротовых дренах в минеральных почвах и высокую экономичность этого вида дренажа в Швейцарии указывает Е. Рамзер (Ramser, 1962).

Широкие полевые исследования, предпринятые в 30-х годах под руководством А.Н. Костякова, показали, что кротовые дрены далеко не во всех почвах достаточно долговечны. Нередко наблюдалось их запыливание сразу же после выпадения осадков, а в ряде случаев при близком или аналогичном гранулометрическом составе дрены длительное время сохранялись.

М. Никольсон полагал, что кротовые дрены наиболее стабильны в почвах с устойчивой структурой. Это подтвердили работы в России (Зайдельман, 1960), Франции (Хенин и др., 1960) и в других странах.

Для устройства кротового дренажа используют навесные рабочие органы, которые монтируют на тракторе. Как правило, устрой-

ство кротовой дрены сопровождается расклиниванием почвы крот-дренером. В этом случае возможны остаточные деформации, которые неблагоприятно сказываются на работе и на сохранности земляных дрен. Они особенно опасны на торфяных почвах. В этой связи следует отметить два принципиально новых типа крот-дренера, предложенных в Германии А. Шольцем (Scholz, 1967) и Мекингом в начале 60-х годов (цит. по Eggelsmann, Baden, 1963). А. Шольц в качестве дренера рекомендует использовать острое кольцо, которое вырезает по линии кротовой дрены торфяной цилиндр. Следующий за кольцом пресс вдавливают этот цилиндр в дно дрены. Таким образом, основной периметр кротовой дрены не подвергается деформации и уплотнению. Автор установил, что такие дрены работают в торфяных почвах более эффективно и более длительно, чем дрены, образованные расклиниванием.

Дренажная фреза Мекинга формирует дрена на глубине 0,8–1,6 м. Она вырезает в органогенной почве прямоугольные дрены высотой 20 м и шириной 15 см. Фреза навешивается на гусеничный трактор с давлением на почву менее $0,1 \text{ кг/см}^2$. Таким образом, использование фрезы Мекинга исключает возможность уплотнения пористой торфяной почвы при строительстве.

9.6.3.3.2. ЩЕЛЕВОЙ ДРЕНАЖ

Щелевой дренаж используют для осушения торфяных почв. С этой целью применяют дренажно-винтовые, щелерезные и щелерезные диско-фрезерные машины (рис. 113). Дисковая фреза машины вырезает в слое торфа дрена треугольной формы глубиной до 0,9, шириной по дну 16 и сверху 4 см. Длина щелевых дрен до 200–300, междренные расстояния 10–15 м. Удлиненная треугольная форма щели (рис. 114) при работе дисковой щелерезной машины возникает в результате значительной вибрации периферической части дисковой пилы (амплитуда колебаний около 14–16 см). Дисковые щелерезные машины особенно эффективны при строительстве щелевого дренажа в торфах, обогащенных погребенной древесиной (рис. 2.42).

Обычно щелевая дрена работает 4–6 лет, затем их нарезка производится повторно. Существенным недостатком щелевых дрен, нарезаемых дренажно-дисковой машиной, является, однако, быстрое разрушение их верхней части, а также попадание обильной торфяной крошки в полости щелей.

Этот недостаток удалось преодолеть после того, как была принципиально изменена технология нарезки щелей. С этой целью А.Т. Рыжаковым, С.П. Войтюк и др. (1985) для создания щелевого дренажа был предложен иной стационарный рабочий орган. Он позволял не только вырезать в толще торфа прямоугольную удлиненную щель, но и одновременно перекрывать ее сверху слоем монолитного торфа мощностью 40–60 см (рис. 2.41). При этом масса торфа, ранее заполнявшая объем щели, извлекалась на поверх-

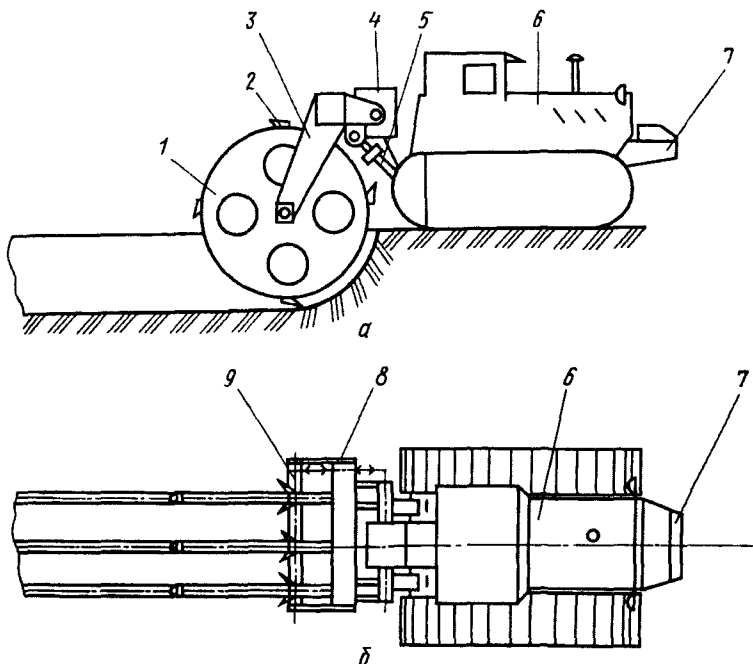


Рис. 113. Щелерезная дискофрезерная машина:
а, б — вид сбоку и сверху; *1* — диски; *2* — резцедержатели с резцами;
3 — рама; *4* — редуктор; *5* — гидроцилиндры; *6* — трактор; *7* — про-
 тивовес; *8* — привод; *9* — лыжа

ность почв. Это существенно сокращало остаточные деформации стенок щели.

Перекрытие щели слоем монолитного торфа исключает поступление торфяной крошки при обработке в полость щели, ее засорение и выход из строя. Технология такого строительства щелевого дренажа показана на рис. 115. Щелевой дренаж в этом случае закладывают на глубину 1,2 м с межщелевыми расстояниями 8–10 м. Ширина щелевой дрены — 0,16 м.

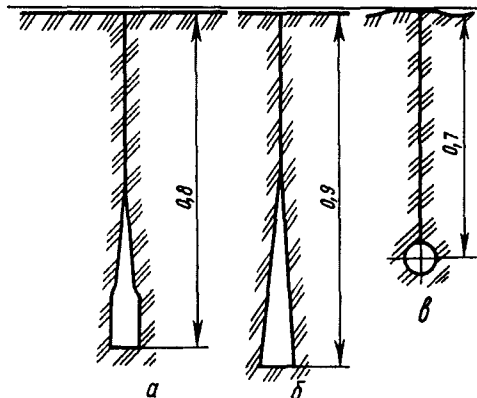


Рис. 114. Земляные дрены:
а — щелевая дрена, образованная дренажно-винтовой щелерезной машиной; *б* — щелевая дрена, образованная щелерезной дискофрезерной машиной; *в* — кро-
 товая дрена

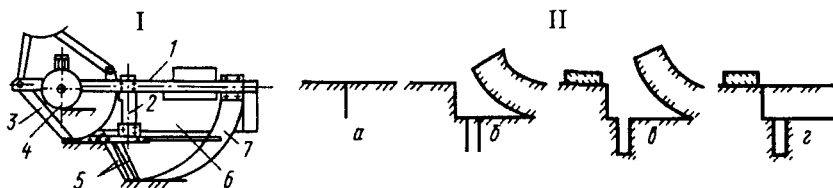


Рис. 115. Щеледренажная машина ДальНИИГиМ ЩМН-1,2 и кинограмма образования щелевой дрены (С.П. Войтюк, В.П. Меновщиков и А.Т. Рыжаков, 1985).

I. Устройство рабочего органа щеледренажной машины: 1 — рама; 2 — корпус кустарниково-болотного плуга с укороченным отвалом; 3 — черенковый нож; 4 — опорное колесо; 5 — ножи, расположенные в вертикальной плоскости; 6 — щит; 7 — подъемный нож. II. Кинограмма образования щелевой дрены: а — проход черенкового ножа; б — проход лемеха и вертикальных ножей; в — проход подъемного ножа; г — проход щеледренажной машины

Щелевой дренаж, образованный стационарной машиной такой конструкции, обладает несомненными преимуществами при эксплуатации. Однако рассмотренная технология не находит применения при строительстве осушительных систем на торфяных почвах со слаборазложившейся погребенной древесиной. В этих условиях щелерезные дискофрезерные машины предпочтительнее стационарных.

9.7. ВРЕМЯ, НОРМА, ГЛУБИНА ОСУШЕНИЯ И МЕЖДРЕННЫЕ РАСТОЯНИЯ

При проектировании и расчете дренажа важное значение приобретают сведения о времени и нормах осушения. Эти характеристики необходимы для расчета основных параметров дренажа — глубины заложения и установления междренних расстояний.

9.7.1. ВРЕМЯ ОСУШЕНИЯ

Срок, за который дренажная система отводит избыточную гравитационную влагу с поверхности почвы и из основной толщи корнеобитаемых горизонтов, называется временем осушения. В практике проектирования осушительных систем приняты следующие нормативы, регламентирующие допустимые сроки затопления почв (табл. 28).

Данные табл. 28 относятся к культурам полевых, овощных севооборотов. Они затопливаются, как правило, водами с невысоким содержанием кислорода.

В поймах, затопливаемых в весенний период полыми водами, обогащенными кислородом, луговые естественные травы обладают более высокой устойчивостью к избыточному увлажнению (табл. 29).

**Допустимые сроки затопления поверхности и пахотного горизонта
осушенных почв при снижении урожая не более 10%, сут**

Культуры	Поверхность почвы	Пахотный слой мощностью 0,3 м
Зерновые	0,5	1–2
Овощные	0,8	1–1,5
Травы	1–1,5	2–3

Таблица 29

**Устойчивость к весеннему затоплению луговых естественных трав
в поймах, (Ф.Б. Эллис, 1955)**

Травы	Срок	Травы	Срок
Донник белый	9–12	Пырей малоцветковый	31–35
Люцерна средняя	10–14	Овсяница луговая	24
Житняк гребневидный	10–17	Тимофеевка луговая	49
Костер безостый	24–28	Канарсечник тростниковый	49

9.7.2. НОРМА ОСУШЕНИЯ

Нормой осушения называют наиболее благоприятное положение уровня грунтовых вод на осушительной системе для роста и развития сельскохозяйственных растений и производства полевых работ. Норма осушения — величина динамичная. Она определяется рядом факторов. Норма осушения обусловлена прежде всего экологическими особенностями возделываемой культуры и динамикой ее развития. Она должна соответствовать способности растения свободно развивать корневую систему на разных фазах вегетации. Норма осушения зависит от свойств почв и должна обеспечивать формирование такой зоны, свободной от избыточного увлажнения, в которой воздухоносная пористость выше слоя капиллярно-замкнутой воды превышает 8–10%. Поэтому при грунтовом заболачивании для создания одного и того же по своей мощности корнеобитаемого слоя уровни грунтовых вод должны быть тем глубже, чем тяжелее гранулометрический состав почвы.

Таким образом, норма осушения определяется свойствами выращиваемой культуры и почвы. Для низинных торфяных почв центральной части Нечерноземной зоны ЕТС рекомендуются следующие нормы осушения (табл. 30).

**Нормы осушения почв низинных болот («Мелиорация»,
энциклопедический словарь, 1984), см**

Культуры	Предпосевной период (средний за апрель)	Оптимальные в вегетационный период (при завершении основного нарастания корневой системы растений)	
		торфяные почвы* ($T < 80$ см)	торфяные почвы ($T > 80$ см)
Луговые травы: клеверно-злаковая травосмесь на сено; культурные пастбища	35–40 50–60	60–70 70–80	80–85 85–95
Зерновые: овес, озимые зерновые, ячмень и яровая пшеница	50 60	70–80 80–90	90–100 100–110
Пропашные и овощные: картофель, сахарная свекла, кукуруза, подсолнечник, огурцы, кормовые корнеплоды, капуста, морковь, табак	60–70	90–100	110–130
Технические: конопля	70	100–110	120–130

* T — мощность органогенных горизонтов торфяных почв.

Следует подчеркнуть, что понятие о норме осушения весьма относительно. Оно справедливо только для почв грунтового заболачивания при близком залегании уровня грунтовых вод. На почвах поверхностного заболачивания при глубоком залегании уровня грунтовых вод в условиях, когда эти воды не принимают участия в формировании водного баланса корнеобитаемого слоя почвы, использование этого понятия утрачивает смысл. В этом случае правильнее рассматривать не нормы осушения, а тот реальный водный режим и режим влажности почв, которые складываются в годы расчетной обеспеченности. Наконец отметим, что нормы осушения для одних и тех же культур могут оказаться различными в разных природных зонах и в разных почвенно-климатических фациях одной и той же зоны.

9.7.3. ГЛУБИНА ОСУШЕНИЯ И МЕЖДРЕННЫЕ РАССТОЯНИЯ

Строительство дренажа (открытого или закрытого) вызывает изменение уклона зеркала грунтовых вод. Между дренами устанавливается депрессионная кривая. Депрессионной кривой называется линия, которая образуется при сечении зеркала грунтовых вод плоскостью нормальной к оси осушителей.

Из рис. 116 следует, что депрессионную кривую можно характеризовать углом α . Этот угол зависит от свойств почвогрунтов. Чем выше их водопроницаемость, тем меньшие величины принимают значения $\operatorname{tg} \alpha$ и тем более пологий характер имеет депрессионная кривая. В песках, супесях, суглинках и глинах максимальные значения $\operatorname{tg} \alpha$ равны соответственно 0,025; 0,05; 0,07 и 0,12.

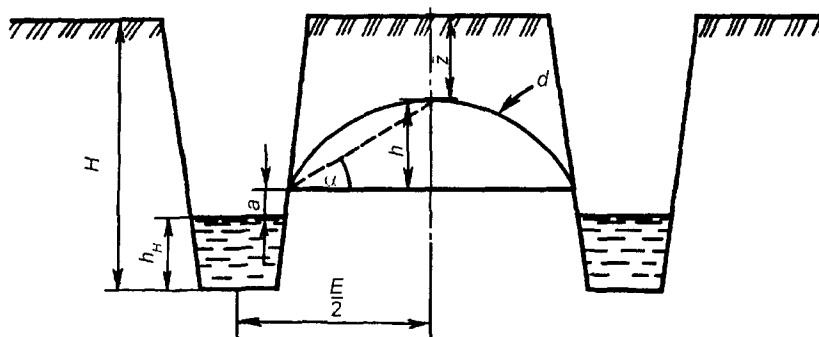


Рис. 116. Влияние осушительного канала на положение грунтовых вод

(А.А. Черкасов и С.А. Владыченский):

d — депрессионная кривая; α — угол депрессионной кривой; h — стрела прогиба депрессионной кривой; z — норма осушения; H — проектная глубина канала; h_H — глубина воды в канале; a — расстояние от поверхности воды в канале до места выхода депрессионной кривой на стенке канала; E — расстояние между каналами

Второй важной характеристикой депрессионной кривой является стрела прогиба. Стрела прогиба h характеризует положение уровня грунтовых вод в середине междренья на высоте выхода депрессионной кривой в канал (дрену). Все эти параметры (Черкасов, 1958) находятся в непосредственной взаимосвязи, которая отвечает следующему равенству:

$$H = h_H + a + h + z + h_{oc},$$

где H — проектная глубина канала; h_H — расчетная глубина воды в канале; a — расстояние от поверхности воды в канале до точки выхода депрессионной кривой на откосе канала; E — расстояние между каналами (дренами); α — угол депрессионной кривой; z — норма осушения; h_{oc} — осадка торфа на расчетный период.

Из рис. 116 видно, что $h = \frac{E}{2} \operatorname{tg} \alpha$, поэтому

$$H = h_H + \alpha + \frac{E}{2} \operatorname{tg} \alpha + z + h_{\text{ос.}}$$

Из этой зависимости следует, что расстояние между каналами (дренами) прямо пропорционально их глубине. Такой же зависимостью связаны глубина канала и норма осушения.

9.7.4. ОСАДКА БОЛОТНЫХ ПОЧВ ПРИ ОСУШЕНИИ

Осушение болот сопровождается осадкой торфа. Торфяные почвы имеют огромную пористость (80–93%). Поры торфа почти полностью заполнены водой, которая является своеобразным каркасом, поддерживающим эти органические почвы в естественном состоянии. Удаление каркаса при осушении вызывает немедленную осадку торфа. При этом происходит консолидация торфяной залежи, уменьшение ее пористости, сокращение числа и размера крупных пор, водопроницаемости, увеличивается содержание сухого вещества в единице объема. Х. Зегеберг (1960) рекомендует определять осадку торфа в результате осушения по формуле $S = a(0,08T + 0,066)$, где S — осадка торфа, м; T — мощность торфа, м; a — фактор плотности слоя торфа, который определяют аналитически по массе сухого вещества в единице объема почвы. Основные параметры этих характеристик для торфяных почв разной плотности приведены в табл. 31.

Таблица 31

Расчет осадки торфа после осушения

Оценка осушения в натуре	Относительная плотность торфа	Масса сухого вещества в ед. объема, %	Фактор, a	Формула расчета осадки торфа по Зегебергу
Не произошло	почти плавающий	< 3	4,0	$S = 0,32T + 0,26$
Очень незначительное	рыхлый	3–5	2,8	$S = 0,22T + 0,18$
Незначительное умеренное	в значитель- ной степени рыхлый	5–7,5	2,0	$S = 0,16T + 0,13$
Умеренное хорошее	в значитель- ной степени плотный	7,5–12	1,4	$S = 0,11T + 0,10$
Интенсивное	плотный	> 12	1,0	$S = 0,08T + 0,07$

Расчеты, выполненные на основе исходных данных, показывают, что при проектировании осушительных систем необходимо учи-

тывать серьезные изменения мощности торфяной залежи, которые оказываются особенно значительными в слое выше дрен (табл. 32). Необходимые поправки при расчете глубины закладки каналов (дрен) оказываются весьма существенными (Эгельсманн, 1984).

Таблица 32

Увеличение глубины закладки дрен или каналов на болотах в зависимости от последующего уплотнения торфяной толщи (Р. Эгельсманн, 1984), %

Относительная плотность слежавшегося торфа	Требуемая глубина дна после осадки, м					
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Плотный	10	12	14	16	18	20
Довольно плотный	15	17	20	23	25	28
Довольно рыхлый	21	26	30	34	38	42
Рыхлый	31	38	45	51	58	65
Почти плавающий	трубчатый дренаж не применяют					

Следует подчеркнуть, что при использовании осушенного торфяника в качестве пахотных угодий в процессе эксплуатации происходит дальнейшее понижение поверхности болота вследствие окисления и биохимического разложения торфа со скоростью 1–2 см/год; в условиях субтропического и тропического климата скорость биохимического разложения торфа составляет 5–12 см/год.

9.7.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖДРЕННЫХ РАССТОЯНИЙ

Из двух важнейших параметров осушительных систем — глубины заложения H и междренних (межканальных) расстояний E — наибольшим изменениям подвержены значения расстояний между осушителями (открытыми и закрытыми). Глубина заложения регулирующих осушителей обычно варьирует в ограниченном интервале (1–1,5 м). Диапазон колебаний междренних расстояний изменяется в широком интервале — от 8 до 12 м (в тяжелых слабо-водопроницаемых почвах) до 20–40 м и более в легких хорошо водопроницаемых почвах. Еще более существенные различия отмечены между величинами, характеризующими расстояние между открытыми каналами. Естественно, эти различия существенным образом влияют на стоимость дренажных систем, сроки окупаемости капиталовложений, а также на эколого-гидрологические особенности осушенных почв. Фильтрация является интегральной характеристикой почв, отражающей их важнейшие физические свойства, знание которой необходимо для оценки междренних расстоя-

ний. Вторым важным физическим критерием является водоотдача почв, выраженная в расчетных формулах в виде коэффициента водоотдачи, модуля дренажного стока или доли осадков, формирующих дренажный сток.

Способы определения междренних расстояний можно разделить на две группы. Первая группа объединяет способы расчета, основанные на оценке водно-физических и гидрологических параметров, вторая — отражает взаимосвязь между физико-механическими свойствами почв (набухаемостью, гранулометрическим составом и др.) и междренними расстояниями. Если расчеты по формулам, основанным на гидромеханическом подходе, являются в основном теоретическими, то способы определения междренних расстояний по физико-механическим параметрам, как правило, имеют эмпирический характер и строятся на корреляции между определенным свойством почвы и междренними расстояниями.

9.7.5.1. УСЛОВИЯ ПРИТОКА ВОДЫ К ОСУШИТЕЛЯМ

В условиях грунтового заболачивания почв, приуроченных к однородным и хорошо проницаемым почвообразующим породам, осушители — каналы и дрены — вовлекают во влагооборот значительные толщи водных масс от поверхности до водоупора. Поступление воды в канал и дрена осуществляется по смоченному периметру со всей глубины водоносного пласта.

При оценке механизма действия открытого дренажа ранее исходили из представления о том, что грунтовые воды поступают в каналы (дрены) только через откосы под действием гравитационных сил. Более поздними исследованиями Н.Е. Жуковского, П. Форхгеймера и других было показано (рис. 117), что поступление воды происходит по всему смоченному периметру канала, т.е. и через дно по линии токов, нормальным к эквипотенциалам — поверхностям равного напора.

Из этого следует, что чем ближе к дневной поверхности залегает водоупор, тем большее сопротивление испытывает

грунтовый поток при поступлении в каналы и дрены. Поэтому для достижения одного и того же эффекта осушения междренние расстояния должны быть тем меньше, чем бли-

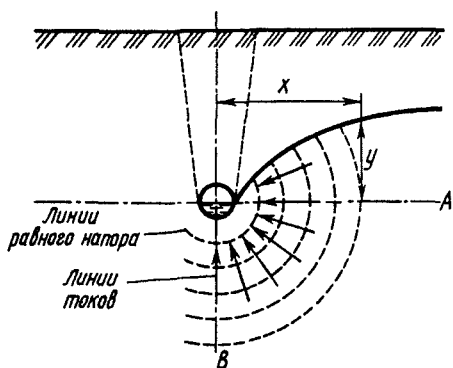
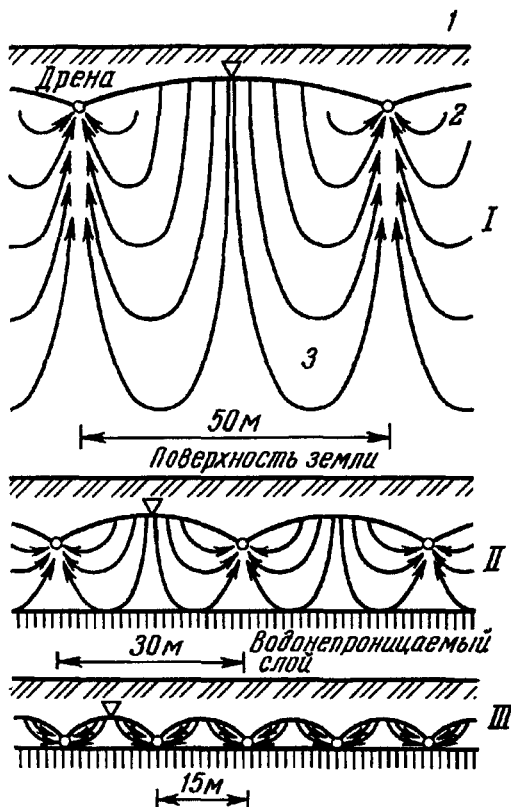


Рис. 117. Линии равного напора (эквипотенциали) и линии токов (А.Н. Костяков, 1951)

же к дневной поверхности залегает водоупор (рис. 118). Последнее обстоятельство получило отражение в ряде формул, предложенных для расчета междренних расстояний. Они основаны главным образом на гидромеханическом подходе к определению этих основных параметров дренажа.

Рис. 118. Влияние глубины залегания водоупорного слоя почвы на расстояние между дренами (Р. Эггельсманн, 1984):

I — водоупорного слоя нет, *II* — водоупорный слой на глубине ниже 1 м от дрен, *III* — водоупорный слой на глубине укладки дрен; 1 — поверхность земли; 2 — зеркало грунтовых вод; 3 — линии тока грунтовых вод к дренам (Р. Эггельсманн, 1984)



9.7.5.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖДРЕННЫХ (МЕЖКАНАЛЬНЫХ) РАССТОЯНИЙ НА ОСНОВЕ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ СПОСОБОВ РАСЧЕТА

В настоящее время известно множество формул расчета междренних расстояний по гидрофизическим свойствам почв. Как правило, все они отражают связь этого параметра с коэффициентами фильтрации и водоотдачи почв. Они обычно имеют следующий вид:

$$E = A \cdot \sqrt{\frac{K_{\Phi}}{K_{\sigma}}},$$

где E — междреннее расстояние; A — цифровой показатель; K_{Φ} и K_{σ} — соответственно коэффициенты фильтрации и водоотдачи. Ниже рассмотрены три широко распространенные формулы, принятые для определения междренних расстояний в разных природных условиях при осушении переувлажненных почв.

Для расчета междренних (межканальных) расстояний в однородных по гранулометрическому составу почвах и породах при

грунтовым заболачиванием используют следующую формулу А.Н. Костякова

$$E = 2 \sqrt{\frac{K_{\phi} \cdot T \cdot h_1 \cdot h_2}{\varphi \cdot \sigma \cdot (h_1 - h_2)}},$$

где E — расстояние между дренами; K_{ϕ} — коэффициент фильтрации, м/сут; h_1 — стрела прогиба депрессионной кривой на момент времени t_1 , м; h_2 — стрела прогиба депрессионной кривой на момент времени t_2 , м; T — время (сут.), прошедшее с момента t_1 до момента t_2 , в течение которого произошло понижение уровня грунтовых вод на величину $h_1 - h_2$; φ — коэффициент, характеризующий форму депрессионной кривой. Коэффициент водоотдачи

$$\sigma = \frac{\varepsilon - D}{100},$$

где ε — общая пористость; D — динамическая (капиллярная) влагоемкость, %.

Формула А.Н. Костякова предложена для определения E в условиях неустановившегося положения депрессионной кривой, в легких почвогрунтах с заболачиванием грунтовыми водами.

Для расчета междренних расстояний в условиях поверхностного заболачивания в случае залегания дрен на водоупоре применяют формулу Я. Ротэ. Формула выведена из условий стабильного положения кривой депрессии; залегания дрен на водоупоре (совершенный дренаж); полной сработки гравитационной воды над дренажной (рис. 119):

$$E = 2h \sqrt{\frac{K_{\phi}}{q}},$$

где E — междреннее расстояние, м; h — напор над дренажной (или стрела прогиба), м; K_{ϕ} — коэффициент фильтрации, м/с; q — удельный расход воды, т.е. объем стока с 1 м² поверхности в 1 с. Поскольку $h = H - z$, где H — глубина дрены; z — норма осушения (м), формулу Ротэ можно записать так:

$$E = 2(H - z) \sqrt{\frac{K_{\phi}}{q}}.$$

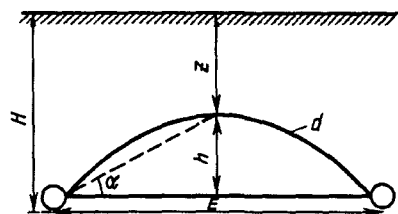


Рис. 119. Расчетная схема определения междренного расстояния по формуле Ротэ:

E — междреннее расстояние; H — глубина дрены; z — норма осушения; h — стрела прогиба; d — депрессионная кривая и ее угол α

Формула может быть использована для расчета междренних (межканальных) расстояний в легких почвах с близким залеганием водоупора (например, при подстилании флювио-

гляциальных песков и супесей тяжелыми моренными, покровными, ленточными породами).

Формула С.Б. Хугхаудта позволяет рассчитывать междренные расстояния для следующих случаев: 1) при залегании дрен непосредственно на водоупоре или чуть выше этого слоя; 2) при нахождении водоупора на значительной глубине (более $1/4$ расстояния между дренами); 3) при залегании водонепроницаемого слоя на расстоянии менее $1/4$ длины междренья.

Для всех трех случаев Хугхаудт дает практическое решение с помощью следующей формулы (цит. по Эггельсманну, 1984):

$$E^2 = \frac{8 \cdot K_{\phi 1} \cdot d \cdot h}{S} + \frac{4 \cdot K_{\phi 2} \cdot h^2}{S},$$

где E — расстояние между дренами, м; $K_{\phi 1}$, $K_{\phi 2}$ — коэффициенты фильтрации слоя почвы, расположенного выше и ниже дрены, м/сут; d — эквивалентная толщина водоносного слоя почвы ниже оси дренажной трубы до водоупора при D менее 5 м (определение по табл. 33); D — расстояние от поверхности дрены до водоупорного слоя, м; h — допустимая высота уровня грунтовых вод над дренай (стрела прогиба, м); t — глубина заложения дрены, м; f — допустимая глубина уровня грунтовых вод от поверхности (норма осушения, м); S — максимальное количество отводимой воды осадков, м/сут; r — эффективный внешний радиус дренажной трубы, м (рис. 120).

Первая часть формулы соответствует режиму грунтового потока на участке ниже дрены, вторая — режиму грунтового потока на участке выше дрены.

Расстояние между дренами может быть определено двумя способами: аналитически (методом приближения в процессе подбора и сравнения) с помощью табл. 34 и графически с помощью номограммы (рис. 121) и табл. 34.

Поскольку выбор эффективного внешнего радиуса дренажных труб незначительно влияет на расстояния между дренами, то таблица, составленная для $r = 0,1$, действительна для всех радиусов. Промежуточные значения округляют.

Рассмотренные формулы расчета междренних расстояний по гидрофизическим или физическим свойствам, однако, не всегда отражают те реальные гидрологические условия отдельных почвенных раз-

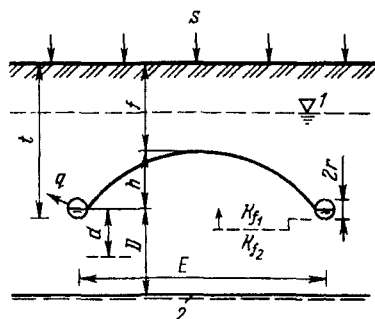


Рис. 120. Расчетная схема определения междренного расстояния по формуле Хугхаудта

Исходное положение грунтовых вод (Л); водоупорный горизонт (2). Условные обозначения см. ниже в тексте

Фактор d (м) для расчета расстояния между дренами без номограммы (Р. Эгельсманн, 1984)

$D^*, \text{ м}$	Фактор d для расчета расстояния между дренами, м										
	5	7,5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
0,75	0,60	0,65	0,69	0,71	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76
1	0,67	0,70	0,80	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96
1,25	0,70	0,82	0,89	1,00	1,05	1,09	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15
1,5	0,71	0,88	0,97	1,11	1,19	1,25	1,28	1,31	1,34	1,35	1,36
1,75	0,71	0,91	1,02	1,20	1,30	1,39	1,45	1,49	1,52	1,55	1,57
2	0,71	0,93	1,08	1,28	1,41	1,50	1,57	1,62	1,66	1,70	1,72
2,5	0,71	0,93	1,14	0,38	1,57	1,69	1,79	1,87	1,94	1,99	2,02
3	0,71	0,93	1,14	1,45	1,67	1,83	1,87	2,08	2,16	2,23	2,29
3,5	0,71	0,93	1,14	1,50	1,75	1,93	2,11	2,24	2,35	2,45	2,54
4	0,71	0,93	1,14	1,53	1,81	2,02	2,22	2,37	2,51	2,62	2,71
5	0,71	0,93	1,14	1,53	1,88	2,15	2,38	2,58	2,75	2,89	3,02
∞	0,71	0,93	1,14	1,53	1,89	2,24	2,58	2,91	3,24	3,56	3,88

* Расстояние от поверхности до водоупора.

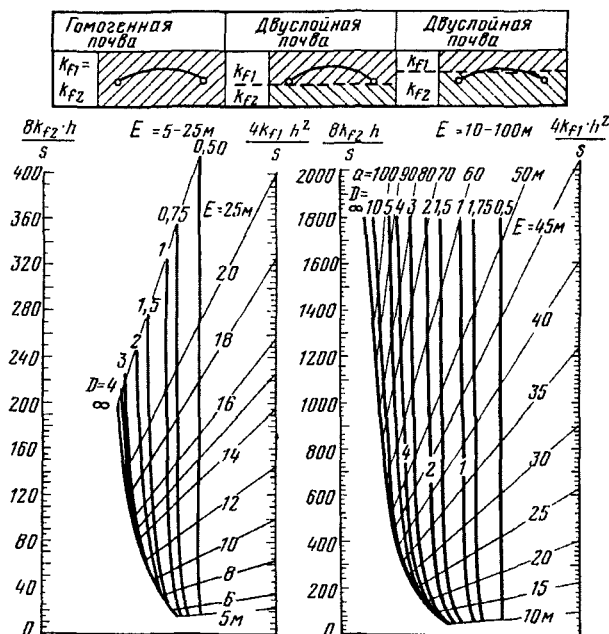


Рис. 121. Нома-
грамма для расчета
междренних рас-
стояний по форму-
ле Хугхаулта

новидностей, в которых работают осушительные системы. В пределах осушаемых массивов, как правило, распространены почвы разной степени заболоченности, обусловленной, очевидно, разной продолжительностью избыточного увлажнения. Из этого следует, что в каждом отдельном случае осушительные системы должны сбрасывать разные объемы дренажного стока на почвах разной степени заболоченности. Эти различия могут быть весьма значительны. Р.К. Пант и Э.А. Соовик в Эстонии установили следующие поправочные коэффициенты к нормам стока для почв разной степени оглеения (табл. 35).

Из этого, в частности, следует, что междренние расстояния при одних и тех же физических свойствах почв (т.е. при равных или близких величинах K_f , водоотдачи, гранулометрического состава) на почвах разной степени оглеения (например, на торфянисто-глеевых, дерново-подзолистых глеевых и дерново-подзолистых глееватых) могут различаться в 1,5–3 раза.

Последнее обстоятельство обычно не учитывают в расчетах основных параметров дренажа при осушении минеральных почв. В результате дренажные системы могут оказывать неадекватное воздействие на гидрологический режим почв разной степени избыточного увлажнения. Возможные ошибки в этом случае и их негативные последствия достаточно очевидны. Они могут оказаться причиной нецелесообразного уменьшения междренних расстояний или, напротив, неоправданного разряжения дренажных линий.

**Вспомогательные величины к номограмме определения
расстояний между дренами***

$h, \text{ м}$	$S, \text{ мм/сут}$				
	5	7	9	10	17
0,1	160–8	115–6	92–5	80–4	46–3
0,2	320–32	230–23	185–19	160–16	92–9
0,3	480–72	345–52	280–42	240–36	140–21
0,4	640–128	455–92	370–74	320–64	185–37
0,5	800–200	570–145	465–115	400–100	230–58
0,6	960–290	680–205	560–170	480–145	280–85
0,7	1120–390	800–280	650–225	560–195	325–115
0,8	1280–510	920–365	740–295	640–255	370–150
0,9	1440–650	1030–465	840–375	720–325	420–190
1,0	1600–800	1140–570	920–460	800–400	460–230
л/с ₁ га	0,6	0,8	1,0	1,2	2,0

* Левая колонка каждой графы — $8h/S$, правая — $4h^2/S$.

Таблица 35

**Поправочный коэффициент к нормам стока для почв разной степени
оглессения (Р.К. Пант, Э.А. Соовик, 1971)**

Степень оглессения почв	Гранулометрический состав почв		
	Тяжелые и средние	Легкие суглинки-супеси	Песок
Торфянистые	1,00	1,05	1,10
Глеевые	0,80	0,85	0,90
Глееватые	0,60	0,60	0,65
Глубокооглессенные	0,40	0,40	0,45

9.7.5.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖДРЕННЫХ РАССТОЯНИЙ ПО ФИЗИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ПОЧВ

При строительстве материального дренажа (гончарного, пластмассового и др.) междренные расстояния определяют по физико-механическим свойствам почв. Подобные методы отражают, найденную эмпирическим путем взаимосвязь междренних расстояний с каким-либо определенным физико-механическим свойством почвы. Поэтому методы определения междренних расстояний по физико-механическим свойствам почв справедливы только в тех случаях, когда имеются достаточные условия для проверки этих взаимосвязей на обширном экспериментальном материале.

Вместе с тем и в этом случае строгое соответствие между определенным физико-механическим свойством и параметрами дренажа сохраняется до тех пор, пока наблюдается прямая связь между

этим свойством и K_f почвы. Если она нарушается, то прямая связь выбранного физико-механического свойства, например гранулометрического состава, с параметрами дренажа может исчезнуть. Последнее обстоятельство необходимо иметь в виду, чтобы правильно оценить возможности применения методов определения параметров дренажа, основанных на анализе физико-механических свойств почв. Это особенно актуально и потому, что методы оценки междренних расстояний по физико-механическим свойствам почв привлекают внимание исследователей своей простотой.

Широкое распространение в мелиоративной практике в 30–40-х годах получил содовый метод Х. Янерта для определения междренних расстояний. Он основан на том, что набухание почвы, тесно связанное с содержанием коллоидов, отражает состояние водопроницаемости. Чем выше набухаемость почв, тем ниже их фильтрация, тем меньше междренние расстояния следует использовать при осушении почв. Этот метод, однако, в настоящее время используют редко из-за сложности лабораторных работ.

Значительно более широко применяется способ определения междренних расстояний по гранулометрическому составу почв. Он отличается простотой анализов и возможностью их выполнения в массовом масштабе в производственных лабораторных условиях.

9.7.5.3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖДРЕННЫХ РАССТОЯНИЙ ПО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОМУ СОСТАВУ ПОЧВ

Метод определения междренних расстояний по гранулометрическому составу почв, широко применяемый в мелиоративном строительстве, основан на предположении, что чем тяжелее почвы, тем меньше должны быть междренние расстояния. Эта зависимость может быть использована, очевидно, в тех случаях, когда имеется обширный эмпирический материал, отражающий эффективность различных параметров дренажа в почвах разного гранулометрического состава.

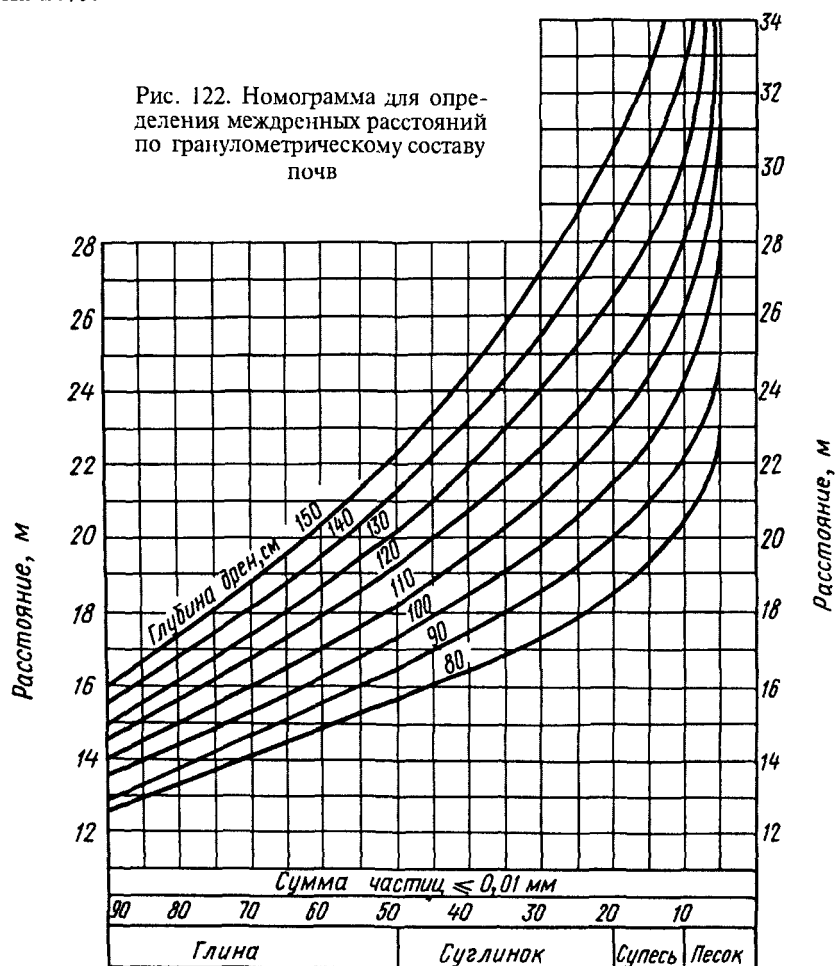
Метод имеет несомненные преимущества, обусловленные простотой определения исходных почвенных характеристик, необходимых для расчета, быстротой оценки междренних расстояний и дифференцированным подходом к выбору параметров дренажа для различных почвенно-мелиоративных условий. Его недостатком является необходимость значительного количества экспериментальных данных по оценке эффективности дренажа в почвах разного гранулометрического состава. Кроме того, метод утрачивает достоверность при нарушении связи гранулометрический состав почв — водопроницаемость.

На рис. 122 приведен график, отражающий зависимость междренних расстояний (м) от содержания в почве физической глины (частиц $< 0,01$ мм), определенной по методу гранулометрического анализа почв Н.А. Качинского. Для решения этой задачи отбор

фракций пипеткой может быть ограничен взятием секундной и минутной проб, т.е. фракцией 0,05–0,01 и < 0,01 мм.

Таким образом, при сокращенном анализе почв, по Н.А. Качинскому, для определения содержания физической глины устанавливают наличие только четырех фракций: 1–0,25; 0,25–0,05; 0,05–0,01 и < 0,01 мм. Для определения междренних расстояний используют сумму частиц < 0,01 мм, т.е. физическую глину. При выполнении такого сокращенного анализа несколько упрощается и ускоряется ход определения содержания частиц < 0,01 мм и процесс выбора оптимальных междренних расстояний.

В пылеватых почвах, однако, необходим полный анализ по методу Н.А. Качинского, поскольку в них при содержании фракций 0,05–0,001 мм более 40% междренние расстояния уменьшают на 20%.



В табл. 36 приведены поправки к основному графику, связанные главным образом с почвенно-мелиоративными условиями, которые необходимо учитывать при окончательном расчете междренних расстояний. При содержании в почвах пылевой фракции более 40% расстояния между дренами уменьшают на 20%.

Таблица 36

Поправочные коэффициенты* к междренным расстояниям в зависимости от гранулометрического состава почв и их свойств, %

Показатели	Сумма частиц < 0,01 мм								
	90	80	70	60	50	40	30	20	10
При использовании почв под сенокосы	+ 10			+ 15			+ 20		+ 25
Мощность гумусового горизонта ≥ 30 см	+ 10				+ 5				0
Карбонаты CaCO ₃	+ 10				+ 5				0
Степень оглеения: слабые признаки оглеения глееватые почвы глеевые почвы	- 15				- 10				-5
	- 25				- 20				-10
	- 35				- 25				-15
Водопроницаемые прослойки	+ 20		+ 15		+ 10			0	

* Сумма поправок в одном и том же случае для суглинистых и глинистых почв не должна превышать 40%, для песчаных и супесчаных — 20%.

В слоистых неоднородных по гранулометрическому составу почвах междренные расстояния определяют с учетом свойств отдельных слоев. Междренное расстояние в этом случае оценивают как арифметическую средневзвешенную сумму междренных расстояний, свойственных отдельным слоям:

$$E = \frac{E_1(h_1 - a) + E_2 \cdot h_2, \dots, E_n(h_n + 0,2)}{h + 0,2 - a},$$

где $E_1, E_2, \dots, E_n$ — междренные расстояния для слоев различного гранулометрического состава, м; $h_1, h_2, \dots, h_n$ — мощность слоев, м; a — мощность пахотного горизонта, м; h — расстояние от дневной поверхности до дрены, м.

Наряду с этими поправками, отражающими почвенно-мелиоративные различия, при определении междренных расстояний учитывают ряд других поправочных коэффициентов, которые отражают преимущественно гидрологические особенности осушаемой территории и рельеф (табл. 37).

Определение междренних расстояний по гранулометрическому составу почв справедливо при учете изложенных условий лишь для почв, развитых на кислых породах и имеющих элементарное (пески, супеси) или микроагрегатное (покровные, озерные, моренные и другие суглинки и глины) строение (Зайдельман, 1975).

Таблица 37

Дополнительные поправочные коэффициенты к значениям междренних расстояний в связи с гидрологическими особенностями осушаемой территории и рельефа

Среднегодовая сумма осадков, мм	750	700	650	600	550	500
Поправка, %	-25	- 10	0	+10	+ 20	+ 30
Уклоны	до 0,002	0,002-0,01			0,01-0,2	
Поправки, %	0	+ 15			+ 30	
Напорные воды	расстояние уменьшают на 30-50%					
Признаки поступления ожезлененных грунтовых вод	" — " на 10-20%					
Замкнутые котловины	" — " на 20-30%					

Но для почв, имеющих макроагрегатное строение, например для пойменных, некоторых карбонатных, луговых и иных почв, такой метод непригоден. Почвам этих генетических групп при тяжелом гранулометрическом составе нередко свойственна значительная фильтрация, абсолютные значения которой равны или превышают фильтрацию в супесчаных и легкосуглинистых почвах (рис. 123). Поэтому при определении междренних расстояний по

гранулометрическому составу легко прийти к парадоксальному и, очевидно, неверному заключению о том, что при дренаже почв с низкой фильтрацией, высокой объемной массой и низкой порозностью необходима более редкая сеть дренажных линий, чем для хорошо агрегированных и водопроницаемых почв только потому, что первые содержат значительно меньше частиц $< 0,01$ мм.

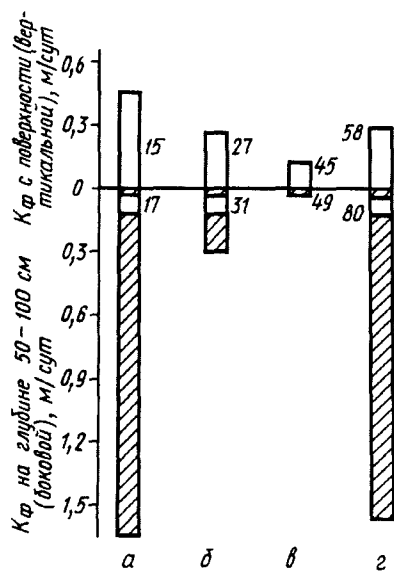


Рис. 123. Коэффициенты фильтрации в почвах разного генезиса и гранулометрического состава почв, K_f дерново-подзолистых глееватых почв: а — супесчаной; б — суглинистой; в — глинистой; г — пойменной зернистой глинистой (цифры на оси абсцисс — содержание частиц $< 0,01$ мм, %)

Таким образом, определение междренних расстояний по гранулометрическому составу допустимо только для элементарных по строению и для микроагрегатных почв, преимущественно песчаных, супесчаных, суглинистых и глинистых болотно-подзолистых, дерново-глеевых и др. При этом следует иметь в виду, что на глинистых и суглинистых почвах огромное влияние на параметры междренних расстояний оказывают агромелиоративные мероприятия, направленные на изменение их неблагоприятных физических свойств, — кротование, глубокое рыхление, рыхление — кротование, глубокая пахота, а также агрохимические и биологические приемы по оструктуриванию их профиля (внесение органических удобрений, извести, полимерных структурообразующих клеев, посев многолетних трав и др.).

9.7.6. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ КРотовых ДРЕН В ПОЧВАХ

Устойчивость и срок службы кротовых дрен определяются рядом факторов, из которых наиболее существенны следующие: генезис почв, их гранулометрический, макроагрегатный и минералогический состав и др. Важным свойством, определяющим устойчивость кротовых дрен, является также и влажность почвы в момент создания дренажа. Кротовый дренаж можно выполнить только в суглинистых и глинистых почвогрунтах. В сыпучих почвах (песках, слабогумусированных супесях) кротовые дрены быстро разрушаются. Вместе с тем в переувлажненных суглинистых и глинистых почвах при значительной влажности кротовые дрены могут заплывать даже в тех случаях, когда другие свойства почв благоприятны для их устройства. Поэтому кротовый дренаж рекомендуют закладывать, как правило, в суглинистых и глинистых почвах при влажности, лежащей в интервале пластичности (от нижней границы скатывания до нижней границы текучести). Эти случаи здесь и рассматриваются.

Вопрос о целесообразности применения этого вида дренажа решается с помощью лабораторных или полевых исследований. Х. Янертом (Janert, 1932) было показано, что при степени дисперсности почвы менее 6,4 (степень дисперсности почв представляет отношение

$$CD = \frac{\Sigma \text{ фракций } < 0,02 \text{ мм (по методу Копецкого), \%}}{\text{теплота смачивания, кал/г}})$$

и теплоте смачивания не ниже 4 кал/г кротовые дрены длительно сохраняют устойчивость. Дрены неустойчивы в почвах, степень дисперсности которых более 10,5, а теплота смачивания менее 2,0 кал/г.

С.В. Астапов (1937) установил, что отношение ρ суммы частиц 0,05–0,005 мм, определенных по микроагрегатному методу Павлова, к сумме тех же фракций, определенных гранулометрическим анализом по методу Н. А. Качинского, может быть использовано для прогноза устойчивости кротовых дрен в почве. При $\rho < 0,3$ почвы безусловно пригодны для кротового дренажа. Дрены недостаточно устойчивы при $\rho = 0,3–0,7$, а при $\rho > 0,7$ почвы непригодны для кротового дренажа. При этом наиболее четкие показатели были получены для почв, имевших $\rho < 0,3$; все дрены, заложенные в них, были в хорошем состоянии и длительно действовали, не изменяя своего первоначального диаметра. Дрены, заложенные в почвах с $\rho > 0,7$, обычно быстро выходили из строя.

В связи со значительными работами по проектированию и строительству кротового дренажа в минеральных почвах очевидна необходимость достаточно точного, но вместе с тем быстрого и дешевого прогноза устойчивости кротовых дрен уже в процессе полевых почвенно-мелиоративных изысканий. При проведении изысканий на объектах осушения рекомендуется метод Ф.Р. Зайделямана (1981), поскольку он позволяет не только оценивать в общем виде устойчивы или неустойчивы кротовые дрены, но и прогнозировать срок их стабильного существования в почвах. Этот метод основан на том, что интенсивность размокания в воде стандартной навески почвенных агрегатов (20 г) размером 3–5 мм является интегрирующим показателем, позволяющим установить срок службы кротовых дрен (табл. 38).

Таблица 38

Определение устойчивости и срока службы кротовых дрен по массе воздушно-сухих агрегатов после просеивания в воде стандартной навески (Ф.Р. Зайдельман, 1981)

Масса остатка после просеивания в воде, г	Морфологическая характеристика остатка после просеивания в воде	Характеристика работы кротовых дрен
10–20	хорошо сохранившиеся крупные суглинистые и глинистые агрегаты	дрены хорошо действуют 3–4 года и более
4–10	крупные и мелкие суглинистые и глинистые агрегаты	дрены действуют 2–3, в отдельных случаях 1–2 года
1–4	мелкие суглинистые и глинистые агрегаты	дрены недостаточно устойчивы; срок действия дрен — до года
< 1	мелкие суглинистые и глинистые агрегаты, орштейны, зерна кварца	дрены неустойчивы и заплывают спустя 2–3 месяца после устройства

В суглинистых и глинистых почвах подзолистого типа — дерново-подзолистых глееватых, дерново-подзолистых глеевых и подзолисто-глеевых — кротовые дрены действуют, как правило, в течение 2–3 месяцев. Лишь в единичных случаях, составляющих не

более 5%, на этих почвах они сохраняются 1–3 года. Поскольку кротовый дренаж может быть рекомендован, когда срок службы дрен составляет 3–4 года и более, то очевидно, что в заболоченных почвах подзолистого типа этот вид дренажа без специального крепления стенок неэффективен, а его строительство нецелесообразно.

В процессе почвообразования гидроморфных почв подзолистого типа складываются такие условия, которые способствуют дезагрегированию почв, усиливают их размываемость и заиливание дрен. Поэтому здесь кротовый дренаж действует столь непродолжительно, что его строительство нерентабельно. Именно это обстоятельство и объясняет причины массовых неудач при строительстве кротового дренажа в зоне распространения заболоченных почв подзолистого типа. Можно признать, что в этом случае строительство кротовых дрен окажется оправданным только при креплении стенок, например, полимерными структурообразующими клеями — полиакриламидом, сополимером-2 и др. (Курбатов, 1970). Однако эта проблема требует дополнительной разработки.

Иные условия свойственны гидроморфным пойменным почвам. В этих почвах благоприятны условия для формирования четко выраженной водопрочной структуры.

Изложенное позволяет признать, что устойчивость кротовых дрен находится в тесной связи с генезисом почв и зависит главным образом от водопрочности агрегатов. Поэтому кротовые дренажи, заложенные в пойменных, некоторых луговых и других почвах при оптимальной влажности, нередко действуют длительное время, несмотря на более тяжелые условия работы, связанные с регулярным продолжительным затоплением, и абсолютно неустойчивы в гидроморфных почвах подзолистого типа (рис. 124). При мелиоративных изысканиях вообще нецелесообразно аналитическое исследование устойчивости кротовых дрен в оглеенных подзолистых почвах.

Это в равной мере относится и к оподзоленным видам почв, в том числе и к оподзоленным пойменным почвам (например, дерновым зернистым оподзоленным). Напротив, при изучении устойчивости кротовых дрен в заболоченных суглинистых и глинистых почвах пойменных террас необходимы са-

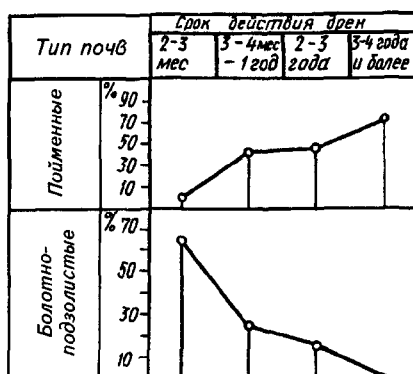


Рис. 124. Устойчивость кротовых дрен в тяжелых оглеенных почвах различного генезиса (Ф.Р. Зайдельман, 1981)

мые тщательные исследования, в результате которых должны быть составлены соответствующие картограммы.

Устойчивость кротовых дрен в органо-генных почвах зависит от степени разложения торфа. При разложении менее 30% кротовые дрены вполне устойчивы, более 50% — неустойчивы, при степени разложения 30–50% — малоустойчивы и устойчивы.

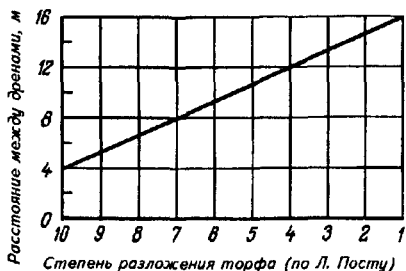


Рис. 125. Расстояние между кротовыми дренажами в торфяных почвах разной степени разложения (Р. Эгтельсманн, 1984)

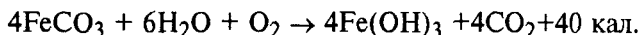
При строительстве кротовых дрен в минеральных почвах применяют сравнительно небольшие междренные расстояния — 2 м, реже 4–8 м.

В торфяных почвах междренные расстояния тесно связаны со степенью разложения торфа: чем меньше степень разложения, по Л. Посту, тем больше междренные расстояния применяют при строительстве кротовых дрен в торфяных почвах (рис. 125).

9.7.7. ЗАКУПОРКА ДРЕНАЖА ГИДРООКИСЬЮ ЖЕЛЕЗА И ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО БОРЬБЕ С ЗАКУПОРКОЙ

9.7.7.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Железо, активно мигрирующее в анаэробных условиях в ионной форме в виде карбоната или в органо-минеральной форме, может оказывать отрицательное влияние на работу закрытой осушительной сети, вызывая закупорку труб, стыков и перфорации охрой в зонах аэрации. Окисление закиси железа и переход двухвалентного железа в трехвалентное происходит под действием железобактерий. Их биологический оптимум приурочен к 1–5°C. Эту группу психрофилов образуют представители рода *Gallionella*, *Crenothrix*, *Leptothrix* и других (всего около 17 родов и 42 вида микроорганизмов). Они обладают весьма широким экологическим спектром и могут существовать в различных условиях. Железобактерии-аэробы активно функционируют при pH 5,4–7,0 и при высоком содержании в воде кислорода. Поэтому биологическое окисление железа наиболее активно протекает преимущественно весной или осенью. Летом преобладает химическое окисление. При этом образование оксида железа в аэробной среде происходит по схеме



9.7.7.2. УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АККУМУЛЯЦИЙ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА В ДРЕНАЖНЫХ ТРУБАХ И ДИАГНОСТИКА ЭТОГО ЯВЛЕНИЯ

Различают два наиболее распространенных случая накопления железа в дренажных трубах. Если осаждение охры в дренах связано с ее выпадением из грунтовых вод, то этот процесс протекает относительно равномерно и неопределенно долго. На почвах поверхностного заболачивания интенсивность охрообразования существенно снижается во времени. Однако проходит ряд лет, прежде чем исчезает опасность закупорки труб. Закупорку гончарных дрен в результате накопления гидроокиси железа можно ожидать в зонах выклинивания грунтовых вод с содержанием железа более 6–12 мг/л. Часто угроза образования пробок из гидроокиси железа отмечается при концентрации 12–15 мг/л и более. Содержание железа в грунтовых водах не стабильно. Оно подвержено определенной пульсации. Значение этого явления для мелиоративных изысканий весьма существенно, поскольку отбор грунтовых вод для диагностики возможной закупорки дренажа гидроокисью железа наиболее целесообразен в периоды максимальной концентрации в воде этого элемента.

Наиболее интенсивно гидроокись в трубах образуется, по наблюдениям З.Д. Федотовой и В.П. Страутыня (1971), весной. Последнее объясняется, вероятно, тем, что именно в этот период температура грунтовых вод наиболее близка к температурному оптимуму железобактерий. Существенно и то, что эти исследователи отмечают некоторое уменьшение концентрации закисного железа (на 15–20% и более) в поверхностных слоях грунтовых вод после осушения уже на второй — третий год эксплуатации системы. Особенно часты выходы ожелезненных грунтовых вод при близком залегании пород, обогащенных железом (например, юрские глины в Окско-Мещерском полесье, содержащие пирит, вивианит и другие несиликатные минералы, в состав которых входит железо).

В целях своевременной профилактической борьбы с этим явлением важен всесторонний анализ природных условий объекта осушения и особенно его почвенного покрова.

Опасны в этом отношении сильноожеlezненные почвы пойменных террас, легкие почвы притеррасных депрессий и склонов с мощными ортзандовыми и рудяковыми горизонтами и в меньшей степени кислые суглинистые и глинистые почвы пойм поверхностного заболачивания.

В пойменных почвах грунтового заболачивания особенно велика угроза поступления значительных масс закисного железа в дрены, выпадения его в осадок и образования пробок, выводящих из строя отдельные секции или всю мелиоративную сеть.

Песчаные и супесчаные почвы подзолистого типа, заболоченные слабоминерализованными грунтовыми водами, не имеющие в своем профиле выраженных ортзандовых и рудяковых прослоек, а также суглинистые и глинистые подзолистые почвы поверхностного заболачивания не представляют угрозы в этом отношении.

Важным профилактическим приемом против образования пробок является придание дренажным линиям уклона, обеспечивающего непрерывный вынос из труб гидрата окиси железа (0,005–0,007). Ослабляет поступление закисного железа в дрены обкладка их известью, которая создает трудно форсируемый этим элементом порог при рН 7,7–8,2 (табл. 39).

Таблица 39

Профилактические мероприятия по борьбе с закупоркой гончарного дренажа гидроокисью железа при разной концентрации Fe^{2+} в грунтовых водах (Ф.Р. Зайдельман, 1981)

Содержание Fe^{2+} в грунтовых водах, мг/л	Угроза закупорки дрен гидроокисью железа	Профилактические мероприятия по борьбе с закупоркой дрен гидроокисью железа*
< 3	отсутствует	1) не требуются
3–6	возможна закупорка перфорации дренажных пластмассовых труб	2) применение дренажных труб из иных материалов (гончарные, деревянные и другие трубы)
6–12	возможно образование железистых пробок в дренажных непластмассовых трубах	3) увеличение уклона дрен до 0,005–0,007 и более
12–25	возможно интенсивное образование железистых пробок в дренажных трубах	4) увеличение уклона дрен до 0,005–0,007 и более; интенсивное известкование и аэрация почв (кротование, рыхление)
25–50	интенсивное охрообразование в дренажных трубах	5) те же мероприятия, что и для группы 4; кроме того, целесообразно применение дрен более крупного диаметра (7,5–10 см). Использование ионов Cu^{2+} для подавления жизнедеятельности железобактерий
> 50	интенсивное охрообразование в дренажных трубах; интенсивное ожелезнение почвы	6) те же мероприятия, что и для группы 5; кроме того, перехват потока ожелезненных вод системой открытых ловчих каналов

* Для всех групп может быть целесообразна промывка заиленного и заохренного дренажа.

Однако использование этого широко принятого приема защиты дрен от закупорки оксидом железа должно выполняться осторожно и не производиться в тех случаях, когда почвы заболочены сильноожеелезненными грунтовыми водами. Это обусловлено тем, что при обкладке дрен известью осаждение гидроксида железа про-

исходит в непосредственной близости от дренажных линий. В процессе его осаждения вокруг дрены образуется железистая капсула, поры дренажной засыпки коагулируются коллоидальной массой трехвалентного железа. Происходит быстрое снижение коэффициента фильтрации, падает приточность воды к дренам, уменьшается дренажный сток. В результате осаждения оксида железа в порах карбонатного мелкозема дренажной засыпки в целом ухудшается работа осушительной системы (Кунтце, 1985).

Следует учитывать также, что закупорка пластмассовых дрен из полиэтилена, полипропилена и других синтетических материалов начинается при значительно меньших концентрациях закисного железа в воде. Уже при концентрации закисного железа 3–5 мг/л в полости образуются хлопья охры, которые выносятся из дрен, если скорость потока больше 0,35 м/с. Заиливание водоприемных отверстий и осаждение гидроокиси начинается при концентрации железа 6–8 мг/л (Федотова, Страутыня, 1971).

Профилактическим целям может служить также добавка в дренажные воды ионов меди, подавляющих жизнедеятельность железобактерий. Закупорка труб замедляется и в том случае, когда свободная циркуляция воздуха и окисление закиси железа ослаблены подтоплением устьевой части дрен. Однако целесообразность широкого применения в практике дренажного строительства этого приема в известной мере дискуссионна. Резко снижают поступление закисного железа в дрены мероприятия по общей аэрации почв. Особенно эффективен частый кротовый дренаж, кротование осушаемых почв, их глубокое мелиоративное рыхление.

Одновременно с увеличением уклона дрен и другими мероприятиями в зонах распространения грунтовых вод с особо высокой концентрацией закисного железа (50–80 мг/л) необходимо применение дренажных труб более крупного диаметра (7,5–10,0 см), перехват сильноминерализованных грунтовых вод и их отвод за пределы осушаемого массива открытыми ловчими каналами.

Сложившиеся представления о необходимом комплексе профилактических мероприятий по борьбе с закупоркой дренажа гидроокисью железа при разной концентрации Fe^{2+} в грунтовых водах для гончарного дренажа приведены в табл. 39. Для оценки угрозы закупорки пластмассового дренажа могут быть использованы рекомендации, приведенные в табл. 40.

В профиле заболоченных почв возникают железистые новообразования, диагностическое значение которых для дешифрирования гидрохимической обстановки на массиве осушения различно (табл. 41). Так, сегрегационные железистые новообразования — темно-серые железисто-марганцевые и бурые железистые орштейны, трубчатые конкреции и другие новообразования, встреча-

Опасность отложения охры в пластмассовых дренах в зависимости от содержания в грунтовых водах двухвалентного железа и величины pH (Х. Кунтце, 1985)

Содержание Fe^{2+} , мг/л		Опасность отложения охры в дренах
кислая реакция (pH < 7)	щелочная реакция (pH > 7)	
< 0,5	< 1,0	маловероятна
0,5–1,0	1,0–3,0	незначительна
1,0–3,0	3,0–6,0	средняя
3,0–6,0	6,0–9,0	большая
> 6,0	> 9,0	очень большая

Таблица 41

Диагностика в полевых условиях содержания Fe^{2+} в верховодке, грунтовых водах и опасность закупорки дренажа гидроксидом железа по железомарганцевым конкреционным и неконкреционным новообразованиям в профиле почв (Ф.Р. Зайдельман, 1996)

Вид новообразования	Размер по наибольшему диаметру, см	Гранулометрический состав почв	Ориентировочное содержание Fe^{2+} в воде, мг/л	Угроза закупорки дрена гидроксидом железа
---------------------	------------------------------------	--------------------------------	--	---

Конкреционные новообразования

Темно-серые и бурые ортштейны	0,5–1,0	глинистый, суглинистый	< 1,0	отсутствует
Дерновая рула	1–2,3	легкосуглинистый, супесчаный	5–12	слабая, средняя
Рудяк	5–30	супесчано-песчаный	30–50	сильная
Железистые коры	5–30 отдельности, образующие коры	супесчано-песчаный	50–100	очень сильная

Неконкреционные новообразования

Бурые псевдофибры	горизонтальная железистая цементация мощностью до 3 см	супесчано-песчаный	—	отсутствует
Ортзанд	то же, до 10–40 см	супесчано-песчаный	2–12	слабая, средняя
Аморфная гидроокись железа (охра)	поверхностные рыхлые отложения мощностью до 15–20 см	торфяной	30–80	сильная, очень сильная

ющиеся в почвах поверхностного заболачивания, образуются главным образом за счет мобилизации гидроокисного железа на месте. Они характеризуют обстановку, при которой в верховодке содержится незначительное количество железа, а в процессе эксплуатации осушительных систем обычно отсутствуют условия для образования железистых пробок в дренажных трубах (рис. 126). Такие железистые новообразования возникают в подзолистых и болотно-подзолистых почвах суглинистого и глинистого гранулометрического состава. Существенно иная обстановка складывается в почвах полесий и пойм рек. Здесь в районах распространения ожелезненных грунтовых вод формируются почвы с характерными железистыми новообразованиями*. Дерновная руда, ортзандовые (рис. 127) и рудяковые горизонты (рис. 128), железистые коры (рис. 129) и другие новообразования оказываются четкими индикаторами концентрации закисного железа в грунтовых водах. В этих случаях возникает возможность в полевых условиях не только определить зону распространения ожелезненных грунтовых вод на

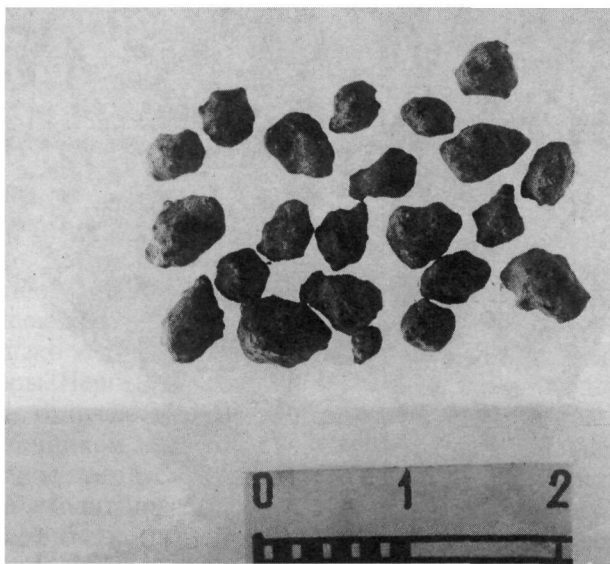


Рис. 126. Железо-марганцевые конкреции (ортштейны) в профиле тяжелой глееватой дерново-подзолистой почвы на покровных глинах. Содержание Fe^{2+} в верховодке менее 1 мг/л. Угроза закупорки дрен оксидом железа отсутствует

* В полевых условиях концентрацию двухвалентного железа в грунтовых водах можно легко определить по качественной реакции с красной кровяной солью $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. См.: Зайдельман Ф. Р. Мелиорация заболоченных почв Нечерноземной зоны РСФСР. Справочная книга. М.: 1981.

осушенном массиве, но и установить ареалы грунтовых вод с разным содержанием закисного железа. Обнаружена отчетливая корреляция между морфогенетическими свойствами почв и содержанием железа в грунтовых водах. В легких почвах при близком залегании слабожелезненных грунтовых вод формируются ортзанды — песчаные горизонты, сцементированные гидроокисью железа.

Ортзандовые слои возникают в результате активной гидрогенной аккумуляции железа из грунтовых вод. В равной мере это относится и к рудяковым горизонтам. Вместе с тем рудяковые аккумуляции имеют строгую приуроченность к зонам особо высокой концентрации железа в грунтовых водах в условиях супераквальных ландшафтов. Первые формируются на слабоминерализованных во-

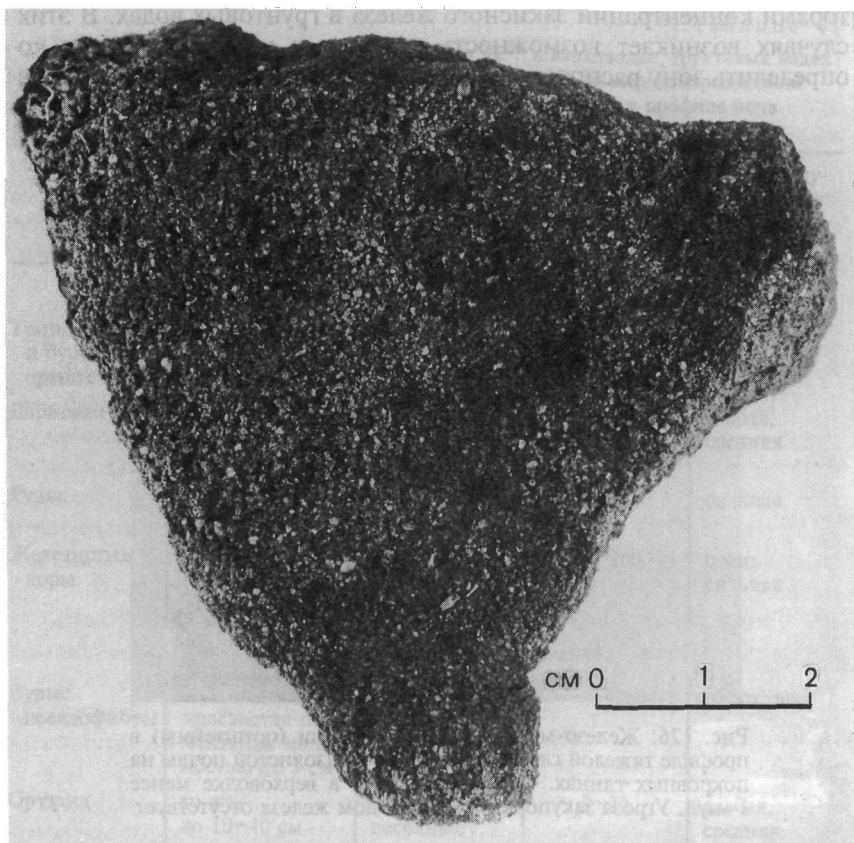


Рис. 127. Ортзанд (песок, сцементированный гидроксидом железа) из профиля дерново-подзолистой глееватой почвы на мощных легких флювиогляциальных отложениях. Содержание Fe^{2+} в грунтовых водах 2–12 мг/л. Угроза закупорки дрен гидроксидом железа слабая, средняя

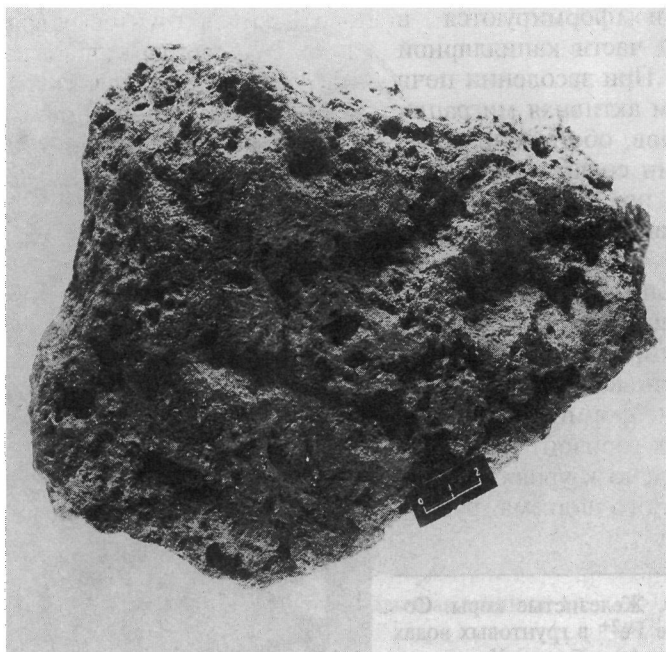


Рис. 128. Рудяк в профиле дерново-подзолистой глеевой почвы. Содержание Fe^{2+} в грунтовых водах 30–50 мг/л. Угроза закупорки дрен оксидом железа сильная

дах с содержанием железа 2–12 мг/л, вторые — на сильноминерализованных водах с концентрацией общего железа свыше 50 мг/л. Обращает внимание и то, что воды под рудяковыми почвами отличаются высоким содержанием сульфатов и, наконец, то, что в этих почвах близко к дневной поверхности залегают глины средней и верхней юры. Черные и темно-серые юрские глины, водоупорные горизонты, отличаются высоким содержанием пирита, который служит источником засоления грунтовых вод железом и серой. Экстрагирование этих элементов грунтовыми водами из юрских отложений происходит повсеместно на всей территории бассейна, но там, где юра ближе всего поднимается к дневной поверхности, концентрация железа в верхних слоях грунтовых вод оказывается максимальной. При поступлении грунтовых вод в зону аэрации закисные соединения железа быстро окисляются и выпадают в осадок в виде гидроокиси.

Вместе с тем следует отметить важную особенность, отличающую рудяковые почвы — железистые солончаки таежной зоны — от солончаков аридных районов, засоленных легководорастворимыми солями. Хлориды и сульфаты мигрируют непрерывно по капиллярам к испаряющей поверхности. В этом случае солевые аккумуля-

муляции формируются в верхней части капиллярной каймы. При засолении почв железом активная миграция растворов, обогащенных закисными солями этого элемента, по почвенным капиллярам строго ограничена только зоной устойчивого анаэробнобиоза. В легких почвах, где непосредственно выше горизонта грунтовых вод господствуют аэробные условия, формирование рудяковых горизонтов обычно приурочено к уровням максимального подъема грунтовых вод.

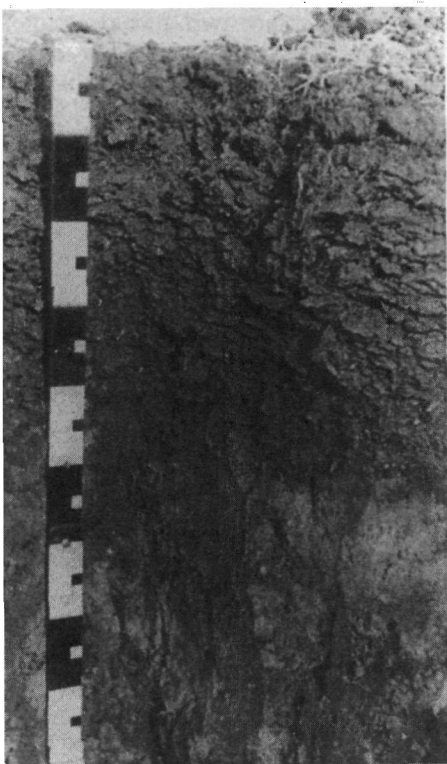


Рис. 129. Железистые коры. Содержание Fe^{2+} в грунтовых водах 50–100 мг/л и более. Угроза закупорки дрен гидроксидом железа очень сильная. Одно деление на линейке — 10 см

9.7.7.3. ПРОМЫВКА ЗАИЛЕННЫХ И ЗАОХРЕННЫХ ДРЕН

Закупорка дренажа оксидом железа или его заиление могут вызвать выход из строя отдельных секций осушительных систем или всей системы. Это явление приносит значительный ущерб. Для устранения закупорки дренажа в последние годы в нашей стране и за рубежом освоены и широко применяются дренопромывные аппараты (рис. 130), обеспечивающие промывку дрен водой под напором. Шланги дренопромывочного аппарата имеют небольшой диаметр (20 мм), на концах которых закреплены промывные заостренные наконечники. Под действием реактивной силы наконечник дренопромывного аппарата продвигается вперед в отверстие дренажной трубы, затягивая шланг в дренаж. Промывка происходит под высоким давлением. В промывном наконечнике установлены лучеобразно расположенные насадки, из которых вода поступает назад или под небольшим уклоном вбок, вызывая разрушение илистых и оксидных пробок (рис. 131). За один прием может быть очищен отрезок дрены длиной 100–200 м. При промывке удаляются слежавшийся в дренах ил, а также гидроокисные скопления из

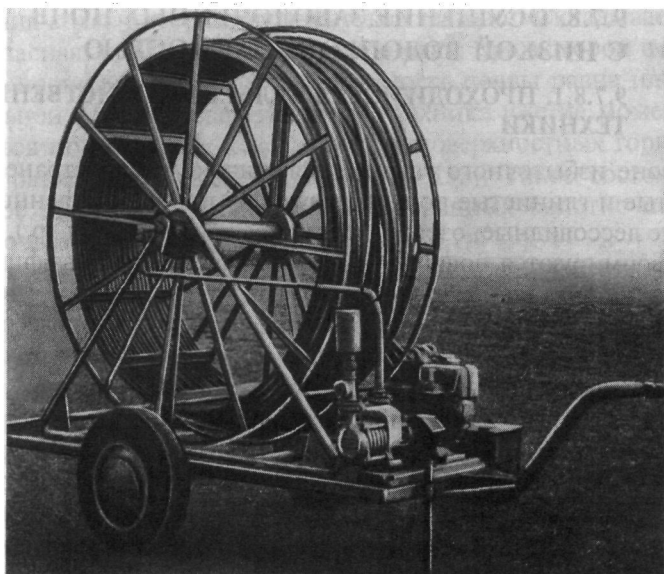


Рис. 130. Дренопромывочная машина

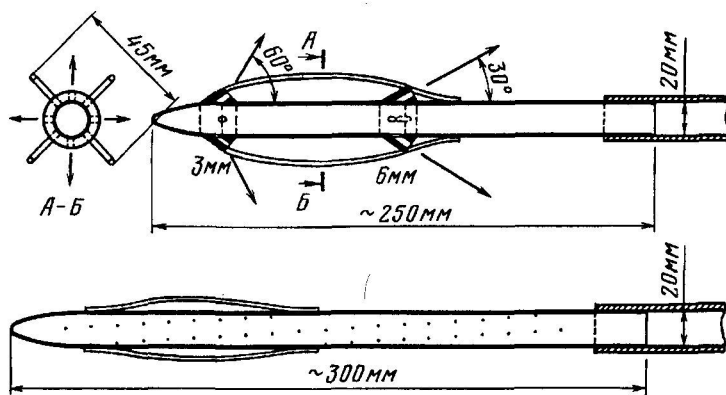


Рис. 131. Насадки промывного аппарата:
вверху — для промывки назад; внизу — для промывки в сторону (масштаб не соблюден). Внутренний диаметр труб 20 мм (Х. Кунтц, 1985)

стыков гончарных дрен и из перфораций пластмассовых труб. Иногда оксид железа оказывается столь плотно сцементированным, что не поддается разрушению при промывках. В этом случае известен успешный опыт промывок дрен серной кислотой. Однако этот прием не получил значительного распространения в связи с тем, что оказывает неблагоприятное влияние на окружающую природную среду.

9.7.8. ОСУШЕНИЕ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ПОЧВ С НИЗКОЙ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬЮ

9.7.8.1. ПРОХОДИМОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

В зоне избыточного увлажнения широко распространены суглинистые и глинистые почвообразующие породы (моренные, покровные лёссовидные, озерно-ледниковые, пермские и др.), на которых формируются почвы с низкими значениями коэффициента фильтрации. Эта их особенность усугубляется еще и тем, что здесь почти повсеместно господствуют процессы подзоло- и глееобразования, приводящие в конечном итоге к формированию почв с отчетливым элювиально-иллювиальным строением профиля.

В таких почвах, особенно если их K_f не превышает 0,05–0,1 м/сут, весной, осенью или летом после снеготаяния или выпадения обильных осадков в пахотных горизонтах длительно застаивается гравитационная влага, вызывая угнетение или гибель сельскохозяйственных растений, затрудняя или полностью исключая возможность проведения сельскохозяйственных работ (рис. 2.40). При этом обводнение пахотного горизонта может происходить и при очень низкой влажности подпахотных горизонтов на фоне глубокого залегания грунтовых вод. В этом случае существенно то, что подобное неблагоприятное состояние почв сохраняется и после строительства дренажа. Рассматриваемое явление объясняют два обстоятельства. Они определяют выбор специального комплекса мероприятий по осушению, причем здесь особенно важно комплексное применение гидротехнических, агрономелиоративных и агрономических мероприятий.

Сложность осушения минеральных суглинистых и глинистых почв с низкой (менее 0,05–0,1 м/сут) водопроницаемостью обусловлена; во-первых, тем, что здесь при заполнении дренажной траншеи обратной засыпкой (т.е. извлеченным при строительстве почвогрунтом) часто быстро восстанавливаются исходные низкие значения водопроницаемости и происходит утрата гидравлической связи дрен с поверхностными горизонтами профиля. Во-вторых, этим почвам присуща высокая предельная полевая влагемкость. Если объем свободных пор в пахотном горизонте оказывается при этой влажности ниже 8–10% от объема, то ухудшаются условия для роста и развития сельскохозяйственных культур.

Кроме того, влага, близкая к ППВ, на бесструктурных почвах тяжелого гранулометрического состава (например, дерново-подзолистых оглеенных почвах на тяжелосуглинистых или глинистых породах) равна или выше 75% ПВ (полной влагемкости). Н.А. Качинским и А.Ф. Вадюниной было показано, что при влажности, равной или выше 75% ПВ, происходит резкое ухудшение условий

движения колесных тракторов и другой техники. Складывается весьма опасная, неблагоприятная обстановка, при которой в дренаж еще не поступает вода, так как влажность почвы равна или ниже предельной полевой влагоемкости, а техника уже не может передвигаться по полю, так как влажность поверхностных горизонтов почвы равна или выше 75% ПВ (рис. 132). Такое состояние — обычное явление на тяжелых дренированных болотно-подзолистых почвах Нечерноземной зоны.

Улучшение водного режима почв может быть достигнуто только в результате комплексного использования не только гидротехнических, но одновременно агромелиоративных и агрономических мероприятий, направленных на осушение переувлажненных почв.

Эти мероприятия связаны со сбросом поверхностных вод, организацией поверхностного и внутрипочвенного стоков, ускорением их отвода с осушаемой территории, а также с восстановлением гидравлической связи пахотного горизонта и дренажных линий.

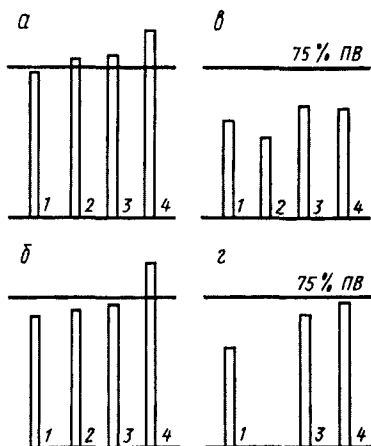
Важное значение в этом случае приобретают агромелиоративные мероприятия, способствующие усилению испарения с поверхности почв путем увеличения ее площади. Весьма существенны агрономические мероприятия по регулированию водного режима — травопольные севообороты, внесение органических и минеральных удобрений с целью получения высоких урожаев, биогенного оструктурирования и увеличения мощности (свыше 25–30 см) пахотного горизонта. Чем мощнее пахотный горизонт, тем эффективнее работают осушительные системы на тяжелых слабоводопроницаемых почвах.

Для таких условий должны использоваться трактора и другие сельскохозяйственные машины и транспортные средства с минимальным давлением на почвы. Особенно эффективны трактора и комбайны на сдвоенных скатах (например, на тракторах колесного типа К-701, Т-150), полугусеничные и гусеничные обрабатываю-

Рис 132. Предельная полевая влагоемкость (ППВ) горизонта Апак почв (контурный столбик) гумидных ландшафтов и критическая влажность (0,75 ПВ), исключающая нормальное движение сельскохозяйственной колесной техники (Ф Р Зайдельман, 1991)

Почвы 1 — неоглеенная, 2 — глубокооглеенная, 3 — леваятая, 4 — левая,

а — дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы на лессовидной глине, б — то же, суглинистые почвы на лессовидном суглинке, в — то же, супесчаные почвы на флювиогляциальном песке, г — пойменные дерновые зернистые почвы на глинистом аллювии



щие и уборочные машины, оказывающие на почву удельное давление не более 80–120 кПа.

В европейской части Нечерноземной зоны на тяжелых болотно-подзолистых почвах нередко весьма эффективна замена зяблевой пахоты на весновспашку, поскольку такая обработка способствует ускорению поверхностного стока.

9.7.8.2. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО УСКОРЕНИЮ ПОВЕРХНОСТНОГО И ДРЕНАЖНОГО СТОКОВ

Для ускорения поверхностного стока гравитационных вод с осушаемых массивов, образованных почвами с невысокой водопроницаемостью кроме открытого или закрытого дренажа применяют шлюкеры, ложбины, траншейные фильтры. Все эти мероприятия используют в том случае, если почвы заболочены поверхностными водами.

Ш л ю к е р (от нем. *schlucken* — поглощать) — поглощающий колодец — строят в понижениях (мульдах). Он предназначен для удаления поверхностных вод, скапливающихся в замкнутых понижениях, через дренажную систему и представляет собой каменный и гравийный фильтр. Шлюкер во избежание заиливания дренажной системы подключают к коллектору самостоятельной короткой параллельной дренажной (рис. 97).

Л о ж б и н а — распланный канал, пологие откосы которого засевают возделываемой культурой. Ложбины используют для вывода воды по поверхности поля из замкнутых понижений в открытый канал. Если ложбины соединяют несколько западин и выводят воду в открытый канал, то это мероприятие часто называют «раскрытием» западин.

Т р а н ш е й н ы й ф и л ь т р предназначен для создания надежной гидравлической связи между поверхностными горизонтами почвенного профиля и дренажной линией. Траншейные фильтры изготавливают из различных хорошо фильтрующих материалов, например из щебня, гравия, керамзита, гравийно-крупнопесчаной смеси и других материалов. Этим материалом дренажная траншея или дренажная щель (в случае строительства бестраншейного пластмассового дренажа) заполняется до подошвы пахотного горизонта. При применении глубокого мелиоративного рыхления допускается заполнение дренажной траншеи хорошо фильтрующим материалом «до подошвы» рыхленного слоя.

9.7.8.3. АГРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО УСКОРЕНИЮ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

Для ускорения поверхностного стока применяют такие агромелиоративные приемы, как планировка, профилирование, узкозагонная пахота, грядование, гребневание, квали (рис. 133).

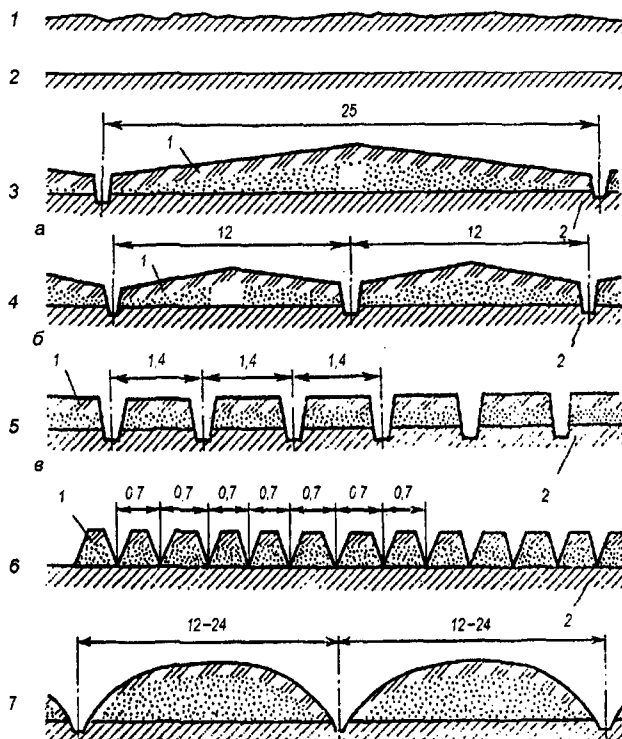


Рис. 133. Агромелиоративные мероприятия, направленные на организацию и ускорение поверхностного стока (А.И. Климко и др., с дополнениями и изменениями, 1979):

1 — исходная поверхность; 2 — планировка; 3 — профилирование; 4 — узкозагонная пахота; 5 — грядование; 6 — гребневание; 7 — квали

Планировка в условиях Нечерноземной зоны должна выполняться очень осторожно, затрагивать ограниченные площади и тщательно контролироваться в процессе производства работ. Наиболее благоприятные результаты дает кулисная планировка.

Профилирование поверхности заключается в придании ей направленного уклона (рис. 2.36).

Узкозагонная пахота, или вспашка всвал. Между формирующимися при такой пахоте широкими грядами образуются разъемные борозды, по которым поверхностные воды при наличии необходимого уклона можно отвести за пределы осушаемого поля.

Грядование и гребневание — способы интенсивного локального дренажа поверхностных горизонтов почвенного профиля и увеличения их испаряющей поверхности (рис. 2.37).

К в а л и (грузинский народный термин) — выпуклые гряды высотой до 60–80 см, между которыми устраивают глубокие разъемные борозды или мелкие каналы. Квали имеют различные ширину (от 12–14 до 20–28 м) и длину (200–300 м). Их используют главным образом во влажной субтропической зоне при возделывании многолетних (чая, цитрусовых) или однолетних (трав, кукурузы) культур. Квали обеспечивают отвод значительной массы осадков, выпадающих в период дождей (табл. 42). Исследования, выполненные под руководством Р.И. Паписова (1973), показали, что в период ливневых осадков квали отводят из поверхностных слоев почвы мощностью около 40 см почти в два раза больше воды, чем закрытый гончарный дренаж. Наиболее эффективным при возделывании многолетних культур оказалось применение квали в сочетании с частым гончарным дренажем (рис. 2.38, 2.39). Выпуклые гряды типа квали получили широкое распространение во многих странах мира с субтропическим и тропическим климатом (например, в Италии, Вьетнаме и др.).

Таблица 42

Урожайность зеленого листа чая на глинистых подзолисто-глеевых почвах в зависимости от способа осушения. Хорга, центральная Колхида (Р.И. Паписов, А.Р. Дарджиманов, 1973)

Вариант опыта	Урожай зеленого листа, кг/га
Гончарный дренаж без квали через 5 м	почти повсеместно вымочка, урожая нет
Квали без дренажа	1596
Квали и гончарный дренаж через 5 м	2508
Квали и гончарный дренаж через 10 м	2418

9.7.8.4. АГРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО УСКОРЕНИЮ ВНУТРИПОЧВЕННОГО СТОКА (КРОВОТАНИЕ, ГЛУБОКОЕ МЕЛИОРАТИВНОЕ РЫХЛЕНИЕ, ЧИЗЕЛЕВАНИЕ)

Для ускорения внутрипочвенного стока применяют три весьма эффективных способа — кротование, глубокое мелиоративное рыхление (рис. 134) и чизелевание.

К р о т о в а н и е — агромелиоративный прием, направленный на перераспределение избыточной влаги из поверхностных во внутрипочвенные слои профиля почв и их аэрацию. Кротование выполняют в суглинистых и глинистых почвах и в тех случаях, когда кротовины не обладают длительной устойчивостью. Земляную полость в этом случае устраивают ежегодно или один раз в 2–3 года (в зависимости от устойчивости), часто одновременно с пахотой (рис. 135), причем кротовины, как правило, копируют уклон поверхности земли.

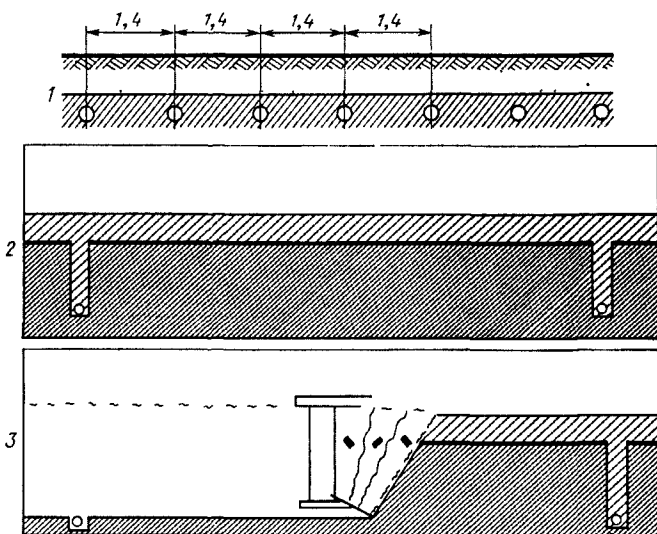
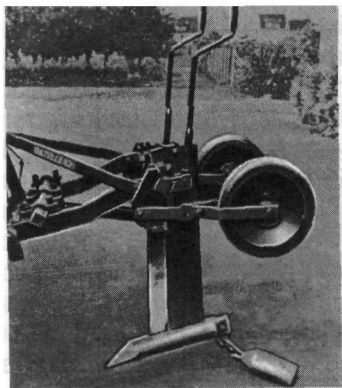


Рис 134. Агроомелиоративные мероприятия, направленные на ускорение внутрипочвенного стока (Шульте-Карринг, с дополнениями и изменениями)

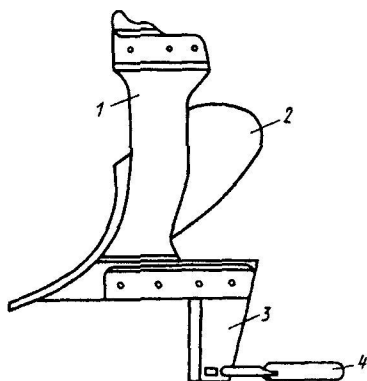
1 — кротование, 2 — нерыхлая почва, 3 — глубокое мелиоративное рыхление

Кротовины (земляные полости) обычно закладывают на глубину 0,4–0,6 м. Они способствуют перераспределению избыточной влаги из поверхностных горизонтов в глубь почвенного профиля, его аэрации, усилению трещиноватости почв, повышению приточности воды к дренам. Важное значение в этом случае имеет миграция влаги по вертикальной щели, остающейся в почве при проходе стойки кротователя. Кротование эффективно и в таких почвах, где кротовые земляные дрены неустойчивы. Оно повышает их водопроницаемость, увеличивает объем дренажного стока (на глинистых почвах в первый год эксплуатации в 1,5–2,0 раза) и урожайность сельскохозяйственных культур (на 5–15%). Аналитическое определение устойчивости кротовин в минеральных почвах необходимо, поскольку в проекте должны быть предусмотрены сроки повторного кротования почв. С этой целью используют тот же метод определения устойчивости кротовин по водопрочности макроагрегатов (3–5 мм) после просеивания в воде их стандартной навески, что и при определении стабильности кротовых дрен.

Применение кротования целесообразно при близком залегании к поверхности плотных, плохо водопроницаемых горизонтов, например, в почвах с элювиально-иллювиальной дифференциацией профиля — болотно-подзолистых, подзолистых, дерново-подзолистых, а также в тяжелых оподзоленных дерново-глеевых, дерново-карбонатных и иных почвах с плотными подпахот-



a



б

Рис. 135. Типы кротователей:

a — однострочный кротователь с уширителем (Р. Эгельсмани, 1984); *б* — кротователь, выполняющий кротование одновременно с пахотой (кротовое приспособление к многокорпусному плугу); 1 — стойка плуга; 2 — лемех; 3 — стойка дренажа; 4 — дренаж

ными горизонтами. В таких почвах кротование в первый год оказывает весьма благоприятное влияние на дренажный сток, урожайность сельскохозяйственных культур, физические свойства почвы — ее фильтрацию, пористость, аэрацию. Однако в тяжелых агрегированных почвах — пойменных, луговых и т.д. — с хорошо водопроницаемыми подпахотными горизонтами ($K_f > 0,3$ м/сут) кротование нередко не оказывает заметного влияния на сток, урожайность и свойства почвы. В этих условиях применение кротования оказывается нецелесообразным. Кротование нецелесообразно также в песчаных и супесчаных почвах, независимо от их генезиса.

Кротование выполняют одновременно с пахотой или отдельно от пахоты. В первом случае (кротование со вспашкой) кротователь (рис. 135) крепят на второй корпус плуга. При кротовании отдельно от вспашки используют кротователь КР-3, который навешивают на трактор.

Глубокое мелиоративное рыхление уменьшает плотность сложения и увеличивает водопроницаемость суглинистых и глинистых почв в верхнем слое мощностью не менее 0,6 м. Оно разрушает в легких (песчаных, супесчаных) почвах плотные водоупорные железистые или карбонатные прослойки в толще до 0,9 м (рис. 2.47). Это агро-мелиоративное мероприятие выполняют на тяжелых суглинистых и глинистых почвах, коэффициент фильтрации подпахотных горизонтов которых в естественном состоянии в слое 30–80 см менее 0,3 м/сут (Зайдельман, 1987).

На тяжелых кислых почвах формирование мощного рыхленного слоя на стадии капитального строительства осуществляют с помощью трех мероприятий: механического рыхления; химической стабилизации и коагуляции глинистых частиц путем интенсивного известкования; биологического агрегирования почвы в результате поступления в нижние слои профиля значительной массы свежего перегноя от корней на фоне резкого повышения плодородия почв в результате внесения минеральных и органических удобрений.

На тяжелых карбонатных почвах процесс образования структуры складывается из механического рыхления и биологического агрегирования. Химическое оструктурирование путем внесения извести на этих почвах нецелесообразно вообще или ограничено самыми поверхностными выщелоченными слоями.

Механическое рыхление легких почв с целью разрушения плотных сцементированных гидроокисных железистых или карбонатных горизонтов проводят всегда независимо от известкования и удобрения почв.

Вместе с тем глубокое рыхление при определенных условиях вызывает нежелательное последствие. Так, глубокое рыхление оглеенных почв без дренажа ухудшает условия сельскохозяйственного производства и обычно снижает урожай из-за увеличения продолжительности застоя влаги в поверхностных горизонтах почвенного профиля и усиления заболоченности почв. В этом случае в результате глубокого рыхления и увеличения порового пространства при отсутствии стока возникает эффект «гидрологического мешка», который длительно удерживает поверхностные воды. Кроме того, при проектировании мелиоративных мероприятий необходимо учитывать, что сплошное глубокое мелиоративное рыхление тяжелых заболоченных подзолов и подзолистых почв с мощными элювиальными горизонтами ($A_2 > 10$ см) следует производить при обязательном внесении крупных доз извести (18–20 т/га), органических (не менее 40–50 т/га) и минеральных удобрений.

Если по организационным причинам невозможно выполнить эти мероприятия, то применение глубокого рыхления может вызывать снижение плодородия этих почв в результате перемещения к дневной поверхности и поступления в пахотный слой кислого неплотного мелкозема подзолистого горизонта A_2 . Поэтому целесообразно на стадии строительства применять не сплошное, а полосное рыхление (через 4–8 м) или кротование (через 2 м) с последующим переходом в эксплуатационный период по мере окультуривания почв на сплошное глубокое мелиоративное рыхление.

Сплошное глубокое рыхление каменистых почв рыхлителями активного и пассивного действия не проводят при наличии камней в слое рыхления мощностью 0–80 см и максимальным диаметром соответственно более 30 и 40 см.

Важнейшим условием эффективного глубокого рыхления является тщательная разделка пласта или задернованной поверхности почв.

В зависимости от почв, производственных условий и типа рыхлителей применяют следующие способы глубокого рыхления и рыхления-кротования: сплошное рыхление, сплошное рыхление-кротование, полосное рыхление-кротование, полосное рыхление.

Сплошное рыхление направлено на рыхление всей толщи почвы в обрабатываемом слое. Сплошное рыхление-кротование обеспечивает, кроме того, образование кротовин ниже зоны рыхления. Полосное рыхление, осуществляемое преимущественно однокорпусными рыхлителями, создает узкие раздельные полосы (обычно через 4 м) рыхления (рис. 2.43). Полосное рыхление-кротование создает узкие полосы рыхления, дополненные на глубине 70–75 см кротовинами.

Глубокое мелиоративное рыхление выполняют активными и пассивными (рис. 136, 137, 2.44) рыхлителями. Активное рыхление отличается тем, что при его выполнении производят не только рыхление, но и активное встряхивание почвы. Современные конструкции рыхлителей позволяют производить глубокое мелиоративное рыхление на глубину до 80–100 см (рис. 2.45, 2.46). Рыхлению должен предшествовать тщательный анализ почвенного покрова, генезиса и состава почвообразующих пород, степени забо-лоченности и оподзоленности почв, их каменистости. Все эти факторы оказывают определяющее значение на его эколого-гидрологическую эффективность. В частности, для условий европейской территории страны на почвах, сформированных на кислых озерно-ледниковых тонкослоистых ленточных глинах, из-за высокой



Рис. 136. Рыхлитель РУ 65.2,5 пассивного действия для одновременного глубокого мелиоративного рыхления (на глубину до 65 см) и кротования (на глубину до 75–80 см)

энергоёмкости, быстрого заиливания, высокой набухаемости глубокое рыхление оказалось нецелесообразным агромелиоративным мероприятием. Эффект его последствия не превышал 1–3 лет. Вместе с тем на почвах, приуроченных к тяжелым лёссовидным покровным, моренным, пермским почвообразующим породам, глубокое рыхление весьма эффективно. В этом случае оно благоприятно влияет на физические свойства почв и их плодородие. По нашим наблюдениям (Зайдельман, 1986), глубокое мелиоративное рыхление почв на этих породах оказывает длительное (до 12–14 лет) последствие, если, однако, при обработке почв си-

стематически не используется тяжелая колесная сельскохозяйственная техника. Немецкие исследователи (Шульте-Карринг, Шредер, 1984) также обнаружили факт длительного последствия глубокого мелиоративного рыхления на тяжелых почвах типа псевдоглей. Через 20 лет после рыхления урожай зерновых по сравнению с контролем (41–61 ц/га) был выше на 2–11% за счет глубокого рыхления и на 13–20% при его сочетании с удобрением. Почвы на опытных вариантах сохраняли более высокие значения коэффициентов фильтрации и отличались большими объемами дренажного стока.

В условиях европейской части Нечерноземной зоны эффект последствия в связи с ежегодной пахотой и уплотнением подпахотных горизонтов (т.е. слоя 20–40 см за 4–5 лет) проявляется обычно в толще 40–80 см.

Повторное рыхление после возникновения уплотненного подпахотного горизонта должно быть направлено на восстановление гидравлической связи пахотного горизонта с дренажем. Для этого в период эксплуатации производят рыхление, кротование или чизелевание поверхностных горизонтов на глубину 0,4 м через каждые 4–5 лет после полнопрофильного рыхления.

Глубокое мелиоративное рыхление является мощным фактором воздействия на физические свойства почв и их гидрологиче-

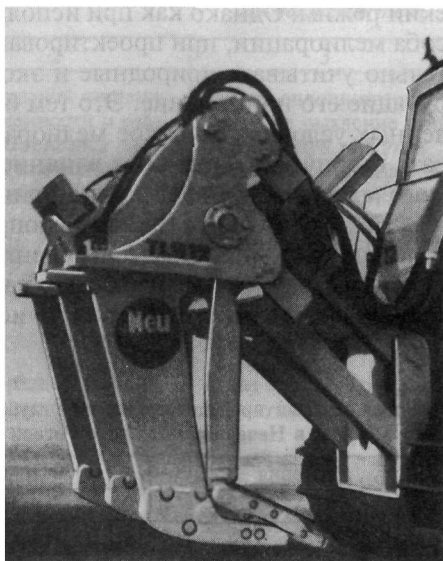


Рис. 137. Рыхлитель активного действия для глубокого мелиоративного рыхления почв TLG-12, фирма Кэбле-Гмайн-дер (рыхлитель на глубину до 100 см)

ский режим. Однако как при использовании и любого другого способа мелиорации, при проектировании рыхления необходимо тщательно учитывать природные и экономические факторы, лимитирующие его применение. Это тем более необходимо, что в определенных условиях глубокое мелиоративное рыхление может оказывать вторичное негативное влияние на почвенный покров осушаемого массива. Такие сведения приведены в табл. 43.

Как агромелиоративное мероприятие глубокое рыхление вначале получило широкое применение в странах Европейского континента. Значительный вклад в развитие этого направления был сделан немецким инженером и исследователем Х. Шульте-Кар-

Таблица 43

Условия, лимитирующие применение глубокого мелиоративного рыхления почв в Нечерноземной зоне России (Ф.Р. Зайдельман, 1991)

Условия	Почвы	Решение
1	2	3
Отсутствует возможность известкования и удобрения почв на глубину рыхления	кислые подзолистые, дерново-сильнопodzолистые, подзолы на покровных, моренных, озерно-ледниковых отложениях	замена глубокого сплошного рыхления кротованием
Быстрое восстановление исходных неблагоприятных физических свойств после рыхления; высокая энергоемкость процесса рыхления	кислые или нейтральные глеевые почвы на тонкослойных ленточных глинах	замена глубокого рыхления (кротования) мероприятиями по ускорению поверхностного стока
Поздневесенняя — раннелетняя засуха в условиях континентального климата Предуралья, снижение урожая на рыхленных слабозаболоченных дренированных почвах в результате иссушения поверхностных горизонтов в начале вегетации	дерново-глееватые оподзоленные (слабоглееватые) почвы на элювии пермских отложений в комплексе с сильно заболоченными почвами	отказ от глубокого рыхления слабозаболоченных дерново-глееватых оподзоленных почв; глубокое рыхление только сильно заболоченных (глеевых) почв
Аккумуляция поверхностного стока в горизонтах почвенного профиля, резкое ухудшение гидрологических условий, интенсивное вторичное заболачивание в результате рыхления недренированных оглеенных почв	глееватые и глеевые почвы различных генетических типов	отказ от глубокого рыхления оглеенных недренированных почв в целях улучшения их водного режима; осушение путем сочетания гидротехнических и агромелиоративных мероприятий

1	2	3
Высокая каменистость почв	почвы разной степени заболоченности и различного генезиса на моренных отложениях	замена сплошного рыхления на рыхление по полосам при наличии камня диаметром до 30 см, объемом менее 50 м ³ /га и валунов до 60 см в количестве 2–3 на 100 м траншеи; при большой каменистости отказ от глубокого рыхления
Систематическая обработка влажных почв сельскохозяйственными машинами с высоким удельным давлением на почву	почвы разной степени заболоченности на суглинистых и глинистых породах разного генезиса	отказ от глубокого рыхления; кротование
Высокая водопроницаемость структурных глинистых почв	пойменные зернистые, лугово-бурые и луговые, в разной степени заболоченные, хорошо оструктуренные и водопроницаемые почвы ($K_{\phi} = 0,3–0,4$ м/сут); в профиле отсутствуют водоупорные горизонты	отказ от глубокого рыхления и кротования
Застой воды на подпахотных водоупорных горизонтах органогенных почв	органогенные почвы различного ботанического состава, степени разложения и мощности	отказ от глубокого рыхления из-за ускоренной сработки торфа; возможна замена на кротование при степени разложения торфа $\leq 50\%$
Интенсивное обводнение поверхностных горизонтов почв перед началом работ по глубокому мелиоративному рыхлению	почвы различного генезиса и состава	предварительная подсушка дренированных почв с помощью кротования; рыхление после наступления благоприятной влажности
Мерзлотные горизонты мощностью более 5–7 см с поверхности или в толще рыхления	то же	рыхление после оттаивания мерзлотных горизонтов и наступления благоприятной влажности

рингом (1984). Позднее глубокое мелиоративное рыхление получило широкое применение в аридной и степной зонах при промывках засоленных почв и мелиорации солонцов. Оно улучшает качество промывок, способствует сокращению объема промывных вод

и более полному взаимодействию мелиорантов с почвенной толщей.

Чизелевание — агромелиоративное мероприятие, направленное на разрушение уплотненных водоупорных подпахотных горизонтов до глубины 40–45 см и увеличение внутрипочвенного стока.

Оно осуществляется с помощью специальных чизельных плугов. Их основным рабочим органом являются узкие стойки и лемеха, которые производят пассивное безотвальное механическое разрыхление подпахотных слоев почвенного профиля.

9.7.8.4.1. Альтернативные способы увеличения внутрипочвенного стока с помощью фитомелиорации

Агромелиоративные мероприятия по ускорению внутрипочвенного стока (глубокое мелиоративное рыхление, кротование, чизелевание) имеют ряд ограничивающих условий их эффективного применения. Все эти способы действуют относительно непродолжительный период. Обычно через 3–5 лет их необходимо повторять. Однако это связано со значительными затратами горюче-смазочных материалов, использованием тракторного парка и ремонтным обслуживанием. Кроме того, все эти энергоемкие мероприятия практически неприменимы для улучшения физических свойств уплотненных почв на легких породах.

Альтернативным способом увеличения внутрипочвенного стока, повышения водопроницаемости и общей пористости почв, снижения их плотности является система фитомелиоративных мероприятий, основанная на применении нетрадиционных многолетних трав с мощной корневой системой. В качестве биомелиорантов на всех почвах независимо от их гранулометрического состава используют посевы козлятника восточного и силфий пронзенолистной. Наиболее перспективным оказалось применение силфий пронзенолистной, корневая система которой проникает на глубину до 60–70 см.

Растения высевают один раз, а их вегетация продолжается затем на протяжении 10 лет и более. Ежегодно производят два укоса этих культур. Они разрыхляют почву мощными корневыми системами и обогащают ее значительной массой свежего перегноя. Зеленая и силосная масса козлятника восточного и силфий пронзенолистной хорошо поедается скотом. Средний ежегодный урожай зеленой массы козлятника восточного и силфий пронзенолистной составляет 400–500 ц/га. Корни силфий пронзенолистной на 3–6-й годы жизни достигают мощного развития и оказывают весьма существенное влияние на физические свойства почв. На 5–7-й годы жизни этой многолетней травы в 2–3 раза увеличивается содержание органического вещества в подпахотных горизонтах (в том числе и в почвах легкого гранулометрического состава), сни-

жается их плотность на $0,1-0,3 \text{ г/см}^3$, в несколько раз увеличивает-
ся K_{Φ} (Болатбекова, 2001).

Положительное последствие корней многолетних трав на физические свойства почв прослеживается на протяжении длительного периода. Использование силфий пронзёнолистной и других нетрадиционных трав с мощными корневыми системами должно осуществляться на минеральных гидроморфных почвах (например, на дерново-подзолистых, глееватых, глеевых) после осушения и создания благоприятных гидрологических условий для роста и развития этих растений.

9.7.8.5. СЛИТЫЕ ПОЧВЫ И ИХ МЕЛИОРАЦИЯ

Особое место среди тяжелых почв с низкой водопроницаемостью занимают слитые почвы, приуроченные преимущественно к степной, субтропической и тропической зонам. Эти почвы возникают в результате влияния естественных и антропогенных факторов. Они являются весьма сложным объектом агропроизводства. В последние годы площадь слитых почв, приуроченных к черноземной зоне, заметно расширилась в результате интенсификации нагрузки и орошения. Слитизация является, несомненно, деградационным фактором, так как сопровождается увеличением плотности, снижением общей пористости и воздухоносной пористости. Слитые почвы отличаются низкой водопроницаемостью, наличием в профиле почв водоупорных горизонтов, приводящих к кратковременному застою влаги. Черты слитости присущи многим почвам. Они проявляются, в частности, в солонцеватых почвах и особенно в солонцах. Однако ниже рассматриваются особенности генезиса и мелиорации только таких слитых почв, которые характеризуются невысоким (менее 5% от емкости катионного обмена) содержанием натрия, нейтральной или слабокислой реакцией. К этой группе почв обычно относят вертисоли, слитые черноземы, смолницы, слитые темноцветные почвы палин, слитые коричневые и другие почвы. Площадь таких слитых почв в пределах суббореального пояса невелика. Однако она резко возрастает в субтропической и тропической зонах. По данным Н.Н. Розова и М.Н. Строгановой (1969), площадь черных слитых субтропических почв в мире достигает 47,5, а черных тропических почв — 205,0 млн га. Наиболее крупные массивы слитых почв приурочены к территории Молдавии, Предкавказья, стран средиземноморской Европы и Северной Африки. Они встречаются в Северной и Южной Америке, в тропиках Африканского континента, в Индии, Австралии и в других странах, регионах и континентах.

В России эти почвы были описаны и изучены С.А. Яковлевым, 1914; В.Р. Волобуевым, 1948; К.П. Богатыревым, 1958; Э.А. Корнблумом и Ф.И. Козловским, 1965; Е.М. Самойловой, 1990 и др.

9.7.8.5.1. ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕЗИСА И СВОЙСТВА СЛИТЫХ ПОЧВ

Слитые почвы не являются единой генетической группой. Они описаны на водораздельных пространствах и в поймах. Их возникновение связано с воздействием как естественных, так и антропогенных факторов. Однако несомненно существование по крайней мере двух факторов, которые определяют возникновение признаков слитости повсеместно, независимо от генезиса и региональной приуроченности этих почв. Они заключаются в следующем.

Признаки слитости проявляются прежде всего в тяжелых слабодопроницаемых почвах, приуроченных к тяжелым (часто смектитовым) почвообразующим породам с содержанием илистой фракции (т.е. частиц $< 0,001$ мм) более 40%. При этом, однако, смектитовый характер глин является частым, но не абсолютным признаком, так как слитые почвы описаны и на глинах с низким содержанием трехслойных минералов. Так, черные слитые почвы обнаружены на иллитовых и коалинитовых породах.

Вторым важным условием слитогенеза является их контрастный гидротермический режим. Все слитые почвы характеризуются пульсирующими фазами обводнения (например, в период снеготаяния, выпадения ливней) и интенсивного иссушения всего профиля в период летней засухи.

Периодическое переувлажнение слитых почв в естественных условиях связано с поступлением намывных склоновых или русловых вод. Они встречаются на подчиненных элементах макрорельефа, занимая наиболее низкие уровни — плоские, слаборасчлененные равнины, межгорные котловины или депрессии холмистых пространств. Слитые почвы обычно характеризуются признаками морфохроматического оглеения. В период обводнения они набухают, в засуху подвержены резкой усадке. Эта особенность слитых почв обусловила характерный гильгайный тип микрорельефа их поверхности — чередование мелких бугорков и западин.

При иссушении и усадке профиль слитых почв расчленяется широкими и глубокими трещинами — сликенсайдами. Их протяженность по поверхности достигает нескольких десятков метров, а глубина проникновения прослежена до капиллярной каймы, т.е. до зоны с высокой и постоянной влажностью.

Темный цвет большинства слитоземов не связан с высоким содержанием гумуса. Обычно эти почвы бедны органическим веществом. Существует, по-видимому, несколько причин, объясняющих их характерную окраску. Во-первых, темная окраска таких почв может быть обусловлена нонтронизацией монтмориillonита, поскольку в анаэробную фазу в почвенном растворе накапливается двухвалентное железо. Последнее способно внедряться в кристаллическую решетку монтмориillonита. Образуется новый темноокрашенный минерал — нонтронит, высокожелезистый диоктаэдри-

ческий смектит. Он отличается значительным замещением алюминия на железо в октаэдрических слоях и кремнезема на алюминий — в тетраэдрических. Обычно это явление наблюдается при формировании тяжелых почв на основных и ультраосновных породах. Во-вторых, темная окраска слитоземов может быть связана с образованием аморфного и кристаллического гизингерита — водного силиката окиси железа $m\text{RO} \cdot n\text{F}_2\text{O}_3 \cdot p\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Его производные имеют характерный бархатно-черный или смолисто-черный цвет. В-третьих, в профиле слитых почв обычно присутствует магнетит $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, обладающий темным или черным цветом. Кроме того, в нижних слоях профиля возможна фиксация подвижных органических соединений на карбонатном барьере. В результате пульсирующего водного режима, систематической смены анаэробизма и оглеения аэрацией профиль слитозема формируется под влиянием глееобразования, протекающего в условиях застойно-промывного режима. В условиях орошения непродолжительные (не более 5 ч), но систематические переполивов на протяжении короткого ряда лет могут трансформировать структурные почвы (например, пойменные, черноземные) в бесструктурные, слитые, глыбистые вторичные образования. Это было показано на почвенных моделях (Зайдельман, Давыдова, 1989) и в натуре (Самойлова, Зборищук, 1990).

Поскольку глееобразование при застойно-промывном режиме является важнейшим процессом формирования слитых почв, их профиль характеризуется обезжелезнением, потерей органического вещества и других соединений, склеивающих почвенные частицы в домены, микро- и макроагрегаты.

9.7.8.5.2. МЕЛИОРАЦИЯ СЛИТЫХ ПОЧВ

Особенности генезиса, режима и свойства слитых почв определяют состав мероприятий по их мелиорации. Они должны заключаться в устранении периодов переувлажнения профиля и агрегировании бесструктурных горизонтов.

Слитые почвы степной зоны (слитые серые лесные и слитые черноземы), по данным В.И. Уварова и А.И. Иотова (1983), могут быть мелиорированы в результате перераспределения поверхностного и ускорения внутрипочвенного стока. Слитые почвы подвергают глубокому мелиоративному рыхлению вдоль склона, а их зяблевая пахота производится поперек склона. При такой обработке поверхностный сток переводят во внутрипочвенный. В нижней части склона (или последовательно на всем водосборе) внутрипочвенный сток перехватывают открытым каналом (или закрытыми дренами с траншейными фильтрами). Таким образом, снижается летний дефицит влаги и устраняется их переувлажнение.

Менее эффективным по сравнению с глубоким рыхлением оказались щелевание и кротование. Плантажная вспашка (глубокая пахота с оборотом пласта) неэффективна. На слитых слабокис-

лых почвах весьма целесообразно известкование, особенно в сочетании с использованием органических удобрений и сидератов. Всегда (особенно при орошении) возделывание сельскохозяйственных культур на слитых почвах необходимо в системе травопольных севооборотов с высокой насыщенностью травами.

Ликвидация летнего дефицита влаги на слитых почвах возможна с помощью орошения. Однако последнее должно осуществляться небольшими нормами и мелким дождем во избежание губительных для таких почв переполивов.

Для условий тропического климата Индии большой эффект был получен в результате применения системы агромелиоративных мероприятий по ускорению поверхностного стока и сети открытых коллекторов (Канвар и др., 1982). В известной мере эта система мероприятий напоминает узкозагонную пахоту. Она заключается в следующем. Под небольшим углом к горизонталям ($\sim 0,6^\circ$) поперек склона формируют гряды шириной 1,5 и высотой 0,15 м с бороздами шириной 0,5 м между ними. По бороздам происходит медленный сток поверхностных вод, что предотвращает переувлажнение почв на грядах в сезон дождей. Вода из борозд поступает в открытый канал (коллектор), дно и нижняя часть откосов которого засеяны травой. Коллектор трассируют вдоль склона. Поверхностные воды могут быть аккумулированы в водоеме и в засушливый период использованы для орошения.

Такая система мероприятий резко сокращает эрозию почв на склонах (на 50% и более), склоновый жидкий и твердый сток, а также существенно повышает продуктивность сельскохозяйственного производства.

9.7.9. ОСУШЕНИЕ, ОСВОЕНИЕ И ОХРАНА ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

9.7.9.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В зоне избыточного увлажнения на территории средней и южной тайги Российской Федерации одним из наиболее эффективных объектов мелиорации являются торфяные почвы низинных болот. Почвы верховых и, в значительной части, переходных болот (за исключением почв переходных высокозольных болот Карелии, Камчатки и некоторых других областей) не являются перспективными для сельскохозяйственного освоения.

Способы мелиорации органогенных почв, их освоение и охрана тесно связаны с их генезисом и теми изменениями, которые обусловлены влиянием земледельческой культуры. В естественных условиях торфяные почвы способны к постоянному росту за счет накопления органической массы растений-торфообразователей в поверхностном горизонте. В средней и южной тайге европейской части России темпы их роста составляют около 1–2 мм/год. После

осушения прекращается жизнедеятельность растений-торфообразователей, происходит осадка торфа и его консолидация (уплотнение) в результате удаления гравитационной воды. Наступает процесс активного биохимического разложения органической массы до углекислоты, воды и нитратов. Биохимическая сработка торфа приобретает направленный характер. Ее темпы обусловлены тремя факторами: глубиной залегания грунтовых вод, характером сельскохозяйственного использования органических почв и климатическими условиями региона.

После осушения в результате сброса воды и понижения уровня грунтовых вод происходит резкое уменьшение теплоемкости органических почв и их теплопроводности. Органические почвы в результате дренажа глубже и длительнее промерзают, поэтому их рассматривают как «холодные» почвы. В высоких широтах европейской территории России и в Сибири длительное наличие мерзлоты в торфяных почвах неглубоко от дневной поверхности является важным фактором торможения темпов разложения органического вещества. По наблюдениям И.И. Логинова (1985), скорость биохимической сработки в Барабинской низменности Западной Сибири осушенных органических почв не превышает 1–1,2 мм в год.

В условиях южной тайги и лесостепи европейской территории особенно опасным оказывается применение самотечного осушения и использование дренированных торфяных почв для размещения пропашных культур. В этом случае разложение торфа протекает весьма интенсивно — со скоростью до 2–3 см/год (табл. 44). Поэтому метровая толща торфа может быть сработана до минерального дна менее чем за 40–50 лет. Реальные темпы такой сработки часто оказываются более высокими, так как культура пропашных на торфяных почвах при самотечном осушении обычно сопровождается ветровой эрозией, а также поверхностными и глубинными пожарами.

Таблица 44

**Сработка торфяных почв
Новгородского опытного поля**

Годы наблюдения	Средняя мощность, м	Интервал, м
1914	1,25	0,6–1,9
1927	0,85	0,2–1,2
1948	0,40	0,0–0,7
1954	0,25–0,30	0,0–0,5

Особенно быстро разлагается торф при возделывании пропашных культур в условиях мягкого и влажного субтропического климата. Здесь разложение торфа приобретает катастрофический характер; его темпы, как видно из рис. 138, составляют 5–12 см в год. Таким образом, на протяжении жизни одного поколения исчезает мощная толща торфяных почв, на формирование которой в естественных условиях потребовалось более 500–1000 лет.

Полная сработка толщи осушенных торфяных почв является причиной выхода на дневную поверхность минерального дна бо-

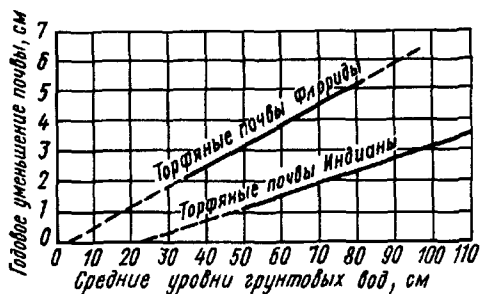


Рис 138. Сработка торфа в субтропических районах США при возделывании пропашных культур (Д. Стефенс, 1956)

лот. Если торфяные почвы залежали на суглинистых и глинистых породах, то их верхние слои удастся быстро окультурить и в дальнейшем использовать для возделывания широкого набора различных сельскохозяйственных культур. Однако на территориях полей — огромных низменных пространств, образованных древнеаллювиальными и флювиогляциальными песками и супесями, после сработки осушенных торфяных почв на дневную поверхность выходят минеральные сильнооглеенные низкоплодородные легкие кварцевые породы (пески и супеси). Здесь нередко под слоем торфа залегают мощные известковые образования — луговой мергель, туф, луговая известь, карбонатные сапропели, а в Сибири и на Дальнем Востоке — галечниковые или валунно-галечниковые отложения. Все эти породы плохо поддаются окультуриванию и поэтому очень часто на месте осушенного болота через короткое время могут сформироваться малопродуктивные пашни или возникать выходы на дневную поверхность оглеенных песчаных, галечниковых и карбонатных пород (рис. 139). При этом следует иметь в виду, что если песчаные массивы, оставшиеся после сработки, могут быть в дальнейшем использованы для размещения посадок леса (в основном сосны), то на карбонатном минеральном материале и на карбонатных сапропелях формирование растительного ценоза окажется весьма сложным и дорогостоящим мероприятием. Из этого следует вывод о непригодности одностороннего самотечного осушения низинных болот для размещения пропашных культур полевых или овощных севооборотов. Особенно опасным в южнотаежной и лесостепной зонах европейской части страны оказалось использование в 60-х годах в этих целях глубокого осушения низинных болот, направленного на полный отрыв капиллярной каймы зеркала грунтовых вод от нижних слоев торфа (рис. 139).

В результате глубокого осушения, основанного на принципе отрыва капиллярной каймы от основания торфяной залежи, в южнотаежной подзоне и лесостепной зоне на осушенных болотных массивах происходили ускоренная сработка торфа, пожары, бесполезная для растений потеря огромных масс азота, евтрофирование нитратами грунтовых вод, необратимая коагуляция органических коллоидов и, как следствие, частичная или полная потеря плодородия торфяных почв.

В результате глубокого осушения, основанного на принципе отрыва капиллярной каймы от основания торфяной залежи, в южнотаежной подзоне и лесостепной зоне на осушенных болотных массивах происходили ускоренная сработка торфа, пожары, бесполезная для растений потеря огромных масс азота, евтрофирование нитратами грунтовых вод, необратимая коагуляция органических коллоидов и, как следствие, частичная или полная потеря плодородия торфяных почв.

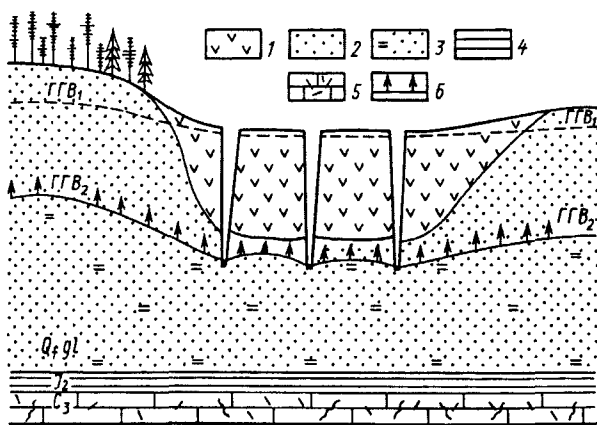


Рис. 139. Отрыв капиллярной каймы от нижней границы торфяной залежи в результате глубокого самотечного осушения низинных болот (схема).

ГГВ₁, ГГВ₂ — исходный и вторичный (после осушения) уровни залегания грунтовых вод; 1 — торф; 2 — песок флювиогляциальный; 3 — песок флювиогляциальный обводненный; 4 — юрские глины, региональный водоупор; 5 — трещиноватые известняки карбона; 6 — капиллярная кайма от зеркала грунтовых вод

Опасность заключалась и в том, что деградационные явления затрагивали в целом весь агроландшафт и меняли социальные условия жизни человека. Одновременно наблюдалось евтрофирование нитратами не только грунтовых вод, но и рек и ручьев, резко понижался базис эрозии, наступало обезвоживание значительных территорий, ухудшались лесорастительные и иные условия.

В этот период почвоведы-гидрологи (Зайдельман, 1960; Скрынникова, 1961) обратили особое внимание на то, что самотечное глубокое осушение низинных торфяных болот приведет к их деградации, быстрой сработке, загрязнению грунтовых вод, эрозии, пожарам и другим неблагоприятным и весьма опасным явлениям.

По-видимому, по этой причине в России самотечное глубокое осушение низинных болот не получило заметного распространения. Однако в 60-е годы в Белоруссии глубокое самотечное осушение торфяных почв стало основным способом осушения торфяных почв. Результаты не замедлили сказаться. Через двенадцать-пятнадцать лет произошла полная сработка органогенных почв на площади более 120 тыс. га. Образовались неплодородные или малоплодородные почвы — песчаные глееземы. Поэтому в начале 70-х годов самотечное глубокое осушение низинных болотных почв было признано опасным и в дальнейшем не применялось. Вместе с тем анализ истории возникновения этого способа осушения и его практического использования весьма поучителен. Он

свидетельствует о том, что каждый способ мелиорации почв эффективен и целесообразен только тогда, когда он адекватен их генетическим особенностям и условиям земледелия. Любое нарушение этого неперемного условия приводит в конечном итоге к опасным деградационным явлениям.

9.7.9.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В РАЗНЫХ КУЛЬТУРАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Из изложенного следует, что при мелиорации и использовании торфяных почв должен применяться такой комплекс мероприятий, который направлен на сохранение их органогенной толщи. Это прежде всего относится к органогенным почвам полесий, торфяным почвам, подстилаемым флювиогляциальными песками и супесями.

Земледелие на торфяных почвах имеет достаточно длительную и сложную историю. В Средние века на севере Европы использовались главным образом феновая и голландская культуры земледелия на осушенных болотах.

Феновая культура болот связана с использованием торфа на топливо. После разработки на топливо поверхностных слоев торфа нижние горизонты залежи обрабатывались так, чтобы вовлечь подстилающие минеральные суглинистые горизонты в пахотную толщу. Таким образом, создавался плодородный пахотный горизонт.

Голландскую культуру применяли на болотах, где осушительные каналы подходили к крупным городам. По каналам торф как топливо вывозили в город, а из города на болота транспортировали городские отходы для удобрения органических почв такого рода компостами.

Эти два способа имеют преимущественно историческое значение. Лишь феновая культура в некоторых случаях применяется при использовании в настоящее время в сельском хозяйстве выработанных полей фрезерной добычи торфа.

В практике современного земледелия наиболее широкое применение получили черная, смешанная (северная, или шведская); покровная, насыпная (или римпауская) и немецкая песчаная смешаннослойная культуры земледелия на осушенных торфяных почвах (рис. 140).

Черная культура. Прямое использование торфяных почв в земледелии без дополнительных мероприятий по изменению зольности поверхностного слоя или его перекрытия минеральным субстратом получило название черной культуры низинных осушенных болот.

При черной культуре особенно на фоне использования почв для пропашных растений происходит интенсивное разложение ор-

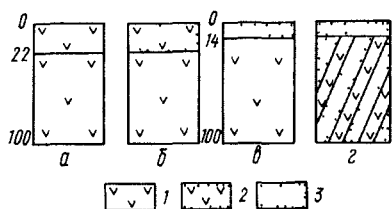


Рис 140 Схема изменения строения почвенного профиля при применении разных культур земледелия на осушенных болотных массивах
 а — черная (обыкновенная), б — смешанная (северная), в — покровная (римпауская) или насыпная, г — несмкая песчаная смешаннослойная культуры земледелия
 1 — торф, 2 — торф, смешанный с песком, 3 — песок, сушь

ганического вещества торфа. Как следует из изложенного, опасность заключается и в том, что на дневную поверхность выходят минеральные сильноогленные породы, например, огленные пески или известковые образования — луговой мергель, туф, луговая известь (последние при заболачивании почв жесткими, преимущественно напорными водами).

Черный (или обыкновенный) способ культуры земледелия торфяных почв в настоящее время получил наиболее широкое применение в России при

освоении низинных и близких к ним переходных болот. Выращивание сельскохозяйственных растений ведется на хорошо обработанном, удобренном торфянике при отрегулированном водно-воздушном режиме. Особый интерес представляют вопросы регулирования режима грунтовых вод, поскольку темпы сработки торфа резко замедляются, когда осушение болотных почв сопровождается поддержанием лугового типа водного режима почв, т.е. когда капиллярная кайма, поднимающаяся от зеркала грунтовых вод, устанавливается в поверхностных горизонтах почвенного профиля. Этим требованиям полнее всего отвечают мелиоративные системы с механическим водоподъемом (системы польдерного типа), в границах которых с помощью насосных станций можно легко регулировать уровни грунтовых вод.

В условиях юга таежной зоны европейской части России важным фактором стабильного использования мощных торфяных почв (горизонт Т > 1,5 м) является размещение на них травопольных севооборотов с высокой насыщенностью травами. Торфяные почвы с небольшой мощностью органических горизонтов (Т < 1,5 м) необходимо использовать только в качестве культурных сенокосных угодий.

Использование мощных торфяных почв в условиях травопольного севооборота или их длительное залужение при небольшой мощности торфа в условиях южной тайги и лесостепи европейской территории страны при неглубоком залегании уровня грунтовых вод наилучшим образом отвечает их естественным свойствам и последующей эволюции после мелиорации. Такие почвы при правильной системе удобрений на фоне активного регулирования уровня грунтовых вод могут быть важным источником получения значительной массы грубых кормов (сена) высокого качества.

При смешанной (северной) культуре земледелия (песковании) на поверхность осушенного болота вносят минеральный грунт (песок или суглинок) и перемешивают его с торфом при последующей обработке. Этот способ содействует улучшению физических и химических свойств, водного, теплового и питательного режимов торфяных почв. Он впервые начал применяться в северных странах: Швеции, Норвегии, Финляндии, Дании.

Сравнительно небольшие добавки (200–600 т/га) минеральных грунтов (песок или суглинок) значительно повышают урожайность и качество урожая зерновых, многолетних трав и других культур.

Длительные исследования смешанного способа, выполненные Шведским обществом по культуре болот, показали значительное улучшение физических свойств и теплового режима, лучшие условия обработки таких почв, более быстрое созревание выращиваемых культур. Особенно эффективным оказался метод пескования и глинования при освоении болот под пашню.

Следует, однако, отметить, что в последние годы появилась информация о том, что смешанная культура (пескование) может содействовать не только повышению урожая растений, но и известному ускорению темпов биохимической сработки торфа в результате усиления аэрации и окисления (Бамбалов, 1984). Это обстоятельство нуждается в дополнительной проверке и количественной оценке его влияния на баланс углерода.

Покровная, насыпная (или римпауская) культура земледелия на осушенных торфяных почвах (по имени Римпау, первым применившим его в Саксонии в 1862 г.) заключается в том, что поверхность осушенного торфяного болота перекрывают слоем минерального грунта (обычно песка) толщиной 14–16 см. Только первоначально допускается одноразовая припашка 2–3 см от верхнего торфяного горизонта для обогащения пахотного слоя органическим веществом (рис. 2.48).

Очевидно, процесс формирования верхнего песчаного пахотного горизонта весьма дорог и трудоемок. Но он быстро (через 2–3 года) окупается значительным дополнительным урожаем (до 20–30%). Кроме того, продолжительность последствий этого эффективного агромелиоративного мероприятия остается неопределенно долгой. Насыпная культура осушенных торфяных почв имеет и ряд других существенных преимуществ. Так, резко повышается несущая способность почв и улучшаются условия работы сельскохозяйственной техники и транспортных средств, снижается или полностью исключается угроза пожаров и сокращается опасность эрозии. Наконец, покровная культура существенно снижает вынос органической массы торфа с урожаем.

Покровная культура земледелия на осушенных торфяных почвах может быть создана специальными машинами (куль-машинами, рис. 141), которые используют для формирования песчаного

пахотного горизонта. Для этого на тракторе монтируется шнековый транспортер, который поднимает на дневную поверхность и рассеивает песок, залегающий непосредственно под торфяной толщей. За один проход такая машина создает ленту песка на поверхности торфяной почвы шириной 6–7 м и высотой 14–16 см. Специальные фрезерные устройства заполняют пустоты, образующиеся при проходе куль-машины, и выравнивают поверхность торфяной почвы.

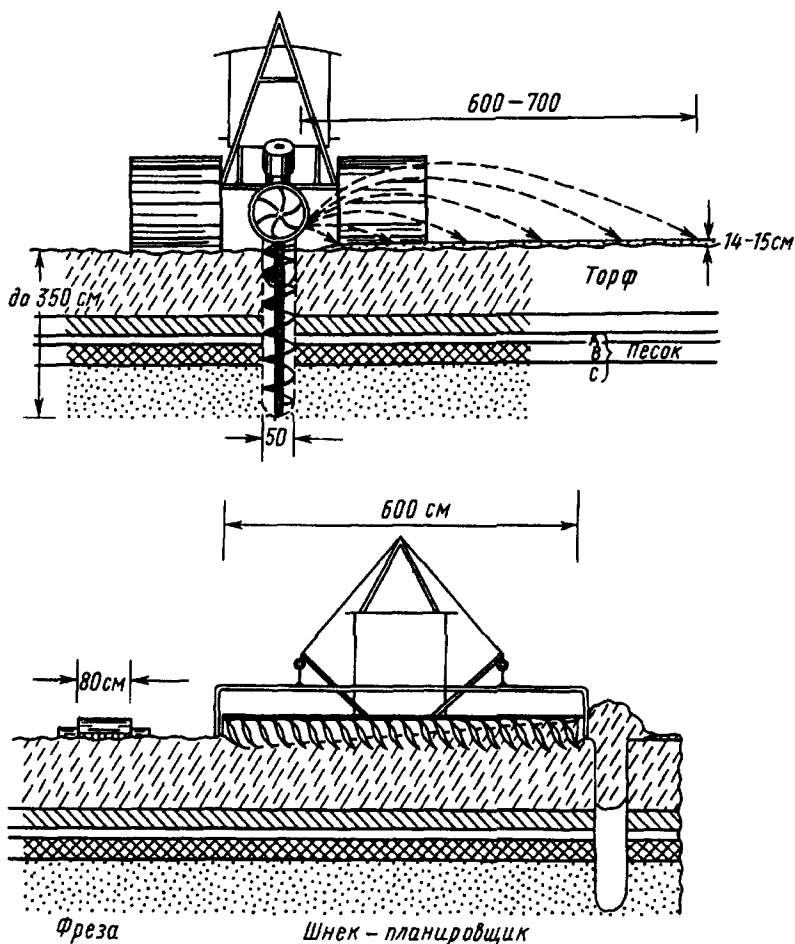


Рис. 141. Машина для извлечения на поверхность осушенных торфяных почв песка (супеси) и формирования насыпного минерального пахотного горизонта. Планировка и фрезерование поверхности после прохода машины. Римпауская культура земледелия осушенных торфяных почв (К. Готлих, 1980)

Существенно и то, что насыпная (римпауская) культура расширяет возможность использования осушенных торфяных почв. В условиях этой культуры они могут быть использованы для возделывания не только многолетних трав, но и некоторых полевых зерновых растений.

В северных регионах стран Европейского континента (в Швеции, Дании, Германии и др.) в условиях покровной культуры используются сотни тысяч гектаров таких земель, на которых размещаются сенокосы, пастбища, пропашные (кукуруза, турнепс, свекла, картофель, и др.), зерновые. В России опыт использования торфяных почв в покровной культуре пока практически отсутствует.

Немецкая песчаная смешаннослойная культура торфяных почв. В конце 30-х годов в странах Средней и Западной Европы (особенно в Голландии и ФРГ) получил широкое распространение новый, весьма своеобразный способ сельскохозяйственной культуры болотных органогенных почв, чаще всего применяемый на ранее осушенных массивах. Такой способ был назван немецкой смешаннослойной песчаной культурой земледелия на осушенных торфяных почвах. Он используется на болотных почвах с мощностью торфа от 0,5 до 2,4 м, осушенных систематической сетью открытых каналов, врезаемых в мощную толщу подстилающего песка (рис. 2.49). Такие болотные почвы глубоко пахут плугами специальной конструкции Вильгельма Оттомайера с удлиненным винтовым лемехом с оборотом всего торфяного слоя (рис. 142). В результате такой обработки торфяные горизонты утапливаются в почву в виде отдельных пластов под углом 45°, между которыми залегает мощная прослойка песка (рис. 143). На поверхности таких торфяных почв одновременно создают так же, как и при римпауской культуре, песчаный пахотный горизонт мощностью 14–15 см. В этот горизонт вносят органические и минеральные удобрения. Преимущества смешаннослойной песчаной культуры торфяных почв заключаются в том, что в этом случае торфозиты разлагаются органики, погребенной под слоем песка; в торфяных, косо поставленных слоях растения находят доступную влагу, а пограничные песчаные блоки обеспечивают быстрый дренаж избыточной воды в открытую сеть каналов или в закрытый дренаж.

Такая обработка дает торфяным почвам все преимущества римпауской культуры и одновременно исключает ее существенную негативную особенность. Именно смешаннослойная культура предотвращает возможность вторичного переувлажнения почв в результате их переуплотнения при систематической обработке.

В настоящее время в северных районах Германии фермерами в условиях немецкой песчаной смешаннослойной культуры используется в общей сложности более 300 тыс. га таких плодородных осушенных почв.



Рис. 142. Плуг с удлиненным винтовым лемехом конструкции В. Оттомайера для глубокой (до 2,4 м) пахоты торфяных почв

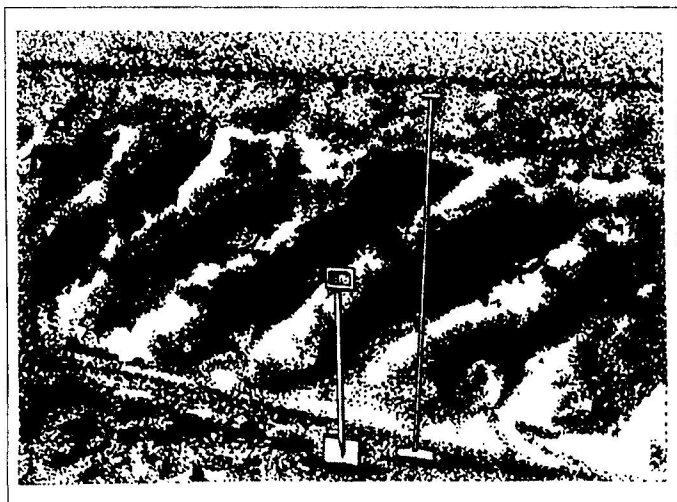


Рис. 143. Немецкая песчаная покровная смешаннослойная культура осушенных болотных массивов (Р. Эггельсманн, 1984)

9.7.9.3. ПИРОГЕННАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

9.7.9.3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПОНЯТИЯ

Обязательным условием аграрного использования торфяных почв является их осушение. Оно обеспечивает такой режим грунтовых вод, при котором становится возможным возделывание на дренированных гидроморфных органогенных почвах широкого набора сельскохозяйственных культур.

Дренаж почв, их осушение — важные достижения человечества, столь же древние, как и само земледелие. Они позволили освоить новые обширные территории в зонах избыточного увлажнения Земли. Кроме вовлечения в аграрное производство значительных площадей осушение изменило экологическую и экономическую обстановку жизни людей, улучшило условия их местообитания. Исчезли многие болезни, сократились наводнения, возникли новые коммуникации, поселения, экономические связи. Осушение создало фундамент цивилизации в странах Средней и Северной Европы.

Однако одновременно с началом работы дренажных систем, как только из пор торфяных почв исчезала гравитационная влага, так немедленно, практически синхронно в профиле почв происходила смена субаквальных анаэробных условий на аэробные. Накопление торфа сменялось его окислением и распадом. Положительный баланс углерода в торфяных почвах, существовавший на протяжении многих тысячелетий, замещался отрицательным. В результате возник процесс безвозвратной потери органического вещества, т.е. процесс гидротермической деградации торфяных почв.

Очевидно, этот процесс был обусловлен изменением только одного фактора — гидротермического режима почв и в первую очередь трансформацией режима грунтовых вод болотных массивов. При этом гидротермическая деградация торфяных почв всегда приобретала катастрофический характер тогда, когда в качестве основного приема осушения низинных торфяных болот в условиях полесий использовали способ самотечного осушения с помощью глубоких каналов (4–5 м), врезанных в водоносный песок. Такой дренаж обеспечивал стабильное понижение уровня грунтовых вод на осушаемых массивах на глубины, близкие к глубинам самих каналов, и отрыв капиллярной каймы от органогенных горизонтов почвенного профиля. Сброс гравитационной влаги вызывал уменьшение теплоемкости, повышение температуры и, как следствие, интенсификацию окисления и распада органического вещества. В этом случае возникают наиболее благоприятные условия для развития интенсивной гидротермической деградации торфяных почв. Следует, однако, подчеркнуть, что этот процесс проявляется не только при глубоком, но и при нормальном осушении, например тогда, когда в период летней межени происходит общее понижение

уровня грунтовых вод в ландшафте. В этом случае, так же как и при глубоком осушении, возможен отрыв капиллярной каймы от нижней кровли торфяной залежи, переход почв в условия стихийного водного режима и максимальный распад органического вещества торфа. В таких условиях гидротермическая деградация почв получает наиболее полное проявление. Она способна вызвать сработку торфяных горизонтов органогенных почв и оказаться причиной выхода на дневную поверхность подстилающих минеральных оглеенных пород. Этот процесс, однако, в зависимости от интенсивности дренажа, характера сельскохозяйственного использования почв, их мощности, климата и других факторов может продолжаться многие десятилетия, реже столетия.

Вместе с тем гидротермическая деградация опасна тем, что она обуславливает возникновение и другого, не менее актуального процесса деградации, который может в короткий срок, определяемый не годами и десятилетиями, а всего лишь несколькими днями, полностью уничтожить торфяные почвы, лишить значительные земельные массивы их плодородия и возможности последующего сельскохозяйственного использования. Гидротермическая деградация оказывается прелюдией возникновения пирогенной деградации торфяных почв, наиболее экстремальной формой их деградационной трансформации.

Последняя проявляется в опустошительных пожарах, частично или полностью уничтожающих эти почвы. При этом полное выгорание торфяных почв наблюдается преимущественно на осушенных сельскохозяйственных территориях полесских ландшафтов при относительно небольшой мощности торфа (1,0–2,0 м). Частичное сгорание органогенной залежи чаще происходит на неосушенных торфяных массивах при относительно близком залегании грунтовых вод к дневной поверхности. Эта форма пирогенной деградации может иметь место и на осушенных массивах на мощных торфяных залежах, если норма осушения или максимальное понижение уровня грунтовых вод не превышает или меньше мощности торфяной толщи.

Процесс пирогенной деградации торфяных почв получил особенно широкое распространение в конце прошлого и в начале XXI века, когда на территории СССР были созданы осушительные системы с самостоятельным глубоким осушением, а также тогда, когда в 90-х годах XX столетия пришла в глубокий упадок служба эксплуатации мелиоративных систем.

Таким образом, сгорание осушенных торфяных почв в результате пожаров следует рассматривать как национальное экстремальное экологическое бедствие, поскольку при этом происходят полное выгорание органического вещества торфа и невозполнимая тотальная ликвидация почвенного покрова. Это бедствие приобрело хронический характер. Пожары органических почв случаются еже-

годно, а их ареал приобретает определенную тенденцию к существенному увеличению. Причина такой тенденции определяется следующими факторами. Во-первых, отсутствием возможности активного регулирования уровней грунтовых вод на *самотёчных* осушительных системах в период летне-осенней межени из-за их конструктивных особенностей. Во-вторых, недостаточно оперативным регулированием уровнями грунтовых вод в меженный период на *польдерных* системах, отрывом капиллярной каймы от торфяной залежи.

Третьей причиной пожаров следует признать повсеместное использование торфяных почв в условиях черной культуры земледелия, при которой их поверхность не защищена от возгорания (рис. 2.50).

Приступая к рассмотрению проблемы пирогенной и гидротермической деградации торфяных почв, способам их защиты и рекультидации, следует остановиться на определениях этих явлений.

Пирогенной деградацией торфяных почв следует называть частичное или полное выгорание их органогенных горизонтов в процессе пожаров.

Пирогенная деградация может быть *глубинной*, при которой происходит полное сгорание всех торфяных горизонтов до минерального дна болота (рис. 2.51, 2.53) или (на мощных осушенных торфяных почвах) — до меженного уровня грунтовых вод при сохранении в исходном состоянии нижних субкавальных торфяных горизонтов, не затронутых пирогенным воздействием.

Возникающие при этом минеральные и торфяные вторичные деградированные дериваты исходно полнопрофильных торфяных почв мы будем называть *пирогенными образованиями*.

Вместе с тем возможны ситуации, при которых пирогенное воздействие на торфяные почвы ограничивается *поверхностным* воздействием. При пожаре в этом случае сгорает лишь верхний слой торфа разной мощности. Но при этом сохраняются нижние торфяные горизонты, которые обладают достаточно высоким плодородием и пригодны для возделывания сельскохозяйственных растений в постпирогенный период. В этом случае следует выделять *пирогенно измененные торфяные почвы* (или для краткости — *пирогенные торфяные почвы*). Таким образом, под *поверхностной* пирогенной деградацией понимают сгорание только верхних органогенных почвенных горизонтов (горизонта).

В первом случае — при глубинном проявлении пирогенной деградации — имеет место, как правило, практически полная потеря плодородия. Это наиболее опасный вид пирогенной деградации. Он наиболее часто проявляется в тех случаях, когда торфяные горизонты подстилаются водоносным песком, супесью или галечником. Такие ситуации широко представлены в полесских, пойменных, а также в моренных ландшафтах, почвообразующие и подстилающие породы которых образованы мощной толщей песчаных или супесчаных отложений разного генезиса. При поверхностной

пирогенной деградации не происходит полного сгорания торфяных горизонтов и потери плодородия. В этом случае почвы часто могут эффективно использоваться в сельскохозяйственном производстве.

Наконец, при оценке последствий пожаров и выборе способов рекультивации (табл. 46) актуальное значение приобретает характер распространения пожаров по площади осушенных торфяных почв. В этой связи целесообразно выделять локальное и тотальное выгорание торфяных почв. При локальных пожарах имеет место их пирогенное поверхностное или глубинное сгорание на небольших участках внутри значительных по площади осушенных массивов, которые образованы преимущественно плодородными торфяными почвами.

В случае тотального выгорания торфяных почв пирогенному уничтожению подвергается основная площадь их распространения или весь осушенный массив.

Вторым видом негативной трансформации осушенных торфяных почв является их гидротермическая деградация.

Гидротермическая деградация — процесс биохимического разложения органического вещества осушенных торфяных почв, темпы которого определяются их температурой, влажностью и уровнями залегания грунтовых вод. Как при пирогенной, так и при гидротехнической деградации конечным результатом этих процессов является полный распад органического вещества, исчезновение торфяных почв и выход на дневную поверхность минеральных пород, подстилающих торфяную залежь.

Пирогенная деградация торфяных почв может протекать стремительно и приводить к их полному уничтожению за весьма короткий период, определяемый днями. При гидротермической деградации имеет место тот же эффект, но он осуществляется за весьма продолжительный период, нередко исчисляемый многими десятилетиями. *Принципиальная задача заключается в том, чтобы исключить возможность возникновения пирогенной деградации и не допустить развития гидротермической деградации, наиболее ярким проявлением которой всегда является негативный баланс углерода.*

В случае любого из этих двух видов деградаций, таким образом, происходит сработка органических горизонтов разной мощности. При этом в случае пирогенно измененных торфяных почв особое значение приобретает оценка сохранившейся над уровнями грунтовых вод толщи торфяных горизонтов. В основу диагностики их хозяйственной значимости может быть положен эколого-гидрологический принцип оценки целесообразности использования торфяных почв и необходимости проведения рекультивационных мероприятий (Зайдельман 1985, 1991). Применительно к рассматриваемым ситуациям могут быть приняты три следующие степени деградации почв, испытавших пирогенное и гидротермическое воздействие:

1) почвы с пирогенно деградированным поверхностным горизонтом, в которых уровни грунтовых вод позволяют использовать их для размещения любых районированных сельскохозяйственных культур, возделывание которых целесообразно на торфяных почвах;

2) почвы с укороченными в результате пирогенной деградации торфяными верхними и средними частями профиля, в которых уровни грунтовых вод позволяют использовать их для размещения любых многолетних трав (бобовых, злаковых).

3) пирогенные образования с глубокой деградацией всех основных органогенных горизонтов и интенсивным вторичным заболачиванием их минерального профиля. Такие пирогенные образования возникают преимущественно в условиях осушенных болотных массивов с исходно малой (50–100 см) и средней (100–200 см) мощностью органогенных горизонтов. На мощных торфяных почвах (>2 м) в результате пожаров возможно возникновение особого вида пирогенных образований, который отличается тем, что в этом случае происходит полное выгорание органической массы торфа до межного уровня залегания грунтовых вод. Положение последних практически исключает возможность их любого использования в сельскохозяйственном производстве. Поэтому на таких пирогенных образованиях интенсивному сельскохозяйственному использованию должны предшествовать специальные мероприятия по их рекультивации.

Почвы первых двух групп в постпирогенный период характеризуются относительно благоприятными свойствами для ведения сельскохозяйственного производства. В основном они не подлежат рекультивации (табл. 46, 47). Специальные мероприятия здесь ограничиваются перемешиванием массы золы поверхностного слоя с нижележащим торфяным горизонтом. Если, однако, нижележащий горизонт в процессе пожара был подвергнут обжигу и уплотнен, то здесь может оказаться целесообразным его механическое разрушение с помощью кротования (но не глубокого рыхления).

9.7.9.3.2. ПИРОГЕННЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ И ПИРОГЕННО ИЗМЕНЕННЫЕ ПОЧВЫ

Сгорание торфа сопровождается возникновением вторичных пирогенных образований. Их строение определяется исходной мощностью торфа, его ботаническим составом, рельефом минерального дна осушенного болота и другими факторами. Так, на открытых пониженных пространствах осушенного болота с мощностью торфа около одного метра и более возникают пирогенно-перегнойно-песчаные образования (рис. 144). Они характеризуются присутствием мощного поверхностного слоя золы красноватого цвета, под которой залегает темный углистый горизонт и ниже — перегнойный слой, унаследованный от исходной торфяной толщи (рис. 2.52). Мощность этих темно-окрашенных слоев 15–25 см.

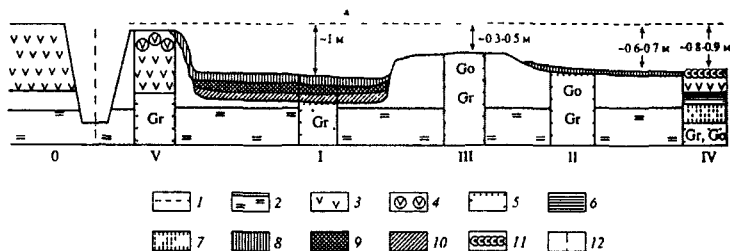


Рис. 144. Схематический профиль сгоревшего торфяного массива на территории польдера «Макеевский мыс» и структура пирогенных образований:

I — пирогенно-перегнойно-песчаные; II — пирогенно-песчаные, III — песчаные, IV — пирогенно-древесно-песчаные, V — пирогенно-измененные торфяные почвы, 0 — торфяные маломощные почвы до пожара, 1 — поверхность до пожара, 2 — уровень грунтовых вод, 3 — торфяной горизонт, 4 — горизонт прокаленного торфа, 5 — песок оглеенный, 6 — суглинок, 7 — супесь, 8 — горизонт золы, 9 — углистый горизонт, 10 — перегнойный горизонт, 11 — плотный слой стволов обгоревшей древесины, 12 — ось осушительного канала

В золе много элементов питания, но в первые два года здесь растет лишь единичная полынь, поскольку этот слой имеет резко выраженную щелочную реакцию (рН 10–11) из-за высокого содержания поташа (K_2CO_3). Затем по мере выщелачивания углекислого калия этот горизонт приобретает нейтральную реакцию. Поверхность таких пирогенных образований (около 40% всей площади пожарища) через 5–6 лет после пожара покрывается чистыми вейниковыми ассоциациями, которые могут производить до 30–35 ц сухого сена с гектара. Любое иное использование этих территорий предполагает повторное понижение уровня грунтовых вод, поскольку после пожара происходит их интенсивное заболачивание. Однако повторное осушение пирогенно-перегнойно-песчаных образований немедленно вызовет опасное понижение уровня грунтовых вод на сохранившемся массиве осушенных полнопрофильных торфяных почв и условия для возгорания и тотальной деградации уцелевших участков осушенных торфяных почв. Поэтому ареалы пирогенно-перегнойно-песчаных образований следует рассматривать как естественные злаковые сенокосные угодья, на которых уборка трав может осуществляться только вручную.

На повышенных участках минерального дна сгоревшего торфяного болота широко распространены пирогенно-песчаные и песчаные образования (30–35% общей площади пожарищ). Они характеризуются присутствием маломощного (< 6 см) слоя золы на поверхности или ее отсутствием (табл. 45). Малая мощность золы обусловлена, во-первых, небольшой исходной мощностью торфа и, во-вторых, ветровым сносом маломощного слоя золы с повышенных элементов рельефа минерального дна сгоревшего болота. Эти образования имеют кислую реакцию и низкие запасы элементов питания (рис. 2.54). Их водный режим относительно благоприятен для широкого набора сельскохозяйственных растений. Одна-

Вторичные пирогенные образования, возникающие после сгорания осушенных низинных торфяных почв полесских ландшафтов (Ф.Р. Зайдельман, А.П. Шваров, 2002)

Вид вторичных пирогенных образований и почв	Исходный вид осушенной торфяной почвы (до пожара)	Особенности морфологии профиля вторичных пирогенных образований и почв		
		мощность сохранившегося торфа	мощность слоя золы, см	минеральное дно болота
Пирогенно-перегнойно-песчаное	торфяные низинные мало- и среднечашные	нет	6–16 и больше	оглеенный песок
Пирогенно-песчаное	низинные торфяно-глеиные	" — "	3–6	" — "
Песчаное	низинные торфянисто- и торфяно-глеиные	" — "	< 3	" — "
Пирогенно-древесно-песчаное	торфяные низинные мало- и среднечашные с включением больших масс стволовой древесины	" — "	рассеянная масса золы в верхней части профиля, самостоятельный горизонт золы не выражен или < 3	оглеенные супесь, прослой суглинка, песок
Пирогенно измененная торфяная почва	торфяные низинные среднечашные	70–80% исходной мощности в верхнем полуметре, ниже — 100% сохранность	1–2	оглеенный песок

ко плодородие пирогенно-песчаных и песчаных образований весьма низкое. Через 5–6 лет после пожара здесь формируются лишь чистые ассоциации полыни, не имеющие кормовой ценности. Для освоения таких вторичных образований необходима сложная система специальных мероприятий по созданию и поддержанию их плодородия — известкование, внесение крупных доз минеральных и органических удобрений и др. Поэтому пирогенно-песчаные и песчаные образования не следует вовлекать в сельскохозяйственное производство. Пирогенно измененные торфяные почвы отличаются тем, что их поверхностные слои торфа подвергаются прокаливанию и приобретают неблагоприятные физические свойства в толще до 35–40 см. Ниже залегают горизонты с неизменными свойствами. Такие торфяные почвы могут быть использованы в земледелии.

Кроме приведенных в таблице пирогенных образований в зависимости от строения ландшафта, генезиса и состава подстилающих торф минеральных пород, режима грунтовых вод могут возникать и другие их виды. Следует выделить еще два дополнительных вида образований, возникновение которых имеет место в гумидных

ландшафтах: пирогенно-перегнойные образования на толще суглинистых и глинистых отложений разного генезиса и пирогенные образования на мощной толще аллювиальных галечниковых или валунно-галечниковых отложений.

Пожары опасны на всех перечисленных видах осушенных торфяных почв. Однако наиболее катастрофические последствия можно ожидать при сгорании относительно маломощных торфяных почв (до 1–1,5 м), приуроченных к речным долинам горных и предгорных территорий страны, близко подстилаемых грубым галечниковым аллювием. Такие болотные массивы часто встречаются в условиях предгорных и горных районов Кавказа, Западной и Восточной Сибири, Дальнего Востока. В связи с особенностями гидрологического режима здесь на болотных массивах возможны значительные колебания уровней грунтовых вод. На системах, где не осуществляется регулирование режима грунтовых вод, в период летней межени часто происходит отрыв капиллярной каймы от торфяной толщи и ее полное сгорание. Значительная масса пепла быстро уносится ветрами, а на дневную поверхность выходит верхняя кровля галечникового или валунно-галечникового аллювия. Ее продуктивность обычно ничтожно мала. Такие территории в перспективе не могут быть использованы в сельском хозяйстве даже в качестве низкопродуктивных лугов и пастбищ.

Таким образом, реальная опасность уничтожения торфяных почв в результате пожаров угрожает практически всем массивам осушения Российской Федерации, особенно в полесьях.

9.7.9.3. ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ И РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ОТ ПИРОГЕННОЙ И ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕГРАДАЦИЙ

Основную роль в защите торфяных почв от пирогенной и гидротермической деградаций призваны выполнять прежде всего профилактические мероприятия. Необходимо исходить из того, что уже на стадии проектирования осушения торфяных почв должны быть предусмотрены мероприятия по их защите от любых видов деградации. Отечественная и зарубежная практика выработала достаточно эффективную систему мероприятий, способных защитить торфяные почвы от опасных деградационных изменений.

В составе таких профилактических мероприятий должны быть предусмотрены:

- 1) преимущественное использование торфяных почв в качестве продуктивных зеленых угодий или в травопольных севооборотах с большим числом полей трав;
- 2) двустороннее регулирование уровней грунтовых вод и стабильное поддержание лугового типа водного режима в профиле осушаемых торфяных почв;

3) систематическое внесение органических и минеральных удобрений с целью поддержания высокого уровня плодородия почв и накопления значительных масс свежего перегноя за счет корневых систем растений, заправки соломы и пожнивных остатков;

4) применение песчаных культур земледелия — смешанной и покровной.

Эти мероприятия способны исключить возможность возгорания и ускоренной гидротермической деградации торфяных почв.

Все эти мероприятия необходимы и достаточны для защиты как полнопрофильных, так и поверхностно пироженно деградированных торфяных почв.

Пирогенные образования, в профиле которых произошло практически полное выгорание органогенных горизонтов или их сгорание до уровня грунтовых вод, подлежат рекультивации. Под рекультивацией следует понимать комплекс инженерно-технических, мелиоративных, агротехнических, агрономических и других мероприятий, направленных на восстановление биологической продуктивности почв, плодородие которых нарушено антропогенной деятельностью (Федосеева, 1977). Эти восстановительные работы необходимы как обязательное условие их эффективного использования в аграрном производстве.

Несмотря на определенные различия в свойствах и плодородии (например, песчаных и пироженно-песчаных, с одной стороны, и пироженно-перегноино-песчаных, с другой), все пирогенные образования при их экстенсивном вовлечении в сельскохозяйственный оборот будут находиться в весьма неблагоприятных условиях. На большей части их площади применение обычной техники для обработки, посева, уборки урожая в результате опускания исходной дневной поверхности после сгорания торфа окажется весьма затруднительным или невыполнимым мероприятием. Ее проходимость резко снижена из-за близкого залегания грунтовых вод.

Интенсивное сельскохозяйственное использование пирогенных образований на сгоревших осушенных болотных массивах предполагает прежде всего выполнение работ по их рекультивации. Они предусматривают решение следующих взаимосвязанных задач. Во-первых, восстановление гипсометрического уровня сгоревшего торфяного массива до его исходных высотных отметок. Эта задача должна решаться путем землевания территории почвогрунтовой массой, доставляемой на мелиорируемый массив. Во-вторых, формирование поверхностного плодородного и влагоемкого пахотного горизонта путем внесения в этот горизонт удобрений и небольших масс суглинистого грунта (Медведев, Горблюк и др., 1981). В этом случае такие минеральные вторичные антропогенные почвы можно будет использовать не только для размещения трав, но и широкого набора районированных сельскохозяйственных растений — зерновых, картофеля, овощных.

При проектировании мероприятий по рекультивации пирогенных образований последние объединяют в две крупные группы:

- 1) пирогенные образования на легководопроницаемых породах, заболоченные грунтовыми водами;
- 2) пирогенные образования на тяжелых слабоводопроницаемых породах, заболоченные поверхностными водами.

Пирогенные образования первой группы в ареалах активного влияния грунтовых вод на легких породах занимают практически все территории пожарищ в полесских ландшафтах, т.е. они занимают доминирующие площади в пределах Вятско-Камского, Верхневолжского, Ветлужского, Окско-Мещерского, Мокшинского, Деснинского и других полесий. Их отличительной особенностью является то, что все элементы ландшафта здесь находятся в тесной гидрологической взаимосвязи. Локальное понижение уровня грунтовых вод немедленно распространяется здесь на значительные территории (Зайдельман, 1991, 2001). Поэтому при локальном распространении заболоченных пирогенных образований внутри крупных массивов полнопрофильных плодородных осушенных органогенных почв применение дополнительного дренажа усилит пирогенную опасность всего массива.

Состав мероприятий по рекультивации пирогенных образований первой группы приведен в табл. 46.

Общая принципиальная направленность мероприятий по рекультивации пирогенных образований первой группы заключается в подъеме их гипсометрического уровня до отметок, при которых обеспечивается нормальное физиологическое развитие проектируемых культур. Поскольку рекультивированные антропогенные почвы в этом случае (за исключением почв на пирогенно-торфяных образованиях) будут иметь минеральный состав всех горизонтов профиля, здесь после завершения рекультивационных работ возможно размещение любых районированных культур. При этом в поймах возможно возделывание яровых культур и устойчивых к затоплению полами водами многолетних трав. В условиях внепойменных территорий на рекультивированных почвах возможно возделывание всех районированных в рассматриваемом регионе сельскохозяйственных растений.

Вместе с тем использование дренажа для осушения пирогенных образований на тяжелых породах в условиях поверхностного заболачивания может оказаться целесообразным мероприятием при рекультивации пирогенных образований второй группы (табл. 47).

Следует подчеркнуть и еще одно направление вовлечения пирогенных образований в хозяйственное использование. Оно особенно актуально в тех случаях, когда отсутствуют необходимые средства для рекультивации пирогенных образований. В этой ситуации на территориях распространения пирогенных образований благодаря близкому залеганию грунтовых вод могут быть созданы

Состав мероприятий по рекультивации пирогенных образований на водопроницаемых легких породах в условиях грунтового заболачивания (1-я группа) при локальном и сплошном выгорании осушенных низинных почв

Проектируемое использование				
Вид пирогенных образований	Экстенсивное		Интенсивное	
	естественное состояние	улучшенное состояние*	пятнистое (локальное) выгорание	сплошное выгорание крупных массивов (тотальное)
1. Пирогенно-галечниковые или валуново-галечниковые	непригодны для любого использования		1. Подъем поверхности землеванных масс с использованием значительных масс грунта 2. Планировка 3. Внесение органических и минеральных удобрений	1. Дренаж 2. Подъем поверхности землевани-ем и создание мелкоземистой корнесобираемой толщи (ограниченные объемы грунта) 3. Планировка 4. Внесение органических и минеральных удобрений
2. Пирогенно-песчаные или супесчаные	вейниковые луга средней продуктивности	вейниковые луга повышенной продуктивности	1. Сгребание зольного, углистого и перегнойного горизонтов 2. Подъем поверхности землевани-ем 3. Планировка 4. Разравнивание смеси зольного, углистого и перегнойного горизонтов 5. Внесение органических и минеральных — азотных и калийных удобрений** Сидераты	1. Дренаж 2. Сгребание зольного, углистого и перегнойного горизонтов 3. Планировка 4. Разравнивание смеси зольного, углистого и перегнойного горизонтов 5. Внесение на поверхность небольших масс суглинистого грунта (300—400 т/га) 6. Внесение органических, азотных и калийных удобрений. Сидераты
	немеханизированная уборка сена			Субсидиация, при интенсивном использовании территории дополнительно — дождевание (сиропно-импульсное)

3. Пирогенно-песчаные и песчаные (или супесчаные)	луга низкой продуктивности, хозяйственного значения не имеют	луга низкой и средней продуктивности	1. Подъем поверхности землевания см 2. Планировка 3. Известкование 4. Внесение крупных доз (100—150 т/га) органических и минеральных — азотных, калийных и фосфорных — удобрений. Сидераты	1. Дренаж 2. Планировка 3. Внесение на поверхность увеличенных масс суглинистого грунта (400—500 т/га) 4. Известкование 5. Внесение крупных доз (100—150 т/га) органических, азотных, калийных и фосфорных удобрений. Сидераты	Субстратизация: при интенсивном использовании территории дополнительно — ложление (синхронно-импульсное)
4. Пирогенно-торфяные на песках, супесях	луга низкой и средней продуктивности	луга преимущественно средней продуктивности	1. Создание покровной культуры земледелия (16 см пахотный посевной горизонт) или польем поверхности землеванием 2. Планировка 3. Известкование 4. Внесение органических и минеральных — калийных, фосфорных и азотных — удобрений. Сидераты	1. Дренаж 2. Создание покровной культуры земледелия 3. Планировка 4. Известкование 5. Внесение органических и минеральных — калийных, фосфорных и азотных — удобрений. Сидераты	
5. Пирогенно-древесно-песчаные или супесчаные	луга низкой продуктивности, хозяйственного значения не имеют	луга низкой продуктивности, хозяйственного значения не имеют	1. Уборка древесины с поверхности см 2. Подъем поверхности землевания см 3. Планировка 4. Известкование 5. Внесение органических и минеральных — азотных, калийных и фосфорных — удобрений. Сидераты	1. Дренаж 2. Уборка древесины с поверхности см 3. Планировка 4. Внесение на поверхность небольших масс суглинистого грунта (150—200 т/га) 5. Известкование 6. Внесение органических и минеральных — калийных, фосфорных и азотных — удобрений. Сидераты	

* Подкормка луговой растительности минеральными удобрениями.

** Для пирогенных образований с высоким содержанием фосфора в верхних горизонтах.

Состав мероприятий по рекультивации пирогенных образований на слабопроницаемых тяжелых (суглинистых и глинистых) породах в условиях поверхностного заболачивания (2-я группа) при выгорании осушенных низинных торфяных почв

Проектируемое использование				Интенсивное	Ложевание (синхронно-импульсное) при интенсивном использовании территории
Вид пирогенных образований	Экстенсивное		улучшенное состояние*		
	естественное состояние	луга средней и высокой продуктивности			
1. Пирогенно-перс- гойно-суглини- стые (глинистые)	луга средней продуктив- ности	луга средней и высокой про- дуктивности	1. Дренаж 2. Сгребание зольного, углистого и перегнойного горизонтов 3. Планировка 4. Разравнивание смеси зольного, углистого и перегнойного горизонтов 5. Известкование на кислых породах 6. Внесение органических и минеральных — азотных (фосфорных**) и калийных удобрений		
2. Пирогенно-сугли- нистые (глинис- тые)	луга низкой продуктив- ности	луга низкой и средней про- дуктивности	1. Дренаж 2. Планировка 3. Известкование (кислых породах) 4. Внесение крупных доз органических и минеральных удобрений		
3. Пирогенно-торфя- ные суглинистые (глинистые)	луга низкой и средней про- дуктивности	луга низкой и средней про- дуктивности	1. Дренаж 2. Создание покровной культуры земледелия 3. Известкование 4. Внесение органических и минеральных удобрений		

* Подкормка луговой растительности минеральными удобрениями.

** Пирогенно-перестройные образования могут характеризоваться высоким содержанием фосфора. В таких случаях внесение фосфорных удобрений целесообразно.

фермы для разведения водоплавающей птицы, рыбохозяйственные пруды, организованы охотничьи угодья, зоны туристического рыболовства.

9.7.9.4. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ НА ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Необходимость проведения рекультивационных работ по восстановлению плодородия земель в условиях гумидных ландшафтов связана главным образом с деградационными изменениями торфяных почв и залежей в результате их сработки в процессе добычи торфа на топливо, разработки торфяных месторождений для нужд сельского хозяйства с последующим использованием торфа в качестве подстилочного материала для животноводства, как источника органических удобрений, как сырья для медицинской и химической индустрии и в других целях.

Обширные отработанные искусственно дренированные торфяные месторождения после прекращения добычи торфа используют без рекультивации как пастбища, сенокосы, лесные угодья. Рекультивация существенно повышает интенсивность использования таких площадей.

Различают следующие пять основных направлений рекультивации нарушенных торфоразработками земель в зависимости от их проектируемого использования.

1. Сельскохозяйственное — для создания пашен, лугов, пастбищ, многолетних насаждений.

2. Лесохозяйственное — лесопосадки эксплуатационного и специального назначения (почвозащитные, санитарно-защитные, водоохранные и т.д.)

3. Водохозяйственное — создание водоемов различного назначения (водохранилища, пруды для разведения рыбы, дичи и т.д.)

4. Рекреационное — парки, спортивные бассейны, пляжи.

5. Архитектурно-планировочное — лесонасаждения, посевы луговых трав (газоны), обводнение пониженных участков и др.

Содержание работы по рекультивации использованных торфяных месторождений для последующего сельскохозяйственного использования определяется:

- 1) технологией добычи торфа;
- 2) водным режимом отработанного месторождения;
- 3) генетическим типом торфяной толщи, оставшейся после завершения эксплуатации карьера;
- 4) гранулометрическим составом грунтов минерального дна болота.

В связи с рекультивацией плодородия почв выработанных торфяников следует иметь в виду четыре способа добычи торфа (рис. 145):

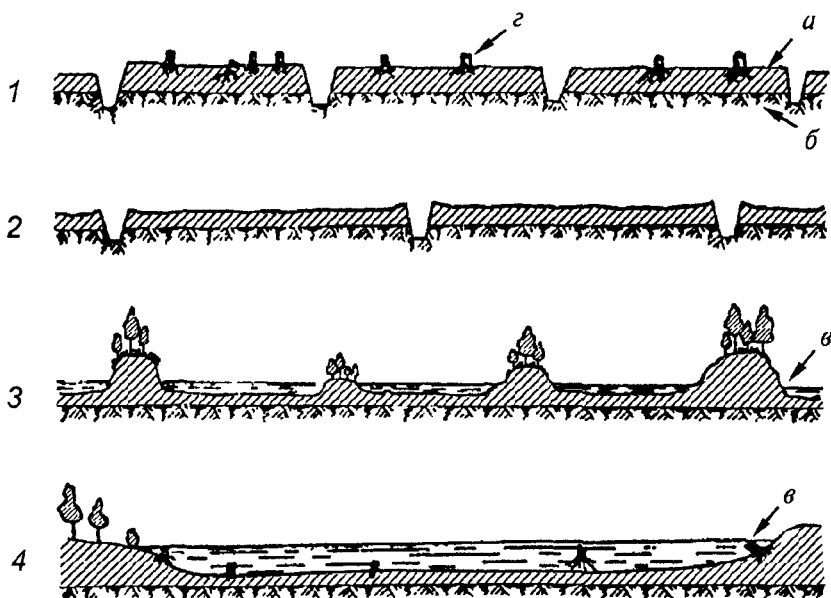


Рис 145 Схемы профилей выработанных торфяников при различных способах добычи торфа (А. И. Лрутнев, 1963)

1 — после ручной добычи торфа, 2 — после фрезерной добычи с выработкой бровки каналов, 3 — после машинно-формовочной выработки, 4 — после добычи способом «гидроторфа».

а — остаточный торф, б — минеральная порода, подстилающая торф, в — вода, г — остатки пней

1) торфяники, выработанные вручную;

2) торфяники, выработанные фрезерным способом. Эти карьеры имеют слабоволнистую поверхность. После рекультивации, как правило, удобны для посева сельскохозяйственных культур;

3) торфяники, выработанные машинно-формовочным способом. Площади таких выработок имеют сильно изрезанную поверхность, причем остаточный торф с древесной растительностью в виде узких всхолмлений чередуется с глубинными впадинами, откуда вычерпывалась торфяная масса. Такие карьеры сильно засорены пнями, а узкие всхолмления быстро зарастают древесной растительностью. Осушение, корчевка пней, планировка поверхности в условиях машинно-формовочной разработки торфяного карьера связаны с существенными затратами;

4) торфяники, выработанные способом «гидроторфа». Этот способ предполагает гидромеханические разрушения торфяной залежи струей воды, подаваемой на поверхность под напором с помощью насосов и брансбойтов («гидроторф»). Торфяная суспензия транспортируется затем по трубопроводам на поля сушки. Тщательно спланированные и хорошо дренированные поля разделены зем-

ляными валиками на чеки. Они затопливаются торфяной суспензией слоем 20—30 см. После удаления воды в результате испарения и фильтрации сухая масса торфа режется на брикеты.

На месте месторождений, разработанных способом «гидроторфа», обычно возникают озера, постоянно заполненные водой. Для возделывания сельскохозяйственных растений карьеры «гидроторфа» мало пригодны. Их используют главным образом для посева водяного риса, разведения рыбы и водоплавающей птицы (Трутнев, 1963). Производство рекультивационных работ в значительной мере предопределен и особенностями водного режима отработанного торфяного месторождения. Для условий лесной зоны европейской части России выделяют шесть основных типов водного режима выработок: залитые водой, частично залитые водой, периодически затопляемые, сильно увлажненные, увлажненные, сухие или нормально увлажненные. Первые четыре типа выработок при рекультивации нуждаются в проведении осушительных работ. Увлажненные выработки можно осваивать под луга и лесоразведение. Сухие или нормально увлажненные фрезерные поля, как правило, сразу вовлекаются в сельскохозяйственном производстве.

Независимо от принятой технологии добычи торфа основным условием для рекультивации плодородия почв выработанного торфяного месторождения является сохранение слоя торфа мощностью не менее 70 см. В равной мере это относится к массивам верховых болот, поскольку очень часто в процессе их естественной эволюции глубокие горизонты залежи образуют низинные торфа.

Ускоренная сработка слоя торфа, оставшегося после завершения эксплуатации месторождения, особенно опасна при его подстилании песком. Такие массивы должны использоваться только в качестве высокопродуктивных зеленых (луговых) угодий.

Все месторождения, подлежащие рекультивации, испытывающие переувлажнение (т.е. залитые, частично залитые, периодически затопляемые, сильноувлажненные и увлажненные), необходимо дренировать. В этой связи следует отметить, что все переувлажненные месторождения перед началом добычи торфа на удобрение, подстилку, топливо и сырье должны быть осушены открытой сетью, состоящей из магистральных, коллекторных и картовых каналов. Следует учитывать, что вышедшие из-под добычи поля в результате извлечения тем или иным способом торфа и снижения гипсометрического уровня поверхности обладают осушительной сетью, параметры которой не обеспечивают водный режим, необходимый для выращивания сельскохозяйственных культур.

В наиболее сложных условиях предусматривают прежде всего работы по реконструкции или строительству новой осушительной сети, которая должна отвечать по своим параметрам требованиям проектируемого сельскохозяйственного использования терри-

тории. Затем выполняют целесообразные культуртехнические мероприятия, связанные с устранением выемок, удалением кустарника, малоценного леса, разравнивание валов раскорчеваний древесины и др.

Обязательным условием рекультивации является планировка поверхности осушенного месторождения. Дальнейшие работы обусловлены характером использования территории.

Рекультивация позволяет создать на нарушенной площади разные виды угодий. Например, неглубокие карьеры с песчаным субстратом можно использовать под лесопосадки, не применяя значительных масс удобрений. При внесении минеральных и органических удобрений рекультивируемую площадь можно использовать для размещения многолетних трав и создать, таким образом, плодородные культурные сенокосы и пастбища. Если же на поверхности защитного слоя торфа нанести потенциально плодородный гумусированный почвенный мелкозем, то вновь созданная пахня будет пригодна для размещения всех районированных сельскохозяйственных культур. Различным видам использования земель соответствуют разные объемы рекультивационных работ и затраты на их выполнение.

Особое внимание при рекультивации почв выработанных торфяников следует уделять системе удобрений, направленной на создание и повышение их плодородия. На торфяных почвах с рН 5,0 и ниже перед внесением удобрений необходимо известкование, обогащение минеральными компонентами (песком, супесью) пахотного горизонта. Обычно эти почвы бедны калием, в них невелико содержание доступного азота, мало содержания аэробной микрофлоры. Поэтому при рекультивации необходимо внесение органических удобрений (прежде всего навоза), заправка соломы, значительных масс минеральных удобрений (N_{90} , P_{90} , K_{180} и т.д.). Нередко нецелесообразна пахота с оборотом пласта, и предпочтение должно быть отдано в этом случае поверхностной обработке дисковыми боронами на глубину 7—8 см (Трутнев, 1963). При этом не происходит глубокой заделки слоя пахотного горизонта, наиболее обогащенного микроорганизмами. После выполнения работ по восстановлению плодородия деградированных торфяных почв карьеров на них может возделываться широкий набор сельскохозяйственных культур. Так, на торфяных рекультивированных нейтральных или насыщенных щелочно-земельными металлами почвах могут возделываться капуста кочанная и кормовая, морковь, кормовые бобы, горох, картофель, многолетние злаковые травы.

На кислых в исходном состоянии торфяных почвах (в первые шесть лет) выращивают овес, горох, горохо-овсяную смесь, злаковые травы, картофель, а затем по мере окультуривания овощные (кормовые бобы, корнеплоды и др.) и многолетние бобовые травы.

9.8. ДВУСТОРОННЕЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА ОСУШАЕМЫХ ПОЧВ. ВИДЫ ШЛЮЗОВАНИЯ

Осушение обеспечивает сброс избыточной гравитационной влаги в критические периоды, например, в предпосевной период, в период выпадения обильных летних осадков во время вегетации и т.д. Однако между этими критическими фазами, лимитирующими процесс сельскохозяйственного производства, существуют и периоды интенсивного иссушения поверхностных корнеобитаемых горизонтов. Очевидно, дренажная система, как бы совершенна она ни была, не может уменьшить дефицит почвенной влажности.

Последнее негативно отражается на плодородии почв, вызывает снижение урожайности сельскохозяйственных растений из-за недостатка влаги в зоне избыточного увлажнения.

И.С. Васильев (1950) впервые показал, что в зоне избыточного увлажнения на суглинистых дерново-подзолистых почвах всегда имеет место летняя засуха, которая в пределах европейской территории страны в годы разной обеспеченности осадками может продолжаться в течение 2—5 недель. Поскольку под влиянием осушения водный режим заболоченных почв оказывается близким или тождественным режиму автоморфных почв, осушенные почвы также могут характеризоваться наличием такого периода, когда влажность пахотного горизонта оказывается ниже предельной полевой влагоемкости или нижней границы оптимального диапазона для развития растений (т.е. ниже влажности разрыва капиллярной связи). Очевидно, этот период недостатка влаги на легких почвах может оказаться еще более продолжительным, чем на почвах суглинистого состава. Особенно отчетливо дефицит влаги проявляется при использовании осушенных почв под многолетние травы. Поэтому нередко в зоне избыточного увлажнения на осушенных гидроморфных почвах оказывается целесообразным дополнительное увлажнение сельскохозяйственных культур. При этом следует иметь в виду, что если на минеральных почвах оно важно для создания благоприятных условий развития растений, то на торфяных почвах дополнительное увлажнение (субирригация) необходимо для сохранения самих почв.

В связи с рассмотрением задач регулирования водного режима минеральных гидроморфных почв следует коротко остановиться на возможности их переосушки при мелиорации. Переосушка в этом случае может проявляться двояко. Прежде всего следует иметь в виду те последствия, которые связаны с резким изменением физических свойств торфяных почв при глубоком осушении и применением неправильной агротехники (внедрение пропашных, ликвидация травосеяния и др.).

Задача такого осушения, как известно, заключается в глубоком понижении уровня грунтовых вод, при котором наступает отрыв капиллярной каймы от осушаемой толщи торфа, его интенсивное иссушение и обезвоживание. Неблагоприятные последствия применения этого способа осушения в лесостепной и южнотаежной зонах подробно были рассмотрены выше. Они проявляются, в частности, в ускоренной сработке торфа, эрозии почв, бесполезной для растений потере огромных масс азота, пожарах на торфяниках, необратимой коагуляции органических коллоидов и, как следствие, в частичной или полной потере плодородия почв.

Отрицательные последствия такой пересушки, свойственной только органогенным почвам, рассмотрены в работах Б. Такке (1930), С.В. Хухаудта (1950), Ф.Р. Зайдельмана (1960), И.Н. Скрынниковой (1961), П.А. Левицкого (1972) и др. Осушение минеральных почв не может послужить причиной такого неблагоприятного в сельскохозяйственном отношении изменения их свойств. Но интенсивное дренирование подчас вызывает слишком быстрое снижение уровней верховодки и неоправданное нарастание темпов иссушения корнеобитаемых горизонтов в условиях нерегулируемого действия дренажа. В этом смысле можно признать вероятность пересушки и минеральных гидроморфных почв. Опасность такой переосушки, как следует из изложенного, относительно невелика на тяжелых подзолистых почвах, поскольку их аккумулирующая емкость значительна.

Вместе с тем нерегулируемый сброс верховодки из крупнопористых структурных пойменных почв поверхностного заболачивания и быстрое снижение уровня грунтовых вод на более легких подзолистых и других почвах могут привести к резкому ухудшению режима влажности. Подтверждением этому служит нередко наблюдаемое ухудшение видового состава и снижение урожайности ценных влаголюбивых трав на суходольных лугах, в поймах и на песчаных водоразделах после интенсивного осушения. Предотвратить переосушку этих дренированных почв можно путем регулирования дренажного стока, дождевания и сублиригации.

Если установлена экономическая целесообразность орошения, то при реализации инженерных мероприятий по регулированию водного режима почв необходимо тщательно учитывать тесную связь между способом ирригации, с одной стороны, генезисом, составом почв и гидрогеологическими условиями — с другой. Поскольку отдельные способы орошения были рассмотрены ранее, ниже будет дан анализ почвенно-гидрологических условий объектов осушения, определяющих выбор способов дополнительного увлажнения. При рассмотрении этих вопросов следует исходить из того, что для дополнительного увлажнения автоморфных почв зоны избыточного увлажнения могут быть использованы практически все рассмотренные выше способы орошения.

Для осушенных гидроморфных почв в настоящее время применяют преимущественно следующие способы дополнительного увлажнения: 1) дождевание; 2) регулирование дренажного стока; 3) регулирование уровня грунтовых вод (субиригация); 4) прикатывание.

Дождевание на осушенных почвах может применяться всегда, независимо от их генезиса и причин заболачивания. При этом, однако, следует иметь в виду, что на торфяных почвах южнотаетажной подзоны европейской части России нередко при глубоком залегании грунтовых вод дождевание приводит к существенному ускорению темпов биохимического разложения органического вещества. Поэтому в таких условиях дождевание следует проектировать только в сочетании с регулируемым шлюзованием (см. ниже).

Следует подчеркнуть и еще одну особенность дождевания культур на осушенных почвах. Здесь опасен не только недополив, но и особенно переполив растений. Вместе с тем разработка долгосрочных графиков полива в условиях зоны избыточного увлажнения является весьма сложным, практически не решаемым мероприятием в связи с неустойчивостью погодных условий. Последующие после полива дождеванием обычными нормами ($200-300 \text{ м}^3/\text{га}$) дожди могут вызвать вторичное избыточное увлажнение поверхностных горизонтов. Поэтому в этой зоне полив осушенных почв должен производиться по суточному дефициту влажности. В этом случае полив малыми нормами ($5-8 \text{ мм}$, $50-80 \text{ м}^3/\text{га}$) часто оказывается наиболее целесообразным в агроэкологическом и водохозяйственном отношениях.

Регулирование дренажного стока, или предупредительное шлюзование, направлено на замедление темпа стекания части гравитационной влаги из почвенного профиля в виде дренажного стока. Оно осуществляется путем перекрытия открытой сети и крупных коллекторов шлюзами и задвижками. Необходимо подчеркнуть, что, во-первых, регулирование дренажного стока — мероприятие пассивное. В период летней межени в шлюзованной сети каналов будет неуклонно происходить опускание грунтовых вод. Во-вторых, применение этого приема ограничено крупнопористыми почвами грунтового или поверхностного заболачивания, содержащими значительные объемы гравитационной влаги (например, песчаными и супесчаными почвами болотно-подзолистого типа, глинистыми агрегированными зернистыми пойменными, торфяными и др.). На плотных почвах поверхностного заболачивания, например на тяжелосуглинистых и глинистых оглеенных подзолистых почвах, в связи с низкой активной порозностью и незначительным объемом пор, занятых гравитационной водой, мероприятия по регулированию дренажного стока оказываются малоэффективными или нецелесообразными вообще.

Более благоприятная обстановка по регулированию водного режима почв складывается в условиях увлажнительного шлюзования. Этот способ осуществляется на массивах, заболоченных грунтовыми и напорными водами. Он позволяет на протяжении всего вегетационного периода поддерживать грунтовые воды на расчетных уровнях, необходимых для почв и растений. Однако масштабы применения этого способа незначительны, так как случаи заболачивания почв напорными водами в гумидной зоне ограничены.

Важное значение при дополнительном увлажнении осушенных почв имеют мероприятия по активному регулированию уровня грунтовых вод (регулируемое шлюзование, обеспечивающее эффект субиригации).

Такой способ дополнительного увлажнения осуществляется на почвах, в исходном состоянии заболоченных грунтовыми водами. Это, как правило, легкие почвы, тяжелые почвы на близко залегающем к поверхности водоносном горизонте, а также органогенные почвы. Наряду с увлажнением минеральных и торфяных почв регулируемое шлюзование резко подавляет темпы биохимического разложения торфа и способствует сохранению органических почв при их целесообразном сельскохозяйственном использовании на неопределенно долгий срок. Регулируемое шлюзование обеспечивает активное изменение уровня грунтовых вод (в том числе и их подъем в засушливый период) путем подачи воды в шлюзованные открытые каналы осушительной сети, в коллекторную сеть, а из нее — в дренажные линии.

Вода поступает в проводящую и осушительную (регулирующую) сети из внешних водоисточников — рек, водохранилищ и др.

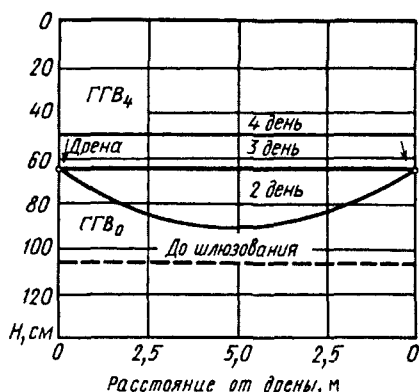


Рис. 146. Схема изменения депрессионных кривых во времени при регулируемом шлюзовании торфяных маломощных почв, подстилаемых песком в результате инфильтрации воды по дренам

в результате ее перекачки насосами. Поэтому особенно легко субиригация осуществляется в польдерах. При высокой водопроницаемости почв и подстилающих пород вода поступает в грунтовой поток непосредственно из дрен, постепенно повышая его уровень. При этом вначале формируется вогнутая депрессионная кривая, которая по прошествии определенного срока выравнивается и устанавливается на уровне или выше дрен (рис. 146). Если, однако, водопроницаемость почв невелика, то воз-

Целесообразные способы регулирования водного режима осушенных почв разного генезиса, гранулометрического состава и причины заболачивания

Почва, генезис и состав		Причины заболачивания (в исходном состоянии)	Способ регулирования влажности осушенных почв	
Болотно-подзолистая тяжелосуглинистая и глинистая	Болотно-подзолистая легкая и среднесуглинистая	атмосферные и склоновые воды	—	—
Болотно-подзолистая супесчаная и песчаная		грунтовые воды		—
Пойменная дерновая зернистая глинистая средне- и тяжелосуглинистая		намывные русловые	дождевание	регулирование дренажного стока
Пойменная дерновая зернистая, иловато-глиевова, подстилается песчаным аллювием на глубине до 1 м	грунтовые и (или) намывные русловые воды	субиригация путем формирования и подъема верховодки на фоне гонимого и кротового дренажа		
Торфяная		дождевание, прикатывание		субиригация; при низких значениях K_f торфяной залежи — кротовый дренаж



Рис. 147. Прикатывание пахотного горизонта осушенных торфяных почв для восстановления капиллярной связи поверхностных и подпахотных слоев почвенного профиля весной

возможность активного подъема уровня грунтовых вод исключена. В этом случае регулирование влажности с помощью субиригации невозможно (табл. 48).

Однако эффект такого дополнительного увлажнения может быть резко усилен путем устройства в осушаемых почвах (минеральных или торфяных) густой сети кротовин с небольшими расстояниями между ними (2–4 м).

Прикатывание — уплотнение поверхностных горизонтов торфяных почв (главным образом в весенний период) на осушенных массивах. Необходимость этого мероприятия в связи с регулированием водного режима пахотного горизонта осушенных торфяных почв объясняется тем, что в зимний период за счет перегонки пара из нижних теплых слоев к поверхности в нижней части пахотного слоя на границе с подпахотными горизонтами происходит накопление льда (Скрынникова, 1961). Лед отрывает пахотный горизонт от нижележащей монолитной и влагонасыщенной толщи торфа, нарушая его подпитывание по капиллярам корнеобитаемой зоны. Прикатывание торфяных почв перед посевом восстанавливает нарушенную капиллярную связь между пахотными и подпахотными горизонтами, улучшает водоснабжение сельскохозяйственных растений. Прикатывание производят весной специальными водоналивными катками. На осушенных торфяных почвах этот прием осуществляют ежегодно (рис. 147).

ДРЕНАЖ ЗАБОЛОЧЕННЫХ

10. ПОЧВ ПРИ ЛАНДШАФТНОМ И

ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Выше были изложены общие сведения о применении дренажа для оптимизации свойств и режимов почв в условиях сельскохозяйственного производства. Однако осушение почв служит не только сельскому и лесному хозяйству, но оно необходимо и при других видах использования переувлажненных территорий, в частности при ландшафтном и гражданском строительстве.

При помощи осушения создается жизненное пространство, необходимое для существования человека во всех сферах его деятельности.

В этой связи следует подчеркнуть, что принципы оптимизации свойств и режимов заболоченных почв остаются общими. Однако частные аспекты, несомненно, имеют особенности, которые в значительной мере определяются требованиями частного хозяйства.

10.1. ОСУШЕНИЕ ПОЧВ ДЛЯ САДОВ И ЯГОДНИКОВ

10.1.1. В КАКИХ СЛУЧАЯХ НУЖНО ОСУШАТЬ ПОЧВЫ ДЛЯ САДОВ И ЯГОДНИКОВ

Заболоченность почв — один из важнейших факторов, ограничивающих возможность использования их в фермерском и садоводческом хозяйствах.

Особенно внимательно следует относиться к устранению избыточного увлажнения почв при их подготовке к размещению семечковых садовых деревьев с глубокой корневой системой. В Черноземье широко распространены яблоневые сады. Яблоневые деревья с глубокой корневой системой (2–3 м) чувствительны к оглеению почв и их заболоченности. При подготовке почвы для такого сада важно обратить особое внимание на изучение морфологии почв глубоких (2–2,5 м) разрезов, поскольку почва сохраняет в своей «памяти» следы периодического избыточного увлажнения в виде пятен или горизонтов оглеения. Существенно и то, что, не-

смотря на благоприятный гранулометрический состав почвы, достаточный запас элементов питания и хорошее положение по рельефу, наличие оглеения (с 1,2–1,5 м) делает данную площадь непригодной для семечкового сада.

Для сливы, вишни, крыжовника слабое оглеение допустимо на глубине не выше 1,5 м; для черной смородины и малины — не выше 1,0 м от дневной поверхности. Безусловно неблагоприятны для развития корней плодовых и ягодных культур горизонты оглеения с индексом g'' , g''' и все глеевые горизонты (Gr, Go, Gmr, Gl).

Существенное влияние на состояние сада оказывает режим грунтовых вод. При его оценке следует иметь в виду, что особенно опасно затопление корней в летний период на фоне активной вегетации, когда в застойной, теплой воде резко снижается содержание растворенного кислорода. Вместе с тем подъем воды ранней весной (до распускания почек) и поздней осенью (после завершения вегетации) не представляет серьезной опасности для корневых систем плодовых деревьев.

При оценке влияния режима грунтовых вод на состояние сада следует иметь в виду, что при посадке плодовых деревьев (главным образом при посадке семечковых) уровень грунтовых вод должен находиться на 1,5–2,0 м ниже поверхности земли. В дальнейшем его следует поддерживать в вегетационный период на глубинах: для плодовых семечковых деревьев не выше 2,0 м; для крыжовника — 1,5 м; для земляники — 0,6–0,7 м.

Садовые культуры обладают особо высокой чувствительностью к заболоченности почв еще и потому, что при избыточном увлажнении часто складываются неблагоприятные термические условия. Например, яблоня всегда имеет весьма угнетенное состояние, если на участке находятся ключевые холодные воды в тех горизонтах, где распространены ее корни. Особенно неблагоприятные условия наблюдаются в переувлажненных западинах, где попытки восстановления плодовых деревьев на месте погибших всегда заканчиваются неудачей. Это наблюдается даже в условиях кратковременного застоя влаги в западинах. Именно в западинах плодовые деревья в первую очередь страдают от заморозков и вымерзают.

10.1.2. ОСОБЕННОСТИ ОСУШЕНИЯ И ОКУЛЬТУРИВАНИЯ ПОЧВ ДЛЯ САДА

Использование заболоченных почв для создания сада всегда предполагает их осушение. Садовые культуры определяют требования к конструкции осушительных систем, а также к системе мероприятий по окультуриванию почв для их размещения. Эти требования сводятся к следующему.

Во-первых, корневые системы садовых культур определяют глубину заложения дренажа и наиболее целесообразную глубину грунтовых вод. Эти вопросы рассмотрены были выше.

Садовые культуры обуславливают значительную глубину дренажа. Так, для семечковых плодовых деревьев (например, для яблоневых садов) исходя из свойств почв и физиологических потребностей культур дренаж следует закладывать на глубину не менее 1,2–1,5 м.

Во-вторых, корни садовых деревьев в период межени распростираются в глубокие слои почвы и в засуху проникают в дренажные линии, где может оставаться вода. Скопление корней вызывает закупорку труб. Поэтому необходимы специальные мероприятия, исключаяющие такое явление.

В-третьих, садовые культуры высаживают рядами, которые определяют конфигурацию дренажных линий.

Наконец, в-четвертых, перед закладкой сада необходимо повышение общего плодородия почв, выполнение комплекса мероприятий по защите деревьев от ветрового воздействия и ряд других условий.

Для того чтобы защитить дренажные трубы от проникновения корней, необходимо не допускать их миграцию через стыки в полость дрен и ускорить сток гравитационной влаги путем придания им максимальных уклонов.

А.М. Думбляускас (1976) подчеркивает одно очень существенное правило строительства дренажа: «При создании сада, выбирая наиболее подходящий для осушения дренаж, ни в коем случае нельзя руководствоваться только соображениями наименьшей строительной стоимости. В случае выхода из строя дренажной сети на территории сада ее восстановление чрезвычайно затруднено ограниченной возможностью ремонта». Для садов рекомендуется пластмассовый (или гончарный) дренаж с траншейной укладкой. Срок действия дренажа около 50 лет. Диаметр пластмассовых труб 50 или 63 мм.

Наиболее надежным видом дренажа для садов является конструкция Реролле (рис. 148). Этот дренаж выполняют из гончарных труб, стыки между которыми заполняют цементным раствором или защитными муфтами. Для приема грунтовых вод через каждые 3–5 м устраивают вертикальные трубки, которые соединяют дрены с водосборными шурфами, заполненными камнем, гравием или щебнем. Из шурфов через нижние отверстия вода поступает в вертикальные трубы, а затем по мере заполнения водой шурфа в горизонтальные дрены. Такой дренаж исключает проникновение корней в дрены.

Строительство этого дренажа связано со значительными затратами ручного труда, щебня или гравия (около 5 м³ на 100 м дрены). Поэтому этот вид дренажа пока не получил широкого распространения. Кроме того, он невозможен в плывунах и затруднен в каменистых почвогрунтах.

Вторым интересным решением следует признать перекрестный дренаж для садов (рис. 149), предложенный Ц.Н. Шкинкимсом (1969). Дренаж строится в два яруса. Верхний и нижний яру-

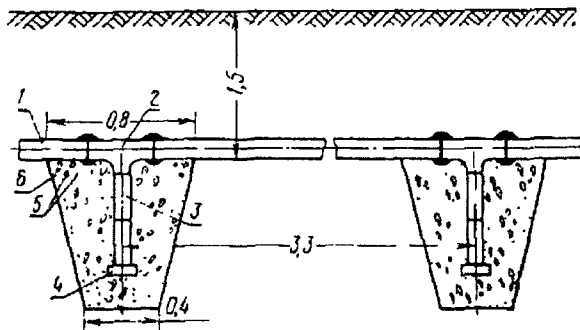


Рис. 148. Дренаж Реролле:
1 — дренажная труба, 2 — тройник керамический; 3 — вертикальная труба; 4 — опора трубы; 5 — защита стыков цементным раствором или муфтой; 6 — водосборный шурф, м (А.М. Думб-ляускас, 1976)

сы располагаются во взаимоперпендикулярных направлениях. В точках пересечения верхние и нижние линии соединены между собой. Нижние дренажные линии выполняются из гончарных труб диаметром 75 мм, верхние — из пластмассовых диаметром 68 или 63 мм. Этот дренаж обеспечивает интенсивное и равномерное осушение. В случае закупорки дрены в какой-либо точке, например в результате проникновения корней, ни одна из дренажных линий не выходит из строя. Однако технология строительства перекрестного дренажа остается неразработанной.

Поэтому обычная технология строительства систематического или разреженного дренажа может оказаться наиболее надежной в том случае, если выдержана глубина его заложения, а дренажным линиям приданы достаточно большие уклоны. При этом для сада должны проектироваться небольшие дренажные системы, с тем чтобы уменьшить сроки движения воды по дренам и коллекторам.

Минимальный уклон коллекторов на осушительных системах в саду принимают 0,004, а дренажных линий — 0,006, т.е. соответственно на 100 м длины перепад между истоком и устьем 40 и 60 см. В саду дрены проектируют и строят параллельно рядам деревьев. При междурядье в 6–8 м для почв внепойменных участков на покровных, флювиогляциальных и моренных породах можно использовать следующие междренные расстояния для условий южнотажной подзоны европейской части России (табл. 28).

Создание дренажной сети в саду сопряжено с рядом сложностей. Если дренаж закладывают после посадки сада, то в процессе строительства происходит повреждение многих деревьев. Однако если сад

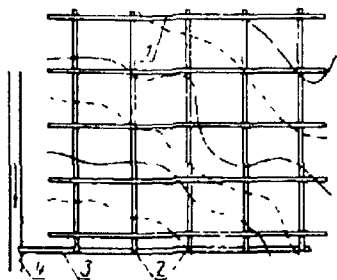


Рис. 149. Перекрестный дренаж Ц.Н. Шкин-киса:

1 — верхние осушительные дрены из полиэтиленовых труб диаметром 63 мм; 2 — нижние осушительные дрены из гончарных труб диаметром 75 мм; 3 — коллектор из полиэтиленовых труб диаметром 110 мм; 4 — открытый коллектор

Расстояние между дренами при осушении почв под сады

Гранулометрический состав почв	Расстояние, м
Супесь	24—30
Легкий суглинок	20—24
Средний и тяжелый суглинок	16—20

высаживают на осушенную закрытым дренажом площадь, то многие деревья оказываются над дренами, что неминуемо приводит к быстрому выходу из строя дрен в результате их закупорки корнями и других повреждений.

На основе многолетнего опыта можно рекомендовать проводить работы по закладке сада и дренажа в такой последовательности: наметить дорожную сеть и контуры каждого квартала сада, вокруг которых посадить ветрозащитные насаждения; внутри квартала по выбранной схеме посадки разбить площадь по двум взаимно перпендикулярным сторонам и провести закладку двух-трех рядов плодовых деревьев (рис. 150).

После этого необходимо выполнить дренажные работы, строго придерживаясь рядов насаждений. При такой организации работ плодовые деревья и другие насаждения не будут страдать от переувлажнения почв, при строительстве дренажа их не будут засыпать грунтом, все работы можно механизировать, а дренажные линии провести между рядами.

Перед закладкой сада выполняют подготовительные культурно-технические работы — расчищают территорию от кустарника, удаляют камни, засыпают ямы, корчуют пни, срезают кочки, растрясая валы раскорчевок и др. После этого производят планировку поверхности.

После планировки выполняют глубокую первичную вспашку. Ее глубина зависит от мощности гумусового и подзолистого горизонтов. Подготовку почвы под сад необходимо начинать за два-три года до посадки садовых деревьев. Для повышения плодородия суглинистые почвы целесообразно засеять смесью клевера и тимopheевки, супесчаные — узколиственным люпином на зеленое удобрение. На всех почвах, пригодных под сады, лучшими предшественниками будут овощные и вообще пропашные культуры. Обработку почвы перед осенней закладкой сада необходимо заканчивать за месяц до посадки деревьев. Глубина предпосадочной обработки достигает 35—40 см.

Перед вспашкой вносят 60—100 т/га навоза или торфонавозного компоста, фосфорно-калийные удобрения и известь. Вначале рассеивают смесь минеральных удобрений и известь, а затем раз-

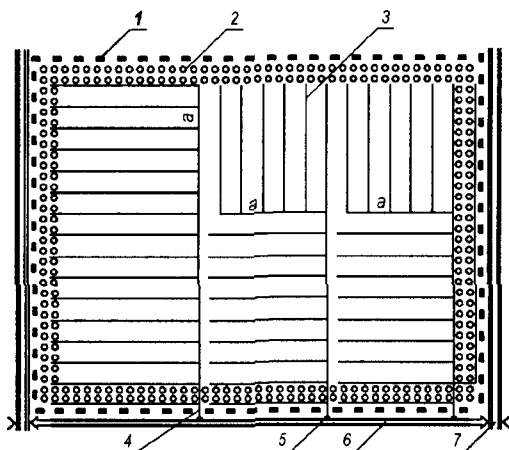


Рис. 150. Первичная схема по закладке сада и заложению дренажа:

1 — ветрозащитная полоса; 2 — плодовые деревья; 3 — осушительные дрены; 4 — коллектор; 5 — устье коллектора; 6 — канал; 7 — дорога

брасывают по полю навоз или компост. В тот же день удобрения заделывают в почву. Сеянцы яблони лучше всего развиваются при pH почвы

6–7, при pH более 7 они замедляют рост, а при pH 7,6–8,0 заболевают хлорозом и перестают расти.

Рассмотренная выше технология пригодна для относительно слабо заболоченных минеральных почв или для предварительно осушенных открытыми каналами и агромелиоративными мероприятиями заболоченных почв. Торфяные почвы, как правило, не пригодны для размещения садовых деревьев из-за близкого залегания к дневной поверхности грунтовых вод, опасности частых заморозков, летнего перегрева почвы. Поверхностные воды, воды источников и пластовые воды перехватывают ловчими дренами или поглощающими колодцами (шлюкерами).

10.2. ДРЕНАЖ ПАРКОВ И ЛЕСОПИТОМНИКОВ

10.2.1. УСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ К ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЮ

При создании парка необходимо обращать особое внимание на правильный подбор древесных растений. Они выполняют различные функции при организации приватного хозяйства — защищают территорию от опасной эрозии, ветра, пыли; повышают биоразнообразие; скрадывают дефекты ландшафта, украшают и подчеркивают его привлекательные особенности; повышают комфортабельность местообитания человека.

Следует учитывать реакцию древесных растений на переувлажнение. Рассмотрим поведение основных видов древесных пород.

Сосна приурочена главным образом к легким кислым почвам, образованным на песках разного генезиса. Она развивается наиболее эффективно на легких бурых, дерново-подзолистых и подзолистых почвах, образованных на супесчано-песчаных отложениях разного происхождения. Сосна лучше всего произрастает

на почвах средних и нижних частей склонов со слабыми признаками гидроморфизма, т.е. на глубокооглеенных и глееватых почвах. На таких почвах она обладает наиболее высоким бонитетом. Здесь сосна дает наибольший прирост древесины, и она представлена наиболее крупными деревьями. На сухих (автоморфных) почвах ее продуктивность заметно снижается. На более заболоченных почвах (глеевых) она выпадает или замещается угнетенными формами.

Ель хорошо развивается на неоглеенных и глубокооглеенных суглинистых и глинистых почвах. Ее продуктивность резко снижается при усилении степени оглеения на почвах такого гранулометрического состава. Однако на легких заболоченных почвах (глееватых и глеевых) она отличается высоким бонитетом и производит наибольшую массу древесины. Дальнейшее усиление заболачивания вызывает ее угнетение и гибель (т.е. на торфянисто-подзолисто-глеевых и более заболоченных легких почвах).

Липа, дуб, ясень, вяз, клен, акация, рябина, каштан растут и развиваются на автоморфных суглинистых и глинистых дренированных почвах. При этом липа, дуб, ясень предпочитают слабокарбонатные серые почвы. Они успешно существуют и на легких почвах, образованных на двучленных отложениях при неглубоком залегании карбонатных суглинистых и глинистых отложений.

Береза бородавчатая обладает широким диапазоном приспособляемости. На дерново-подзолистых и серых лесных легко- и среднесуглинистых дренированных почвах формируются ее чистые ассоциации высокого бонитета. Однако береза приземистая выдерживает определенное заболачивание. В угнетенной форме она развивается на глееватых почвах. Хорошее развитие березы возможно на легких почвах, особенно при близком залегании суглинисто-глинистых отложений.

Ирга и рябина успешно вегетируют на легких естественно дренированных почвах.

Тополь, осина, ветла хорошо развиваются на хорошо дренированных неоглеенных почвах. Вместе с тем они неплохо переносят и начальные стадии оглеения почв и успешно развиваются на нетяжелых дерново-подзолистых глубокооглеенных и глееватых почвах. На глееватых почвах разного генезиса и состава возможны рост и развитие ольхи, различных ив, в том числе и ее плакучих декоративных форм.

Наиболее устойчивым древесным растением к заболачиванию следует признать черную (липкую) ольху, способную вегетировать на сильнооглеенных почвах притеррасий.

Ольха серая обычно приурочена к влажным местообитаниям, образованным слабооглеенными (глубокооглеенными и глееватыми) почвами.

Интенсивное переувлажнение на почвах такой степени оглеения переносит ива пятитычинчатая - чернотал, на глеевых почвах — ива черничная, а также тальник розмаринолистный. Лоза, или корзиночная ива, широко распространена на песчаных почвах с хорошей аэрацией верхних горизонтов и неглубоким залеганием грунтовых вод (0,7–1,2 м).

10.2.2. ДРЕНАЖ ПАРКОВ И ЛЕСОПИТОМНИКОВ

Расположение регулирующих дрен-осушителей и особенно коллекторов, вода по которым часто проходит и в засушливые периоды, проектируют таким образом, чтобы глубоко проникающие корни кустарников и деревьев не нарушали их работу. Коллекторы, трассы которых проходят параллельно рядам кустарников и деревьев, должны находиться от них на расстоянии не менее 20 м. Если это невозможно, следует проектировать короткие дрены. Отрезки коллекторов, проходящие рядом с отдельными крупными деревьями, необходимо тщательно герметизировать. Если садовые насаждения и лесопитомники оборудованы противозаморозковыми дождевальными установками, то расстояния между дренами должны быть сокращены; глубина закладки дрен 1,2 м и более. Проникновению корней растений в дрены препятствует засыпка вокруг дрен шлака, содержащего серный колчедан. В процессе работ по укладке дренажа важно не повредить верхний слой почвы, не снизить его плодородие.

10.3. ДРЕНАЖ В ОПОЛЗНЕВЫХ РАЙОНАХ*

В районах, подверженных оползням, оседают большие участки местности в условиях глубокого увлажнения склонов.

Очень часто геологические линии разрыва и складчатые участки рельефа являются причиной возникновения длительных или временных избыточно увлажненных участков, а также выхода на поверхность водных источников.

Наряду с обычными почвенно-гидрологическими исследованиями здесь особенно тщательно должны производиться геологические изыскания для установления причин избыточного увлажнения и возможного возникновения оползней на данной территории.

Следующие мероприятия, по А.Н. Костякову (1951), могут предотвратить сползание почвогрунтовых масс.

1. Изолирование оползневого массива от притока к нему подземных и поверхностных вод с вышележащих площадей с помощью нагорных и ловчих каналов.

* Разделы 10.3–10.5 написаны с использованием материалов Р. Эггельсмана (1984), А.Н. Костякова (1951) и других авторов.

2. Осушение поверхности соприкасания (скольжения) отдельных слоев почвогрунта, так как при этом значительно увеличивается коэффициент трения пластов.

3. Понижение влажности почвогрунта, сползание которого нужно предупредить, так как при этом уменьшается вес сползающей массы и, следовательно, сила, влекущая этот массив вниз.

4. Обеспечение устойчивости основания сползающего массива путем создания контрфорсов*, могущих служить упором для вышерасположенных масс почвогрунта. Это достигается также приданием массиву пологого откоса, поднятием его подошвы, защитой от подмыва.

Выходы родников и места избыточного увлажнения могут быть осушены выборочными и ловчими дренами.

Согласно накопленному опыту, нередко в таких районах целесообразно устраивать каменный или фашинный дренаж, устойчивый к локальным ограниченным подвижкам почвенно-грунтовой толщи.

Рекомендуется предусматривать устройство водопроницаемой фильтрующей засыпки траншей. Почвенные мелиорации имеют своей целью предотвращение возникновения неуправляемого режима стока и, как следствие, разрушение ландшафта на больших площадях. Дренаж в данном случае служит в основном целям сохранения ландшафта и почвенного покрова в его пределах. На местности с большими уклонами поверхности при выпадении интенсивных осадков возникает опасность образования ливневых паводков, для предотвращения которой предусматривают регулирование поверхностных водотоков.

10.4. ДРЕНАЖ ПЛОЩАДОК ДЛЯ ИГР И ОТДЫХА

При определении внутренних диаметров коллекторов и расстояний между дренами в этом случае следует рассчитывать сток в зависимости от ожидаемых нагрузок на единицу площади на 25 и даже на 50% выше, чем в обычных условиях. Здесь поверхностные и грунтовые воды должны стекать так быстро, чтобы обеспечить непрерывное пользование площадками.

Площадки для игр и отдыха обычно имеют дерновый слой, который создают и поддерживают разными способами. Глубина дренажа составляет 0,9–1,1 м. Очень важно тщательно засыпать траншеи. В почвах, заболоченных верховодкой, необходимо заполнить дренажные траншеи водопроницаемым материалом (гравием, крупнозернистым песком и др.)

* Контрфорс — деревянная или железобетонная постоянная опора, воспринимающая давление воды или почвогрунтовой массы подпорными стенками и передающее его основанию.

10.5. ДРЕНАЖ СПОРТИВНЫХ ПЛОЩАДОК

Дренаж спортивных площадок должен обеспечить их пользование в течение длительного срока, а также сохранение способности их поверхности выдерживать в течение всего периода эксплуатации допустимые расчетные нагрузки при условии сохранения дернового покрова.

При трубчатом дренаже спортивных площадок достаточны следующие диаметры дренажных труб (рис. 151).

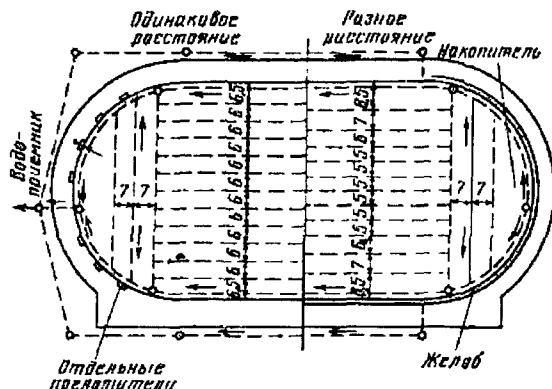


Рис. 151. Дренаж спортивных площадок

Дренажные траншеи должны заполняться фильтрующим слоем на высоту до дренирующей выстилки основания площадки, обеспечивая таким образом быстрый сток поверхностных вод. В этих случаях также можно использовать дренажные плиты* (Эггельсманн, 1984).

Спортивное поле обычно осушают систематически сквозными дренами с уклоном в обе стороны (коллекторы также с обеих сторон) или выборочными дренами по потребности. Выборочный дренаж целесообразен при большой разнице в свойствах почв на дренируемой площади, расстояния между дренами обычно составляют 5–12 м.

Глубина дренажа 0,7–1,0 м. Если на устьевых участках дрен предусматривают дренажные колодцы, то уклон дрен может быть уменьшен. Подключают дрена к коллектору обычно за пределами спортивного поля.

* Дренажные (или фильтрующие) плиты изготавливают из склеенных шариков стирпора или полистирола. Размер плиты 10×75×6,5 см. K_f — 50–80 м/сут. Устанавливают в траншею вертикально для ускорения притока воды к дрени.

11. ТЕПЛОВЫЕ МЕЛИОРАЦИИ

Несомненно, практически все гидромелиоративные, многие агромелиоративные и фитомелиоративные мероприятия оказывают влияние на температурный режим почв, их теплоемкость и теплопроводность. Орошение и осушение, пескование и римпауская культура, залужение, другие способы активного воздействия на влагообеспеченность растений и физические свойства почв в конечном итоге оказывают определенное, часто весьма существенное влияние на их тепловой режим.

В этой главе рассмотрены специфические мероприятия, направленно улучшающие температуру почв. Это необходимо еще и потому, что проблема оптимизации теплового режима почв приобретает все большую актуальность в связи с продвижением земледелия на север, освоением новых земель в аридных районах, увеличением продолжительности вегетационного периода и интенсификацией продуктивности почв во всех зонах страны. Последнее определяет важную роль тепловых мелиораций в агропромышленном производстве. В целом следует подчеркнуть, что это направление мелиорации разработано весьма неполно, хотя необходимость активного регулирования температурного режима почв в разных широтах очевидна.

В настоящее время можно выделить четыре группы мелиоративных мероприятий, позволяющих улучшать этот важный для жизнедеятельности растений режим почв.

Первая группа мероприятий направлена на изменение (снижение) теплоемкости поверхностных горизонтов почв. Это удастся осуществить путем внесения в пахотный горизонт тяжелых минеральных почв каменистого материала (щебня, гравия, галечника, шлака и др.). Каменистый материал обладает невысокой теплоемкостью, он быстро нагревается и, остывая, отдает аккумулированное им в дневной период тепло мелкоземистому материалу поверхностных горизонтов почвенного профиля.

Н.А. Димо первый предложил вносить в пахотный горизонт холодных почв Севера России мелко раздробленный камень (щебень) для улучшения их температурного режима и разработал ма-

шину для изготовления такого каменистого теплового мелиоранта из кристаллических пород. Эффект от этого мероприятия в северных районах страны оказался весьма высоким.

Положительный результат получен и от внесения в холодные суглинистые, глинистые и торфяные почвы Севера песчано-гравийного и гравийного материалов в объеме 200–600 м³/га.

Вторая группа мероприятий предполагает выполнение работ по аккумуляции снега в зимний период на мелиорированной или богарной территории. Слой снега на поверхности снижает теплоотдачу почвенного покрова. При этом уменьшается глубина промерзания профиля, сохраняется (или улучшается) водопроницаемость почв в критические периоды. Накоплению твердых осадков в зимний период способствуют кулисная посадка (или посев) высокостебельных культур и сохранение кулис после уборки урожая, лесопосадки на мелиорируемой территории (создание продувных лесополос), а также агрономические мероприятия по накоплению снега (рис. 152).

Мелиорации теплового режима почв, связанные с регулированием мощности снегового покрова, могут оказывать существенное влияние не только на температуру, но и на влагообеспеченность почв, объем поверхностного стока, биопродуктивность растений и другие параметры. Так, в середине 20-х гг. XX в. Н.А. Качинский показал, что при ленточной очистке от снега поверхности автоморфной суглинистой дерново-подзолистой почвы перед началом снеготаяния происходит ее быстрое разморозание. Талые «ленты» поглощают значительную часть снегового паводка, повышают объем продуктивной влаги и благоприятно влияют на рост, развитие и продуктивность некоторых сельскохозяйственных растений. Этот способ мелиорации, однако, имеет свои очевидные лимитирующие границы. Так, по наблюдениям Г.А. Суровой (2003), он неэффективен на тяжелых плохо водопроницаемых почвах, на интенсивно оглеенных почвах, его применение нецелесообразно в годы высокой влажности. Тем не менее в определенных условиях Нечерноземья этот способ может найти свое применение.

Третья группа мероприятий связана с изменением температуры поверхностных, обычно светлых, горизонтов минеральных почв или полей, покрытых снегом, ранней весной путем нанесения различных темноокрашенных материалов — угольной пыли, темного шлака и иного органического субстрата.

Четвертая группа объединяет мелиоративные мероприятия, связанные с использованием отходов тепла энергетической промышленности, коммунального и других отраслей хозяйства, а также с утилизацией энергии природных источников тепла. В последние годы важным источником тепла оказались мощные электростанции на различных типах топлива. В настоящее время созданы экспериментальные мелиоративные систе-



Рис. 152. Работы по накоплению снега и утеплению сельскохозяйственных полей

мы, в которых теплая вода от электростанций, поданная по трубам, заложенным в почве на глубине 80–100 см, обеспечивает создание весьма благоприятного теплового режима. Как показали исследования П.К. Кузьмича с соавторами (1986), при этом происходит существенное улучшение температурных условий для сельскохозяйственных культур, увеличивается продолжительность вегетации, повышается продуктивность полей и урожайность растений. Таким образом, появляется возможность активно регулировать тепловой режим почв для нужд сельскохозяйственного производства.

Сложность широкого применения этого вида оптимизации теплового режима почв заключается, однако, в том, что их дополнительный обогрев нередко сопровождается нежелательным иссушением ризосферы. Это наиболее отчетливо проявляется в условиях лесостепной и степной зон. Поэтому тепловые мелиорации, связанные с использованием отходов тепла мощных электростанций (АЭС), в этих регионах должны сочетаться с мероприятиями по регулированию водного режима почв.

КУЛЬТУРТЕХНИЧЕСКИЕ МЕЛИОРАЦИИ И БОТАНИКО- 12. КУЛЬТУРТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Цель культуртехнических мелиораций — придать мелиорируемой территории такие технические особенности, которые обеспечат возможность ведения культурного сельскохозяйственного производства. Это важный вид мелиоративных работ, который по своей стоимости может быть равен или превышать стоимость гидротехнических работ по созданию современных мелиоративных систем. В состав культуртехнических работ входят корчевка леса, срезка кустарника, удаление пней на поверхности почвы или их извлечение из торфяной залежи (погребенная древесина), срезка кочкарника. Кроме того, в цикле культуртехнических работ предусматривается уборка камней (с поверхности, полупогребенных и погребенных), раскорчевка, сбор и удаление с поверхности древесины, а также засыпка ям, карьеров, выгоревших или выработанных торфяников, разделка целинного пласта (первичная обработка почвы).

Для выполнения культуртехнических работ производят специальные изыскания, которые должны выявить следующие показатели.

Лес — породный состав; густота на 1 га (округлено до сотен); диаметр в сантиметрах (на высоте 1,3 м) — 12–15, 16–23, 24–32, более 33; средняя высота.

Кустарник и мелколесье (до 11 см в диаметре) — густота в % покрытия по группам: до 30, 31–60 и более 60; высота (до 2,0 м и более); ивовый кустарник выделяют отдельно.

Пни на поверхности — преобладающая порода; густота на 1 га (округлено до сотен); диаметр в сантиметрах (до 15, 16–23, 24–32, 33 и более); давность рубки (до 5 лет и более).

Пни и погребенная стволовая древесина в торфяной залежи — глубина залегания в метрах (0,0–0,4 и 0,4–1,2); число на 1 га (округлено до 50).

Кочкарник — высота кочек в сантиметрах (до 25, 26–50, более 50 см); тип кочек (землистые, растительные и др.); покрытие до 30% и более.

Засоренность камнями — объем камней ($\text{м}^3/\text{га}$) по группам (до 50, 50–100, более 100); диаметр отдельных камней в метрах по группам (до 0,1; 0,1–0,3; 0,3–0,6; 0,6–1,0, 1,0); характер залегания (на поверхности, в полупогребенном состоянии, полностью в земле).

Раскорчеванная и неубранная древесина — характер залегания (отдельные деревья, валы, перемешанные с землей); объем древесины ($\text{м}^3/\text{га}$) с точностью до 50 м^3 ; срок корчевки (до 5 лет и более); площадь, с которой сдвинут гумусовый слой при образовании вала, и общая площадь раскорчевки.

Ямы, карьеры, горелые торфяники — глубина в метрах; объем в кубических метрах.

Культуртехнические свойства территории определяют на площадках размером 10×10, 10×20 м для учета леса и 10×10 или 20×5 м для учета объема камней и числа пней.

Для оценки наличия и количества погребенных деревьев, камней и пней торфяную залежь зондируют на полосе длиной 50 (25) м с двумя рядами зондировочных точек, расположенных на расстоянии 1 м.

Площадки по учету погребенной древесины закладывают в тех случаях, когда необходимость этого мероприятия установлена территориальной почвенно-мелиоративной съемкой.

Результаты ботанических и культуртехнических изысканий оформляют в виде специальной ботанико-культуртехнической карты. На эту карту наносят угодья, контуры культуртехнических особенностей территории, а также луга, требующие поверхностного улучшения — боронования, известкования, подсева трав. На карте показывают контуры распространения сорняков. Луга, подлежащие коренной переработке, на карте не показывают. На таких лугах не выполняют работы по картированию естественной растительности. Легенду ботанико-культуртехнической карты оформляют в виде поконтурной ведомости, в которую вносят исчерпывающие данные о культуртехнических особенностях территории. Ботанические описания составляют только для таких луговых ценозов, состав которых может быть улучшен с помощью поверхностных мелиоративных мероприятий.

СТАДИИ МЕЛИОРАТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ЗАДАЧИ ПОЧВЕННО- 13. МЕЛИОРАТИВНОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТОВ МЕЛИОРАЦИИ

Независимо от природных условий всегда мелиоративное строительство должно осуществляться по проекту мелиорации. Важнейшим элементом обоснования любого проекта мелиорации почв являются почвенно-мелиоративные изыскания, результаты которых оформляют в почвенно-мелиоративные и ботанико-культуртехнические карты, в материалы по характеристике физических, гидрофизических, химических свойств почв, а также в специализированные почвенно-мелиоративные картограммы (например, картограммы засоления, солонцеватости, каменистости почв, устойчивости кротовых дрен, ожелезнения почв и грунтовых вод и др.). Нередко для обоснования системы мероприятий в сложных и малоизученных природных условиях предусматривают выполнение специальных почвенно-мелиоративных исследований по индивидуальным программам.

Однако детальность и состав почвенно-мелиоративных работ определяются не только сложностью объекта мелиорации, но и стадией мелиоративного проектирования.

13.1. СТАДИИ МЕЛИОРАТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СОСТАВ ПОЧВЕННО- МЕЛИОРАТИВНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

Мелиоративное проектирование в соответствии с действующими строительными нормами и правилами (СНИП) осуществляется в четыре стадии:

1. «Обоснование инвестиций» в строительство объектов мелиорации.
2. «Проект».
3. «Рабочий проект».
4. «Рабочая документация».

13.1.1. «ОБОСНОВАНИЕ ИНВЕСТИЦИЙ» В СТРОИТЕЛЬСТВО ОБЪЕКТОВ

Первая стадия проектирования мелиоративных систем носит название «Обоснование инвестиций».



2.1
Западная часть
Восточно-Европейской
равнины — выход на
поверхность доломитов
силура. Альварный
ландшафт

2.2
Восточная часть Восточно-Европейской
равнины — выход на поверхность
красноцветных пермских глинистых
сланцев. Долина р. Вятки



2.4
Темноцветная шунгитовая морена.
Ареал олонечских "черноземов".
Карелия



2.3
Серые моренные
суглинки. Запад
Восточно-
Европейской
равнины



2.5
Красноцветные моренные суглинки, образованные в результате разрушения ледником красноцветных гранитов рапакиви



2.6
Ленточные крупнослоистые суглинисто-глинистые отложения перигляциальных водоемов. Приильменная низменность. Новгородская обл.



2.7
Ленточные тонкослоистые глины. Приильменная низменность. Новгородская обл.



2.8
Дерново-подзолистые почвы на легких лёссовидных глинах. Клинско-Дмитровская моренная гряда. Московская обл.



2.9. Бурые почвы на флювиогляциальных песках. Окско-Мещерское полестье



2.10. Бурые оподзоленные почвы на среднemosных двучленных отложениях. Верхний нанос — флювиогляциальные супеси-пески на моренном тяжелом суглинке. Верхневолжская низменность



2.11. Пойменные бурые зернистые почвы на структурном тяжелосуглинистом аллювии. Пойма р. Москвы



2.12. Структурный тяжелосуглинистый аллювий нижних горизонтов пойменных бурых зернистых почв. Пойма р. Москвы



2.13
Низинные торфяные почвы. Окско-Мещерское полесье

2.14
Дренажные и коллекторные керамические трубы на строительстве закрытой осушительной системы. Запад Московской обл.



2.15
Строительство регулирующей сети осушителей и коллекторной сети на тяжелых оглеенных дерново-подзолистых почвах. Запад Московской обл.

2.16
Строительство магистрального канала осушительной системы в зимних условиях



2.17

Магистральный канал осушительной системы. Водоток, укрепленный фашинными стенками. Крепление откосов дёрном. Литва



2.18

Магистральный канал осушительной системы с меандрирующим руслом. Экологически целесообразный вариант



2.19

Строительство магистрального закрытого коллектора на подземной осушительной системе. Литва

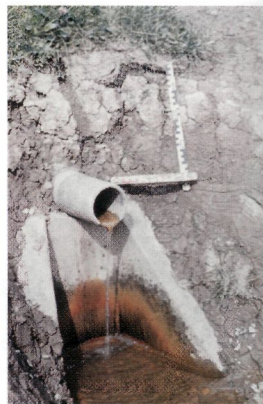


2.20

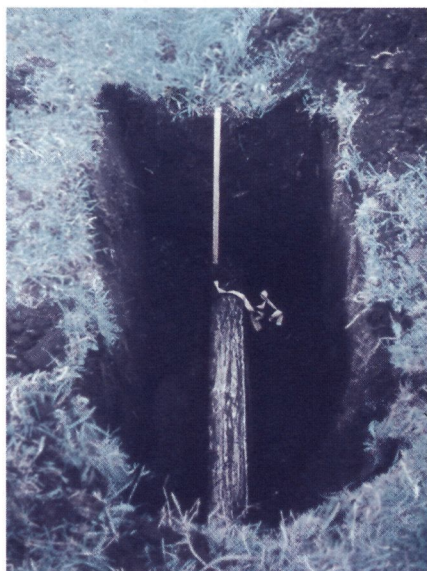
Шлюзер. Колодец-поглотитель поверхностного стока на тяжелых почвах. Литва



2.21
Разгрузочная скважина в дне
осушительного канала при
заболачивании почв напорными водами.
Долина р. Сусунай. Сахалин



2.22
Оголовок коллектора и
водобойный колодец
при впадении
коллектора в
магистральный канал.
Осушительная система
"Вятка".
Новгородская обл.



2.23 Трубчатая деревянная дрена в
торфяных почвах осушительной
системы "Яхромская пойма".
Московская обл.



2.24 Кротовая (земляная) дрена
в минеральных почвах.
Московская обл.



2.25

При одинаковых уровнях воды в водоприемнике и на заболоченной территории в расчетный период применяют польдерные системы осушения



2.26

Польдерная осушительная система в дельте р. Неман. Литва

2.27
Подпорные бетонные сооружения (барраж) на магистральном канале осушительной системы для создания водохранилища в рекреационных целях. Литва





2.28
Бухта пластмассового дренажа. Германия



2.29
Подключение пластмассовой дрены к
керамическому коллектору



2.30
Поперечное сечение широкой
траншеи керамического дренажа.
Обратная засыпка дренажной
траншеи на дерново-глеевых почвах
обогащена гумусированным
мелкоземом. Котельнич.
"Ивакинские пашни". Кировская обл.



2.31

Поперечное сечение дренажной щели после укладки пластмассового дренажа бестраншейным способом.

Гумусированный мелкозем не поступает в подпахотные горизонты почвенного профиля. Котельничи. "Ивакинские пашни". Кировская обл.



2.32

Бестраншейный укладчик пластмассового дренажа "Мелиомат".

Германия



2.33

Начало работ по укладке бестраншейного пластмассового дренажа дренаукладчиком "Мелиомат".
Германия



2.35

Процесс создания траншейного фильтра из хорошо фильтрующих материалов (крупного песка, гравия, керамзита и др.) для поддержания гидравлической связи между пластмассовой дренающей и пахотным горизонтом.

Фильтрующий материал подвозится на самоходных тележках, снабженных транспортером, и поступает в дренажную щель через воронку

2.34

Завершение работ по укладке бестраншейного пластмассового дренажа дренаукладчиком "Мелиомат". Германия



2.36

Профилирование поверхности осушенных торфяных почв.

Трёмсе.

Северная Норвегия



2.37
Соя на грядах. Тяжелые дерново-
глеевые почвы осушены
пластмассовым дренажем



2.38
Чай на квали. Тяжелые болотно-
подзолистые почвы осушены
керамическим дренажем. На
снимке Р. И. Панисов — автор
комбинированных осушительных
систем — частый дренаж и квали в
Колхиде. Абхазия



2.39
Чай на интенсивно дренированных
тяжелых болотно-подзолистых
почвах без квали. Практически полное
выпадение кустарника чая
из-за вымокания. Хорга. Абхазия



2.40

Вымочка зерновых на дренированных дерново-подзолистых глеевых почвах. Не выполнены мероприятия по ускорению поверхностного стока. Полное вымокание зерновых. "Витка". Новгородская обл.



2.41

Щелевой дренаж на осушенных торфяных почвах. Камчатка



2.42

Рабочий орган дискофрезерной машины для устройства щелевого дренажа



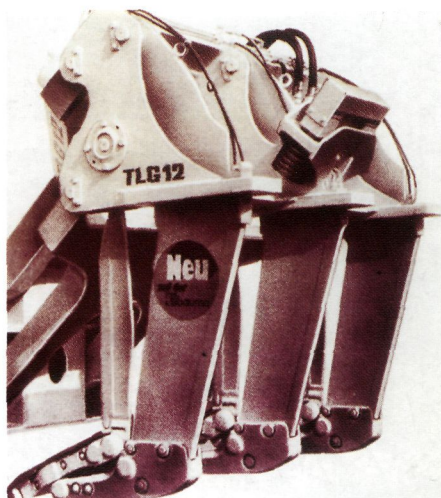
2.43
Однокорпусный рыхлитель-кротователь
пассивного действия. РК-1.2



2.44
V-образный рыхлитель
пассивного действия
конструкции
ВНИИГиМ



2.45
Двухкорпусный
рыхлитель активного
действия фирмы
"Брениг". Рыхление на
глубину 80 см



2.46

Трехкорпусный рыхлитель активного действия фирмы "Кэбле-Гмайндер". Рыхление на глубину 100 см



2.47. Изменение условий распространения корней сельскохозяйственных растений и площади их питания после глубокого рыхления тяжелых почв (фото Н.Schulte-Karring)



2.48

Покровная культура земледелия на осушенных низинных торфяных почвах. Германия



2.49

Плуг Вильгельма Оттомайера для создания немецкой песчаной смешенно-слойной культуры земледелия на осушенных низинных торфяных почвах, подстилаемых песком



2.50

Задымление территории осушенного торфяного массива



2.51

Полное сгорание торфа на осушенном массиве. Поверхность пирогенно-перегонных образований на месте пожарища. Окско-Мещерское полесье



2.52

Профиль пирогенно-перегнойного
песчаного образования (верхний
оранжевый горизонт — зола; черный —
углистый; ниже — глей, окисленный на
кварцевом песке). Окско- Мещерское
полесье



2.53

Поверхность пирогенно-
песчаных образований,
возникающих после
сгорания маломощных
торфяных почв на
повышениях
минерального дна болот.
Выход на дневную
поверхность оглеенного
кварцевого песка



2.54

Профиль пирогенно-песчаного образования.
Верхний темный слой — углистый горизонт.
Окско-Мещерское полесье

«Обоснование инвестиций» служит для принятия решения о хозяйственной необходимости, технической возможности, коммерческой, экономической и социальной значимости инвестиций в мелиоративное строительство с учетом его экологической и эксплуатационной целесообразности.

На стадии разработки «Обоснования инвестиций» должны быть даны:

1. Общие оценки природных условий строительства объекта мелиорации.
2. Намечены методы и способы мелиорации с учетом особенностей основных элементов ландшафта.
3. Предложены меры по предотвращению возможных неблагоприятных изменений среды.

«Обоснования инвестиций» должны состоять из текстовой и графической частей. Текстовая часть оформляется в виде отдельной книги. В составе раздела «Природные условия объекта» она содержит главу «Почвенно-мелиоративные и культуртехнические условия объекта».

На стадии «Обоснование инвестиций» выполняют почвенно-мелиоративные и ботанико-культуртехнические изыскания. Результатом изысканий является почвенно-мелиоративная карта с рекомендациями по освоению и эксплуатации почв, прогнозы их изменения. Такие карты составляют в масштабах 1:100000–1:50000 на плано-высотной топонимике в М 1:50000–1:25000 на объектах орошения и в М 1:25000–1:10000 на объектах осушения. Более крупный масштаб съемки на этой стадии допустим только на типовых участках объектов осушения — М 1:5000–1:2000.

Почвовед наряду с почвенно-мелиоративной съемкой на стадии «Обоснования инвестиций» выполняет ботанико-культуртехнические изыскания, результатом которых является карта одноименного названия в масштабах 1:50000–1:25000 для объектов орошения и 1:25000–1:10000 — для объектов осушения.

13.1.2. «ПРОЕКТ»

Вторая стадия проектирования называется «Проект».

«Проект» является основным документом на строительство объектов мелиорации земель. Проект разрабатывается на основании утвержденных в установленном порядке «Обоснований инвестиций» в строительство объектов мелиорации. При составлении «Проекта» осуществляется подробная разработка и детализация инженерных технологических решений и природоохранных мероприятий, принятых в «Обоснованиях инвестиций» и уточняются основные технико-экономические показатели.

На стадии «Проекта» дается детальная характеристика почвенно-мелиоративных и ботанико-культуртехнических условий объек-

та мелиорации. При этом предусматривается получение следующей информации:

2.1. Почвенные разновидности, их распределение по площади и условия залегания (элементы рельефа, почвообразующие и подстилающие породы, растительный покров, глубины залегания и минерализация грунтовых вод);

основные агротехнические и агропроизводственные характеристики почв: мощность пахотного горизонта, гумус, содержание общего азота, гипса, подвижных форм фосфора и калия; мощность подзолистого горизонта, глубина и степень оглеения, гранулометрический состав, каменистость; мощность и степень разложения торфа, ботанический состав, зольность;

наличие засоленных почв и причины засоления (засоление почвогрунтов, капиллярный подъем, наличие верховодки, вторичное засоление и т.д.); площади, тип и степень засоления почв, распределение солей по почвенному профилю, содержание водорастворимых, токсичных солей и т.д.;

наличие солонцеватых почв и причины солонцеватости, площади земель по степени солонцеватости;

наличие и количественная оценка деградационных процессов ветровой и водной эрозии, сработки гумуса, слитизации и т.д.;

данные по загрязненности почв: виды и особенности загрязнений, распределение загрязняющих веществ по территории, сопоставление с ПДК, распределение загрязненности по почвенному профилю.

2.2. Свойства почв, определяющие режим орошения: естественная влажность, плотность почв и плотность их твердой фазы, пористость, аэрация; предельная полевая (динамическая) влагоемкость, влажность устойчивого завядания.

2.3. Свойства почв, определяющие технику орошения: водопроницаемость при поливах дождеванием, по бороздам и полосам, затоплением; наличие водоупорных и дренирующих прослоев; коэффициенты фильтрации и водоотдачи (для расчета дренажа).

2.4. Почвенно-мелиоративное районирование (рекомендации по использованию и улучшению почв):

почвенно-мелиоративные районы (группы), характеристика продуктивности сельскохозяйственных культур на основных почвенных разновидностях каждого района в годы разной влажности, рекомендации по использованию почв под различные сельскохозяйственные культуры и рекомендуемые агротехнические мероприятия.

2.5. Опасность вторичного засоления и осолонцевания почв:

возможность развития вторичного засоления почв при орошении и рекомендуемые в связи с этим мероприятия (по поливному

режиму, строительству дренажа и проведению промывок засоленных земель и т.д.); оценка возможности развития солонцеватости:

— результаты полной водной вытяжки с определением плотного остатка, кислотности, щелочности и состава обменных катионов (Ca, Mg, Na);

— возможность развития солонцеватости при поливе слабо-минерализованными водами и соображения о потребности в химических мелиорациях.

2.6. Опасность дальнейшего развития деградационных процессов ветровой и водной эрозии почв, снижения гумусности, слитизации и т.д.

2.7. Прогноз изменения свойств почв при эксплуатации системы.

2.8. Оценка необходимости проведения планировочных работ, исходя из принятой техники полива и примерные объемы планировочных работ; оценка возможного влияния планировок на питательный, солевой режимы и водные свойства почв.

2.9. Ботанико-культуртехническая характеристика территории.

Результаты изысканий предоставляются в виде «Пояснительной записки» и соответствующих карт. На основе полевых и камеральных работ составляют:

2.10. Комплексную почвенно-мелиоративную карту с классификацией почв по почвенно-мелиоративным районам, засолению, водно-физическим свойствам и др. показателям; рекомендациями по освоению, эксплуатации почв и прогнозу их трансформации в масштабах съемки 1:10000–1:2000 по объектам осушения.

2.11. Ботанико-культуртехническая карта с нанесением контуров естественных угодий, результатов хозяйственной деятельности и стихийных бедствий, пнистости торфяных и каменистости минеральных почв, залесённости, закустаренности, заочкаренности и т.д. в масштабах съемки 1:25000–1:2000 по объектам орошения и 1:10000–1:2000 по объектам осушения.

2.12. Карта прогноза изменения гидрогеологических и почвенно-мелиоративных условий (на период 5–10 лет) с указанием границ и основных элементов мелиоративной системы в М 1:25000–1:10000.

13.1.3. «РАБОЧИЙ ПРОЕКТ»

«Рабочий проект» составляют с целью переноса в натуру строительно-монтажных и других решений, связанных с осуществлением конкретных работ по мелиорации почв. «Рабочий проект» при сложных природных условиях является второй стадией реализации проекта мелиорации.

В простых природных условиях проектирование мелиоративных мероприятий осуществляется в одну стадию, минуя стадию «Проект». Составляют только «Рабочий проект». Он содержит конкретные решения и рабочие чертежи на производство строительно-монтажных работ. Масштабы почвенно-мелиоративных и ботанико-культуртехнических изысканий при любых видах проектирования (проект или рабочий проект) тождественны.

При составлении «Рабочих проектов» возможно дополнение или корректура материалов предшествующих изысканий. С этой целью предусматривают работы по уточнению материалов изысканий и проектирования путем получения дополнительной информации на стадии «Рабочая документация».

13.1.4. «РАБОЧАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ»

«Рабочую документацию» на строительство объектов мелиорации земель составляют с целью детализации материалов проекта, достаточной для выполнения строительно-монтажных работ. «Рабочая документация» разрабатывается на основании утвержденных проектов.

Почвенно-мелиоративные изыскания на стадии «Рабочей документации» на строительство объектов мелиорации земель включают подготовку следующих уточняющих документов:

- составления картограмм рН, содержания фосфора и калия; картограмм внесения известковых мелиорантов, органических и минеральных удобрений (в масштабе почвенно-мелиоративных карт);
- корректуру контуров засоления, заболоченности, каменистости, солонцеватости, слитости, гранулометрического состава и др. в М 1:2000.

Таким образом, основной объем почвенно-мелиоративных изысканий для обоснования мелиоративного строительства выполняется на стадии составления «Проекта». Главным документом почвенно-мелиоративных изысканий является почвенно-мелиоративная карта.

13.2. СОДЕРЖАНИЕ ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫХ КАРТ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТОВ МЕЛИОРАЦИИ

Почвенно-мелиоративные карты синтезируют всю сумму данных о почвах как объекте мелиорации. Они обобщают сведения, полученные в процессе почвенно-мелиоративной съемки, изучения водно-физических, физико-механических и других свойств почв, оценки гидрогеологических, геоморфологических, гидрохимических и иных условий. Именно поэтому они носят комплекс-

ный характер и отражают результаты изысканий в наиболее лаконичной и конкретной форме. Масштаб этих карт, как правило, должен соответствовать масштабу генерального плана проекта.

При составлении почвенно-мелиоративных карт независимо от их типа для территории перспективного развития мелиорации исходят из следующих принципиальных положений: во-первых, карты составляют на основе генетических представлений с учетом всех естественно-исторических факторов; во-вторых, карты и их легенды определяют общий характер и направление мелиорации, но не дают еще конкретного состава мелиоративных мероприятий для исследуемой территории, так как на этой стадии, т.е. на стадии завершения изысканий, еще не известны технические решения и экономические условия объекта мелиорации; в-третьих, поскольку последние выявляются в процессе проектирования, то только на этом этапе может быть рассмотрен и принят состав конкретных мелиоративных мероприятий. Поэтому почвенно-мелиоративные карты отражают условия, в которых будут осуществляться мелиоративные мероприятия, содержат сведения об их важнейших особенностях, необходимые для выбора целесообразных инженерных решений, но в них отсутствуют конкретные и завершенные рекомендации по способам мелиорации.

Вместе с тем сведения, содержащиеся в легенде и непосредственно на почвенно-мелиоративной карте, являются определяющими для технико-экономического обоснования конкретных проектных решений.

Важное значение при составлении карты имеют принципы мелиоративного районирования и их реализации в условиях изучаемой территории.

13.3. РАЙОНИРОВАНИЕ ПОЧВ В МЕЛИОРАТИВНЫХ ЦЕЛЯХ

Центральным вопросом разработки почвенно-мелиоративных карт для обоснования проектов мелиорации всех зон является районирование территории. В основу районирования положена дифференциация массива мелиорации на отдельные почвенно-мелиоративные районы. Учитывая задачи мелиорации, почвенно-мелиоративным районом следует называть такую территорию, которая характеризуется общностью генезиса и состава почв, почвообразующих пород, причин заболачивания, засоления почв или других неблагоприятных факторов, на изменение которых направлены мелиоративные мероприятия (например, солонцеватость почв, их каменистость, слитость и др.)

Районирование почв в мелиоративных целях позволяет систематизировать сведения об их свойствах и режимах в связи с решением прикладных задач, интерпретировать проектные решения на крупные территории, почвы которых близки по мелиоративным особенностям, глубже понять свойства почв и особенности ландшафта как объекта мелиорации. Независимо от характера изучаемой территории мелиоративное районирование почв должно быть основано на анализе:

1) причин заболачивания, засоления, других факторов, раскрывающих негативные особенности почв — для выбора метода их мелиорации;

2) степени заболоченности и засоления почв для установления целесообразности их осушения, рассоления, рассолонцевания и др.;

3) физико-механических, гидрофизических, химических и других свойств почв, грунтов и грунтовых вод для выбора и обоснования способа мелиорации почв;

4) плодородия мелиорируемых почв для определения очередности мелиорации и ее эффективности, а также для разработки комплекса мероприятий по повышению продуктивности мелиорируемых территорий;

5) прогноза изменений свойств и режимов почв на мелиорируемой территории и оценке влияния мелиорации на ландшафт в целом.

Эти принципиальные вопросы отражают задачи, стоящие перед почвенно-мелиоративными изысканиями и исследованиями, выполняемыми для обоснования мелиоративных проектов. В любом случае мелиоративное районирование почв, впрочем, как и любое районирование природных условий, связанное с решением прикладных задач, должно быть основано на анализе факторов, присущих почвенному покрову как естественно-историческому образованию и имеющих вместе с тем ведущее мелиоративное значение. Рассматривая проблему районирования почв в связи с их мелиорацией, необходимо подчеркнуть тесную связь их генезиса и состава с почвообразующими породами, причинами заболачивания и засоления.

Объединяя почвы по общности причин заболачивания и засоления, можно в известной мере интегрировать и оценку плодородия отдельных разновидностей. На водоразделах лесной зоны формирование многих почв, заболоченных поверхностными водами, происходит в условиях застойно-промывного режима. Это обстоятельство, а также сочетание подзоло- и глееобразования и кислый характер большинства материнских пород — основная причина низкого плодородия этих почв. Осушение лишь незначительно увеличивает (или не изменяет) их плодородие, и только система агротехнических мероприятий, предусматривающая внесение высоких доз органических и минеральных удобрений, способна обеспе-

чить урожаи, оправдывающие затраты на мелиорацию. Напротив, в зоне близкого залегания жестких грунтовых вод минеральные гидроморфные почвы отличаются более высоким плодородием. В осушенном состоянии они при сравнительно небольших затратах дают значительный хозяйственный эффект. Но этот же фактор имеет и важнейшее прикладное значение, поскольку причины заболачивания почв определяют принцип (метод) их осушения, целевую направленность мероприятий по ликвидации избыточной увлажненности. Так, осушительные мелиорации при заболачивании почв грунтовыми водами направлены на понижение их уровня, при заболачивании атмосферными и склоновыми водами — на ускорение поверхностного и внутрипочвенного стока и т.д.

Причины заболачивания и засоления почв тесно связаны с генезисом и составом почвообразующих пород.

Важнейшее влияние на свойства почв оказывают почвообразующие породы, их генезис, гранулометрический, минералогический и химический состав. Почвы наследуют от почвообразующей породы свойства, определяющие водопроницаемость, водоотдачу, плотность сложения и др.

Свойства почв, унаследованные от почвообразующих пород, в значительной мере определяют выбор способа их мелиорации. Причины заболачивания, засоления и почвообразующие породы являются ведущими генетическими факторами. Одновременно они обуславливают конструкцию дренажа и общий комплекс конкретных мелиоративных мероприятий по улучшению свойств и режима почв. Поэтому дифференциация территории на самостоятельные почвенно-мелиоративные районы строится на основе выделения общности почв, которая формируется на одних и тех же почвообразующих породах под влиянием однозначных причин заболачивания и засоления. Почвенно-мелиоративное районирование, выполненное на такой основе, позволяет обобщить и систематизировать сведения об условиях их формирования и мелиорации. Именно поэтому оно определяет возможность построения легенд крупномасштабных почвенно-мелиоративных карт и разработки всесторонних рекомендаций по мелиорации почв.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

14. МЕЛИОРИРУЕМЫХ ПОЧВ И АГРОЛАНДШАФТОВ

Проблемы мелиорации за последние десятилетия далеко не всегда решались комплексно. Строилась в основном гидротехническая сеть; как правило, не внедрялись и не применялись агромелиоративные мероприятия по организации и ускорению стока, практически не решались проблемы экологической защиты мелиорируемых почв и охраны природной среды агроландшафтов. Вместе с тем природоохранные и экологические проблемы, связанные с мелиорацией, приобрели особо актуальный характер. Поэтому необходимо наметить принципы решения этих проблем и определить состав целесообразных мероприятий на основе анализа известных отечественных и зарубежных данных.

Состояние и развитие человеческого общества в значительной мере обусловлены характером его взаимодействия с окружающей природной средой. Положительные и негативные следствия целесообразного или иррационального использования природных ресурсов достаточно широко известны. Гибель не только стран, но и цивилизаций на земном шаре нередко наступала в результате трагического нарушения постоянно действующих законов природы хозяйственной деятельностью человека. Е. Одуму (1968) принадлежит известное высказывание: «...человек живет лучше всего, когда он действует как часть природы... в противном случае, подобно неразумному паразиту, он может начать так использовать своего хозяина, что рискует погубить самого себя» (с. 130). Современная практика сельского хозяйства дает много достаточно ярких примеров, подтверждающих это положение. Общество объективно вынуждено строить свои взаимодействия с природной средой, учитывая ее законы. Выдающийся ландшафтовед Д.Л. Арманд (1975) подчеркивал, что «путь, достойный человека, состоит не в том, чтобы без конца "побеждать" природу, а в том, чтобы наладить с ней мирное сосуществование. Для этого он должен научиться потреблять возобновляемых природных ресурсов не больше, чем он может воспроизвести, и выбрасывать отходов не больше, чем он может вернуть в полезный круговорот природы» (с. 274).

Наиболее активное воздействие на экологическое состояние природной среды в настоящее время оказывают индустриальные и сельскохозяйственные производства. Особенно велика роль мелиорации, изначально направленной на изменение естественных свойств и режимов почв, основных элементов ландшафта. Это влияние существенно возросло в последнее время в результате разработки мощных способов воздействия на свойства почв и их режимы. В этих условиях необходимо выработать систему эффективных и щадящих способов оптимизации плодородия почв, т.е. создать в агроэкологическом и экономическом смысле совершенную мелиоративную систему. Поскольку существуют различные определения этого понятия, основанные на приоритете строительных, экономических, природоохранных и других критериев, целесообразно принять следующее определение совершенной системы, отражающее современные задачи развития сельского, лесного, водного хозяйств и охраны природной среды. Совершенной следует назвать такую мелиоративную систему, которая позволяет при минимальных затратах получать максимальную прибыль, обеспечивая при этом экологическую защиту всех элементов агроландшафта и повышение (или сохранение при высоком исходном уровне) плодородия мелиорируемых почв.

Из этого следует, во-первых, что мелиорация является составной частью рационального земледелия и лесного хозяйства и, во-вторых, что мелиоративные мероприятия могут применяться только в условиях надежной экологической защиты всех элементов культурного ландшафта от деградации.

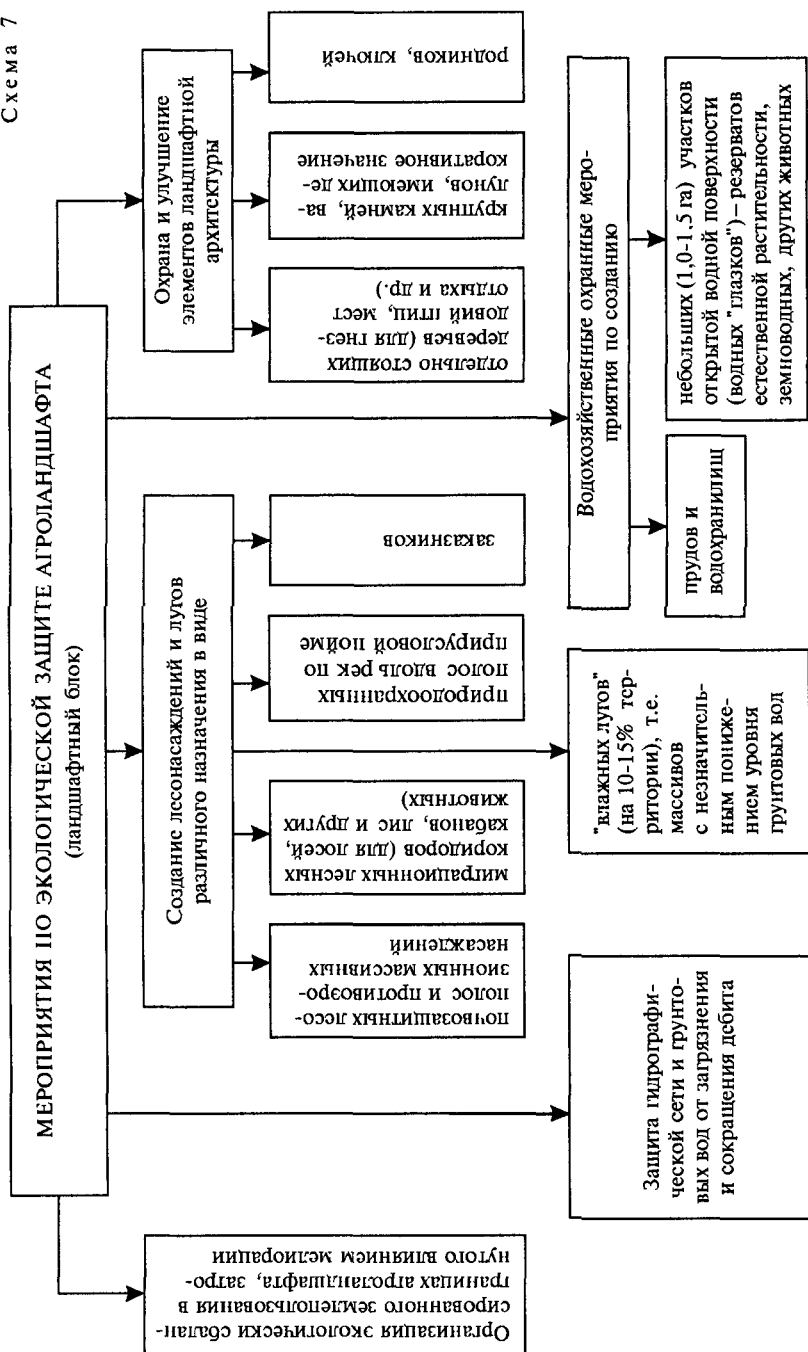
Несомненно, в целом комплекс мероприятий по экологической защите агроландшафта при мелиорации по своей направленности и принципиальным задачам един. Различные мероприятия, дополняя друг друга, создают возможность стабильного сосуществования новых экосистем, обусловленных антропогенной деятельностью, с природными факторами. В этой связи необходимо подчеркнуть два аспекта экологической оценки почв. Во-первых, почва является «зеркалом ландшафта», непременным элементом биосферы. Охрана биосферы — обязательное условие сохранения дома, в котором формируется почва как самостоятельное естественно-историческое образование. Отсюда следует необходимость выполнения ландшафтно-охранных мероприятий, направленных на защиту природной среды в целом, на охрану ландшафта. Но одновременно почва является средой обитания биоты, домом, в экологических нишах которого существуют микроорганизмы и беспозвоночные животные, водоросли и высшие растения, другие живые организмы. Поэтому свойства почвы и ее режимы в значительной мере определяют важнейшие особенности среды обитания живых организмов. В прикладном отношении особый интерес и важнейшее значение приобретают мероприятия по экологической

защите почв как среды обитания высших растений, и в частности, сельскохозяйственных культур. Поэтому всегда при мелиорации почв вопросы охраны природы необходимо рассматривать в двух аспектах: во-первых, в связи с экологической защитой ландшафта как среды формирования почвенного покрова и местообитания человека и, во-вторых, экологическая защита почв как мест обитания биоты, в частности среды обитания сельскохозяйственных культур. Этот аспект в последние годы приобрел особо важное значение. Очевидно, что экологическая защита мелиорируемого ландшафта и почв связана с выполнением весьма разнообразных конкретных мероприятий.

В целом с учетом технологических вопросов для удобства анализа проблемы экологической защиты мелиорируемой территории представляется целесообразным рассмотреть соответствующие мероприятия в трех взаимообусловленных аспектах: ландшафтном, инженерно-мелиоративном (строительном) и почвенном. Такое деление позволяет более четко определить направленность и состав мероприятий по защите окружающей среды от деградации при мелиорации.

Мероприятия по экологической защите агроландшафта (схема 7) направлены на охрану как мелиорируемой территории в границах системы, так и всего ареала влияния системы, в том числе и за ее пределами. Это явление может быть весьма значительным и затрагивать обширные площади за границами мелиоративной системы или быть локальным и практически не выходить за ее пределы. С первой ситуацией можно встретиться в ландшафтах с активным влиянием на почвенный покров грунтовых (аллохтонных) вод, например, в полесьях и в поймах гумидной зоны или в районах орошения юга СНГ, где возможен быстрый подъем их уровня при ирригации. Например, в полесьях влияние мелиоративных систем распространяется на расстоянии до 5–10 км от границ осушаемого массива в сторону внешнего водосбора. Вместе с тем это влияние в случае формирования почв на тяжелых, плохо водопроницаемых суглинках и глинах (покровных, моренных, лимно-гляциальных и др.) оказывается весьма локальным, не выходящим за пределы границ мелиоративных систем. Однако локальное загрязнение, например в результате массивированного выброса нитратов в грунтовые воды, может вызвать евтрофикацию водотоков и водоемов на десятки километров ниже места их образования.

Ландшафтные охранные мероприятия складываются из ряда составляющих. Они, во-первых, заключаются в обосновании и реализации оптимального соотношения в ландшафте лугов и лесов, пашен и сенокосов, пастбищ, садов и т.д. Во-вторых, они предполагают защиту геологической среды, животного и растительного мира. Такие мероприятия направлены на защиту глубоких горизонтов и вод от загрязнения, создание благоприятных условий для сохранения целесообразной численности, видового состава и нор-



мального существования животных и растений. Они строятся на учете трофического, миграционного (рис. 153) и других факторов, определяющих жизнедеятельность микрофлоры, беспозвоночных и позвоночных (земноводных, пресмыкающихся, птиц, млекопитающих). Их резервации должны быть организованы с учетом максимального радиуса активности в условиях конкретных местообитаний.

Особое место в системе экологических мероприятий по защите агроландшафта принадлежит фито- и особенно лесомелиорации. Интенсивное земледелие создает крупные открытые пространства, подверженные воздействию водной и ветровой эрозии, с ограниченными экологическими нишами местообитания многих видов флоры и фауны. Поэтому здесь актуальны мероприятия по созданию лесных полос и куртин; сохранению или воссозданию коридоров миграции животных; организации заказников и охранных зон, искусственных водоемов различных назначений и размеров. Это могут быть пруды и мелкие водохранилища в искусственных выемках, балках и оврагах, а также незначительные мелкие водоемы (водные «глазки») в депрессиях рельефа, необходимые для обитания беспозвоночных, пресмыкающихся, рептилий, водоплавающих птиц.

Следует отметить особое значение сохранения и улучшения состояния естественных привлекательных памятников природы,

украшающих среду обитания человека, нередко являющихся местообитаниями эндемичных животных. К ним относятся отдельные стоящие деревья, крупные камни и валуны, мелкие водотоки, родники и ключи, другие элементы ландшафтной архитектуры.

Наконец, в ландшафтном блоке мероприятий по экологической защите мелиорируемой территории особое значение приобретают способы защиты гидрографической сети и грунтовых вод от загрязнения, сокращения их добычи, изменения состава и иных негативных явлений.

Все эти мероприятия создают необходимые условия для формирования и сохранения необходимой

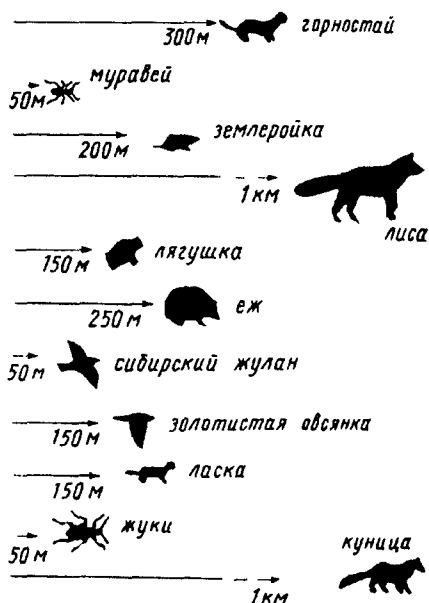


Рис. 153. Максимальный радиус активности некоторых позвоночных и беспозвоночных животных лесной зоны (Г. Ланге и К. Лехнер, 1989)

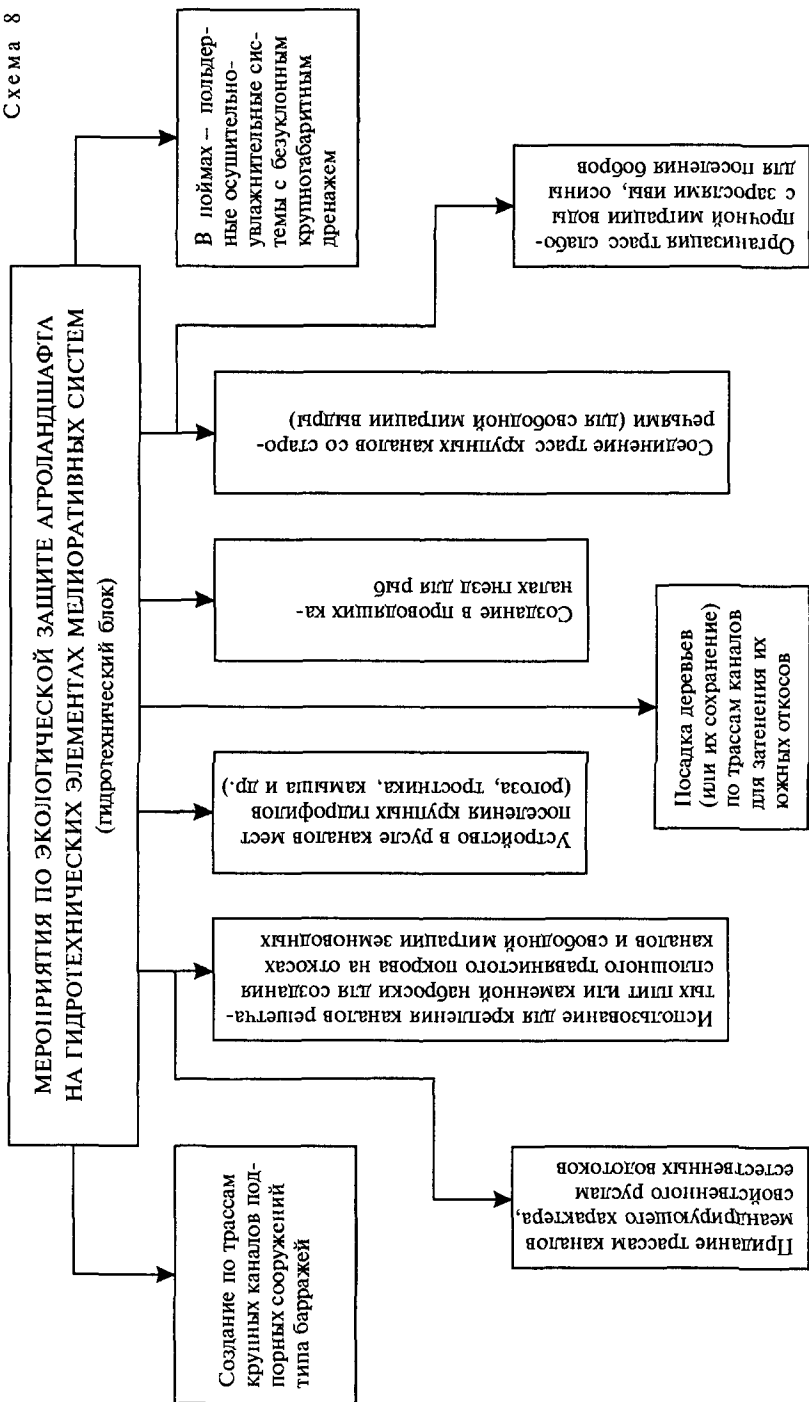
экологической обстановки не только для защиты природы, но и для рационального существования человека в этой среде.

Второй аспект (блок) мероприятий по экологической защите элементов ландшафта имеет конструктивную направленность. Он предусматривает систему мероприятий по экологической защите инженерно-мелиоративного уровня, которые реализуются в пределах самой мелиоративной системы (схема 8). Они направлены на экологизацию конструкций каналов, коллекторно-дренажной сети, транспортных линий, других специальных гидротехнических сооружений. Так, например, крупным проводящим каналом на осушительных системах придают меандрирующий характер, воспроизводя особенности русла естественных водотоков (рис. 2.18). Их крепление осуществляют не сплошным, а решетчатым сборным железобетоном, через который может легко прорасти травянистая растительность. Такое несложное мероприятие облегчает миграцию земноводных. В откосах каналов, а также в теле бетонных сооружений предусматривают устройство специальных гнезд для рыб. На открытых водотоках часто формируются искусственные зоны для укоренения и развития крупнотравянистой растительности (рогоза, камыша). Последние играют не только декоративную роль, но и являются местообитанием полезных микроорганизмов, простейших, земноводных. Так острова крупнотравянистой растительности способствуют, в частности, очистке воды от нефтепродуктов. Выполняются другие инженерно-мелиоративные мероприятия, непосредственно связанные со строительством. Мероприятия этого блока рассмотрены в схеме 9.

Особое значение имеют мероприятия по экологической защите мелиорируемых почв, непосредственного и часто единственного объекта мелиорации (см. схему 9). Почвенный блок мероприятий в настоящее время остается наименее разработанным. Несомненно, однако, что многие серьезные просчеты, связанные с мелиорацией, имели место именно потому, что не были известны или не были учтены возможные негативные изменения почв в результате применения тех или иных конкретных способов мелиорации. Примеры такого рода достаточно многочисленны.

Негативное влияние мелиорации на почвенный покров особенно опасно еще и потому, что почвы — не только объект мелиорации и естественный базис земледелия, но и «непременное условие существования для ряда сменяющихся человеческих поколений».

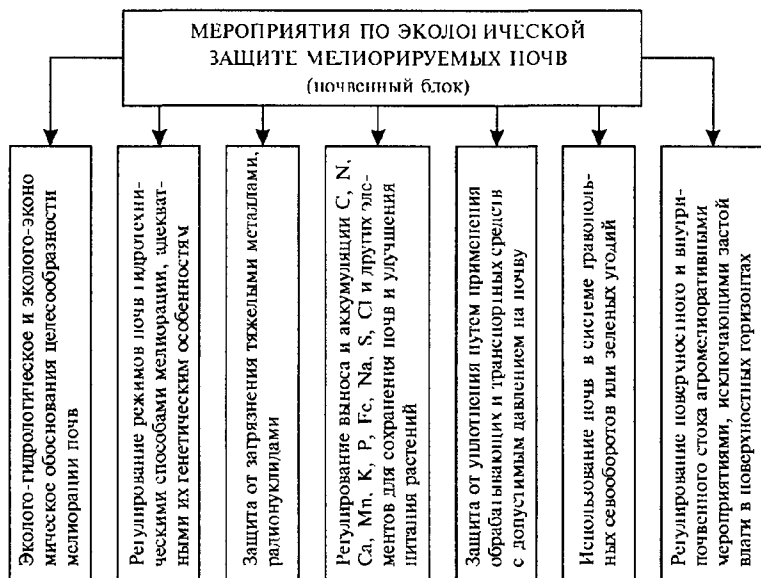
Вместе с тем в результате мелиорации устойчивые почвенно-климатические системы оказываются во вторичных, новых, несвойственных им термодинамических условиях. В гумидных ландшафтах на смену постоянному или временному анаэробизму приходит преимущественно окислительный режим, определяющий трансформацию или интенсивное разрушение гумуса и минерального вещества почвы. Интенсифицируется действие деградаци-



онных факторов зонального почвообразования, приводящих к выносу в дренажный сток щелочноземельных и трехвалентных металлов, тонких фракций мелкозема, растворимых органических и органоминеральных соединений, т.е. не только элементов питания, но и естественных клеев почвенной структуры. Наряду с этим в некоторых дренированных почвах возможна активизация процесса аккумуляции извести и оксидов железа, вызывающих цементацию почвенного профиля, а иногда и токсикацию корневых систем растений.

Мелиорируемые почвы прежде всего и в наибольшей степени подвергаются трансформации под влиянием антропогенного воздействия. Поэтому вопрос об экологической защите мелиорируемых почв, несомненно, один из наиболее приоритетных вопросов охраны природной среды и мест обитания человека. При рассмотрении вопроса об экологической защите мелиорируемых почв имеется в виду прежде всего анализ их свойств и режимов как среды обитания сельскохозяйственных растений в системе почва-агрокультура. Эта задача может быть успешно решена только в том случае, если, во-первых, будут раскрыты эколого-гидрологические особенности почв в естественном состоянии и их изменения после мелиорации и, во-вторых, будут установлены негативные последствия применения конкретных способов мелиорации на почвенный покров мелиорируемых территорий. Поэтому на первом этапе должна быть установлена эколого-гидрологическая и эколого-экономическая целесообразность мелиорации. На основе альтернативных проработок следует оценить варианты, при которых допускается использование почв в естественном (т.е. немелиорированном) состоянии или на фоне оптимизации их свойств и режимов в результате мелиоративных мероприятий. В последнем случае предусматривают мероприятия по экологической защите почв.

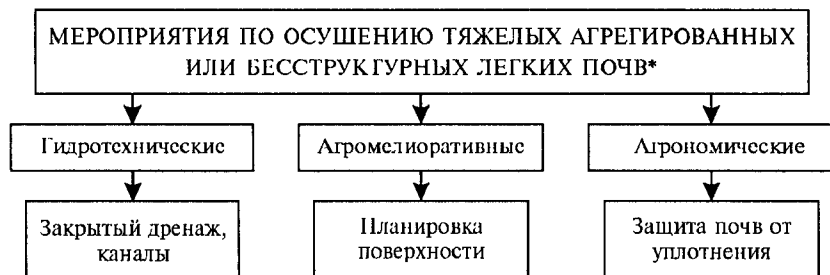
Успешное решение этой задачи возможно только в том случае, если она рассматривается применительно к совершенно конкретным способам мелиорации, реализуемым на фоне определенных генетических групп почв. В этом случае, очевидно, не может быть общих оценок. Рекомендации по экологической защите почв следует жестко увязать не вообще с мелиорацией, а с конкретными способами ее реализации в условиях определенной системы землепользования, в строго определенной региональной почвенно-генетической и климатической обстановке. К сожалению, этому обстоятельству до последнего времени не уделяется необходимое внимание. В результате наиболее грубые просчеты, связанные с мелиоративным вмешательством, в последние десятилетия были обусловлены главным образом недостаточно глубоким пониманием влияния на природную среду конкретных способов мелиорации. Поясним это положение несколькими актуальными примерами. Так, в 60-х годах из-за широкого применения глубокого самотечного осушения произошла быстрая сработка торфяных почв, и на дневную



поверхность вышли бесплодные кварцевые оглеенные пески, мергели и луговая известь. Значительные средства были инвестированы без какого-либо эффекта в ирригацию гажевых (высокогипсоносных) почв Центральноазиатского региона.

В 70-х—80-х годах при осушении тяжелых слабоводопроницаемых заболоченных почв закрытый дренаж во влажные годы почти повсеместно оказывался недостаточно эффективным только потому, что в пределах Русской платформы не применялись простые, но абсолютно необходимые агрометеорологические мероприятия по организации и ускорению поверхностного и внутрипочвенного стоков, по раскрытию западин, отводу избыточных вод с помощью шпукеров и траншейных фильтров. Было забыто важнейшее правило о необходимой комплексности гидротехнических, агрометеорологических и агрономических мероприятий, состав которых определяется конкретными почвенно-генетическими условиями (схемы 10, 11). Как следует из этих схем, состав мероприятий варьирует весьма существенно. Неоднозначное действие одного и того же способа мелиорации в различных почвенно-генетических условиях можно иллюстрировать на примере стабильности кротовых дрен в минеральных почвах глинистого состава. Так, земляные дрены, как правило, стабильны только в структурных почвах, но они быстро оплывают в бесструктурных подзолистых и болотно-подзолистых почвах (см. рис. 124).

Различно действие бестраншейного пластмассового дренажа, других гидротехнических приемов мелиорации.



* Почвы на почвообразующих породах 1 — мощный и среднемощный двучлен (песок, супесь 0,6 м на моренных и других суглинках и глинах); 2 — пески, супеси флювиогляциальные и озерно-ледниковые; 3 — пески, супеси моренные; 4 — глинистый агрегированный аллювий. $K_{\phi} > 0,3$ м/сут.

Весьма ограниченны современные представления об эффективности агромелиоративных мероприятий — приемов, определяющих в конечном итоге работу мелиоративной системы в целом. Так, глубокое мелиоративное рыхление — способ, определяющий благоприятные изменения физических свойств почв, — в определенных условиях может оказаться причиной их вторичного заболачивания, глееобразования и деградации. Это происходит в тех случаях, когда глубокое мелиоративное рыхление выполняют на недренированных гидроморфных почвах. В результате глубокое рыхление оказывается малоэффективным в гидрологическом или опасным в экологическом отношении (см. табл. 48). Наконец, это мероприятие может усилить действие зонального процесса почвообразования — подзолообразования и вызвать опасную интенсификацию элювиальных явлений в мелиорированных почвах.

При рассмотрении особенностей экологической защиты мелиорируемых почв следует особо остановиться на вопросах целесообразного применения агрономических мероприятий на мелиорируемых почвах. Практически полное устранение травопольных севооборотов и внедрение монокультур (особенно пропашных) послужили причиной почти повсеместной деградации минеральных и особенно торфяных почв. Последней способствовало широкое применение тяжелой колесной техники с высоким удельным давлением на почву. Следствием этого явилось переуплотнение подпахотных горизонтов, перераспределение поверхностного стока, работа дренажа в нерасчетном, излишне напряженном водном режиме, переувлажнение части дренированной территории, другие опасные явления.

Особый интерес представляет вопрос о создании целесообразных в эколого-гидрологическом отношении систем обработки мелиорированных почв. В частности, зяблевая пахота на тяжелых осушенных почвах вызывает в пределах европейской части России



* Почвы на почвообразующих породах: 1 — покровные лёссовидные глины; 2 — моренные тяжелые суглинки и глины; 3 — озерно-ледниковые суглинки (средние и тяжелые). $K_{\Phi} < 0,05$ м/сут.

известное переувлажнение пахотного горизонта и нарушение агрономических сроков их обработки. Переход на весеннюю вспашку в этом случае оказывается вполне оправданным. Однако на Дальнем Востоке в условиях муссонного климата весенний и ранневесенний периоды весьма засушливы, и здесь, напротив, зябь оказывается весьма полезным агроэкологическим мероприятием. Примеры такого рода могут быть существенно дополнены и расширены. Изложенные данные, однако, показывают, что только на основе такого триединого (ландшафтного, гидротехнического, почвенного) подхода в составе проекта может быть разработан рациональный комплекс мероприятий по экологической защите мелиорируемых почв и ландшафтов от деградации.

В заключение следует обратить внимание на то, что три рассмотренных уровня экологической защиты почв и природы гумидных ландшафтов актуальны и при проектировании современных мелиоративных систем в степных и аридных регионах, хотя состав некоторых природозащитных мероприятий, очевидно, может оказаться иным. В этих условиях, так же как и в гумидных ландшафтах, особого внимания заслуживает анализ тех изменений почв, которые происходят при применении конкретных способов мелиорации в реальных почвенно-генетических условиях.

ПОЧВЫ КАК ОБЪЕКТ МЕЛИОРАЦИИ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ОСНОВА ЕЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ (заключение)

В завершении рассмотрения этого курса необходимо подчеркнуть, что вся сумма изложенных сведений дает представление о современных гидротехнических, агромелиоративных, химических, тепловых, культуртехнических, биологических и других способах мелиорации почв, созданных человечеством на протяжении 10 тысяч лет развития земледелия на планете. Опираясь на эти знания, почвовед в своей работе может выбрать те инженерные и иные способы мелиорации, которые окажутся наиболее целесообразными и необходимыми в конкретных природных условиях. Однако в этом курсе присутствует и второй план информации, не менее важный и особенно значимый не только для почвоведа, но и для любого другого специалиста, применяющего мелиоративные мероприятия для оптимизации свойств и режимов почв.

Мелиорацию почв наряду с агрономией, агрохимией, растениеводством, экологией и другими дисциплинами следует рассматривать как одну из неперенных составных частей землепользования и земледелия, направленных на оптимизацию свойств и режимов верхних слоев рыхлых отложений. В этой связи следует признать, что если мелиорация создает благоприятные условия для развития растений в свите поверхностных рыхлых отложений общей мощностью 1,5–2,0 м, то задачи, поставленные перед ней, обычно оказываются выполненными. Именно поэтому почвы следует рассматривать как непосредственный, а в гумидных ландшафтах — как единственный объект мелиорации. Из этого следует, что чем полнее раскрыты особенности генезиса почв, их свойства и эволюция в естественном состоянии и после мелиорации, тем успешнее будут решены задачи земледелия и тем эффективнее окажутся мелиоративные мероприятия. Поэтому в третьем издании учебника «Мелиорация почв» особое место, существенно большее, чем в предыдущих изданиях, уделено оценке почв как непосредственного объекта мелиорации. Возможно, в частности, что эта особенность отличает его от других учебников для вузов с близкими названиями, но несколько другим содержанием.

Исходя из признания того очевидного факта, что почвы следует рассматривать как основной объект любых мелиораций для целей земледелия и лесного хозяйства, представлялось необходимым

связать способы мелиорации со свойствами и режимами почв, оценить роль их генезиса (т.е. условий формирования) в выборе наиболее целесообразных и оптимальных решений. Эта задача в значительной мере определила и основное содержание излагаемого в учебнике материала.

Несомненно, особое значение в этом случае приобретают сведения о вторичных изменениях почвообразовательных процессов, которые происходят при активном вмешательстве человека в природную среду с помощью мелиоративных мероприятий. Нередко такое воздействие приобретает значительные масштабы и далеко не всегда оказывается целесообразным и безопасным. К сожалению, все эти сведения остаются малоизученными и весьма ограниченными. К тому же, несмотря на их важное значение, они до последнего времени оставались практически невостребованными. В известной мере в учебнике предпринята попытка восполнить этот пробел. Вместе с тем рассмотренные здесь сведения отвечают на вопрос о том, что необходимо предпринять для оптимизации свойств и режимов почв, как, где и почему это следует выполнить.

Теперь попытаемся систематизировать сведения о роли почв и почвообразования в решении общей проблемы оптимизации условий земледелия на основе данных, изложенных в этом учебнике.

В связи с оценкой почв как основного объекта земледелия и мелиорации необходимо отметить, что их разнообразие в границах единой почвенно-климатической провинции детерминировано прежде всего разнообразием генезиса и состава почвообразующих пород. Это обусловлено тем, что почвы наследуют все основные свойства почвообразующих пород — их гранулометрический, химический и минералогический состав, физические и другие свойства. Но, кроме того, почвообразующие породы и процессы их формирования определяют рельеф территории, причины переувлажнения почв, заболачивания и засоления.

Выдающаяся роль почв и почвообразующих пород в решении задач земледелия и мелиорации обусловлена еще и тем, что их генезис и состав практически повсеместно предопределяют целесообразность применения и параметры гидротехнических сооружений, агро-мелиоративных и агротехнических мероприятий или, напротив, эти факторы лимитируют или исключают возможность применения многих, казалось бы, традиционных способов мелиорации. Следует подчеркнуть, что *если способ мелиорации не адекватен свойствам и режимам почв и почвообразующих пород, то он оказывается либо неэффективным, либо опасным для природной среды*. Примеры такого рода весьма многочисленны.

Их анализ необходим для того, чтобы обосновать допустимые границы применения конкретных способов мелиорации в определенных природных условиях, прогнозировать опасные последствия применения мелиоративных мероприятий в неадекватных ситуа-

циях, обеспечить устойчивость систем мелиорации, земледелия и агроландшафтов. Рассмотрим некоторые примеры такого рода на основе известных в настоящее время данных. Так, в условиях южной тайги глубокое самотечное осушение (т.е. понижение уровня грунтовых вод, рассчитанное на отрыв капиллярной каймы от нижней границе торфяной залежи) низинных болот полесий оказалось причиной ускоренного разложения их органического вещества, дефляции, пожаров, исчезновения осушенных торфяных почв, выхода на поверхность бесплодных оглеенных кварцевых песков, мергеля, известковых отложений.

Связь способов мелиорации с особенностями генезиса и состава почв и почвообразующих пород отчетливо проявляется и при мелиорации минеральных заболоченных почв. Это относится как к гидротехническим, так и к агромелиоративным мероприятиям. Так, пластмассовый дренаж быстро выходит из строя в минеральных гидроморфных почвах, заболоченных ожелезненными водами, т.е. в ортзандовых, оруденелых, коровых железистых, а также в ожелезненных торфяных почвах. Следствием этого является вторичное заболачивание территории. Керамический дренаж мало перспективен в длительно-сезонномерзлотных почвах Сибири из-за закупорки дрен ледовыми пробками весной в начальный период формирования дренажного стока.

Далее, кротовый дренаж может функционировать только в структурных, преимущественно пойменных почвах. Однако он нецелесообразен в бесструктурных болотно-подзолистых суглинистых и глинистых почвах. Сама оподзоленность почвенного профиля является достаточным свидетельством нецелесообразности применения этого вида дренажа.

Генезис почв, их гранулометрический и агрегатный состав определяют принципиальную конструкцию осушительных систем. Так, на тяжелых оглеенных слабоагрегированных и плохо водопроницаемых почвах необходимы комбинированные осушительные системы. Здесь кроме регулирующей сети осушителей целесообразно устройство ложбин с коэффициентами откосов 5—6 для раскрытия западин, шлюкеров, траншейных фильтров из крупнозернистого песка, мелкого гравия, керамзита, пластмассовых шариков и других материалов, агромелиоративных мероприятий по ускорению поверхностного и внутрипочвенного стока, а также выполнение агрономических мероприятий по защите почв от уплотнения (применение травопольных почвозащитных севооборотов, сельскохозяйственных машин с уменьшенным давлением на почву и др.). К сожалению, все эти агромелиоративные и агрономические мероприятия, столь необходимые для успешной работы дренажа, практически повсеместно в условиях Нечерноземной зоны России никогда не выполнялись на производственных сельскохозяйственных полях.

Хорошо агрегированные тяжелые почвы пойм отличаются высокими коэффициентами фильтрации. До тех пор, пока сохраняется благоприятная почвенная структура, не возникает необходимость в использовании шлюкеров, траншейных фильтров, в выполнении практически всех мероприятий по ускорению поверхностного и внутрипочвенного стоков, несмотря на их обычно глинистый гранулометрический состав.

Однако наблюдения показывают, что их длительная эксплуатация в условиях монокультуры пропашных на протяжении 15–25 лет и более приводит к существенному ухудшению физических свойств и возникновению водоупорных подпахотных горизонтов.

Наконец, в легких почвах, заболоченных грунтовыми водами, схема осушения наиболее проста. На внепойменных массивах она ограничена лишь регулирующей сетью осушителей, планировкой поверхности и агрономическими мероприятиями по защите почв от уплотнения.

Тесная связь эффективности мелиоративных мероприятий и генезиса почв проявляется не только в случае применения гидротехнических, но и агромелиоративных мероприятий. Так, нами показано, что глубокое мелиоративное рыхление неэффективно в торфяных, средне- и сильнокаменистых почвах на моренных отложениях, в почвах на тонкослоистых ленточных глинах. Оно малоэффективно в условиях сложной структуры почвенного покрова, а также на недренированных оглеенных почвах.

Установлено, что такой распространенный способ агромелиорации, как кротование, неэффективен в тяжелых пойменных оглеенных агрегированных почвах и в почвах на тонкослоистых ленточных глинах. Наконец, применение бестраншейного пластмассового дренажа, глубокого мелиоративного рыхления, кротования, дренаукладчиков с непрерывной экскавацией затруднено или невозможно в почвах на моренных каменистых отложениях.

Свойства почв и пород определяют не только способы мелиорации, но и важнейшие параметры земляных сооружений, а также их стоимость. Так, в тяжелых почвах на тонкослоистых ленточных глинах при строительстве каналов выполняется максимальный объем земляных работ, поскольку их коэффициенты откосов равны 3,0–3,5. Эти почвы и породы обладают высокой способностью к скольжению. Вместе с тем в устойчивых моренных глинах они не превышают 1,25–1,50.

Примеры такого рода могут быть существенно дополнены. Однако и приведенных данных достаточно для того, чтобы признать следующее. Мелиоративные системы эффективны только в том случае, если они адекватны генезису и составу почв и почвообразующих пород. Это положение справедливо не только для гумидных, но и для степных и пустынных ландшафтов. Так, например, из-за недостаточного внимания к особенностям почв и пород в

Центральной Азии в 60–70 годах были вовлечены в орошение тяжелые гипсоносные почвы с высоким содержанием крупнокристаллического гипса. Такие почвы обладают низкой водопроницаемостью и практически не поддаются промывкам.

Несомненно, существует тесная генетическая связь между генезисом не только незасоленных, но и засоленных почв, с одной стороны, и сложной системой гидротехнических, агромелиоративных и химических мероприятий, используемых для удаления токсичных солей из профиля почв с разными типами засоления, с другой.

Так, для мелиорации почв хлоридного и сульфатного засоления обычно достаточны промывки пресными водами на фоне дренажа. Однако этот способ неэффективен для удаления нормальной соды и поглощенного натрия из профиля почв содового засоления. Для рассоления последних применяют промывку почв раствором 1%-й серной кислоты с последующим внесением в почву железного купороса.

В отличие от них почвы сульфидного засоления, обогащенные пиритом, не поддаются любым промывкам. Однако при окислении его значительные массы, сосредоточенные в толще поверхностных горизонтов, подвергаются окислению и продуцируют в больших объемах серную кислоту. При этом рН почвы уменьшается до 2,8–3,5. В настоящее время отсутствуют достаточно эффективные способы мелиорации таких экстракислых почв. Поэтому их использование в основном имеет экстенсивный характер. Исключением являются лишь территории, на которых возделываются особо устойчивые к высокой кислотности сельскохозяйственные растения — ананасы, баклажаны и др. Единственный способ активного улучшения таких экстракислых почв заключается в интенсивной промывке поверхностных горизонтов, обогащенных серной кислотой, водой тропических дождей.

Существенно отличным от рассмотренных способов рассоления является способ мелиорации пустынных почв карбонатного засоления, предельно насыщенных известью и доломитом. В последнем случае освобождение таких почв от избытка карбонатов кальция и магния происходит после увеличения парциального давления диоксида углерода в почвенных растворах и в воздухе и трансформации карбонатов в растворимые бикарбонаты. Таким образом, генетическая связь между засоленными почвами и способами их мелиорации достаточно очевидна и весьма сложна. Сведения такого рода могут быть существенно дополнены. Эту взаимосвязь можно проследить, в частности, и на другой группе засоленных почв — солонцах и солонцеватых почвах. Так, способ их само-мелиорации целесообразен только для высокогипсоносных солонцов. Мелиорация с помощью термического пара применима лишь для каштановых и полупустынных солонцов. Наконец, землевание как способ мелиорации недопустимо на гидроморфных солонцах с близким стоянием к дневной поверхности засоленных грунтовых

вод, поскольку в этом случае неизбежна их быстрая регенерация. Вместе с тем на автоморфных черноземных солонцах этот способ мелиорации весьма перспективен в экологическом и экономическом отношениях.

Отметим и то, что бездренажное орошение черноземов и каштановых почв на юге России при близком залегании майкопских, хвалынских и других соленосных пород стало причиной не только их осолонцевания и засоления на значительных площадях, но и возникновения переувлажненных засоленных почв в условиях морчарных ландшафтов.

К изложенному следует добавить, что не только генетическая принадлежность почв предопределяет комплекс мелиоративных мероприятий, необходимых для оптимизации почв. Их основные свойства являются важнейшими параметрами для расчета различных элементов такого рода систем, выбора наиболее целесообразных способов мелиорации почв. В частности, свойства почв широко используются при расчетах проводящей и дренажной сетей, режимов орошения, объемов земляных работ при мелиоративном строительстве, мероприятий по рассолению и рассолонцеванию, экономическом обосновании проектируемых мелиораций, анализе других проблем.

Во всех этих случаях особое значение приобретают сведения о физических, химических, реологических, минералогических свойствах почв и почвообразующих пород. Так, для расчета основных параметров оросительных и осушительных систем необходимы сведения о полной и предельной полевой влагоемкостях, плотности почв, их коэффициентах впитывания, фильтрации и водоотдачи, стабильности кротовых дрен и др. Не менее важными являются данные о гранулометрическом и агрегатном составе минеральных почв, их липкости, набухании, верхнем и нижнем пределах пластичности, числе пластичности, а для торфяных почв — сведения о ботаническом составе, степени разложения и зольности органо-генных горизонтов почвенного профиля.

При проектировании мелиоративных систем на засоленных почвах необходимы сведения о содержании токсических водорастворимых солей, их распределении по профилю и запасах, о типах засоления, содержании поглощенного натрия в почвенном поглощающем комплексе.

Все эти и другие сведения получают отражение на почвенно-мелиоративных картах и специальных картограммах, которые являются неотъемлемой частью любого мелиоративного проекта. Кроме того, такие карты отражают географическую структуру почвенного покрова мелиорируемой территории, целесообразность его использования и возможность альтернативных решений, необходимость применения различных методов и способов мелиорации, состав почвоохранных и других мероприятия, направленных на оптимизацию свойств и режимов почв.

Эти достаточно сложные изыскания и исследования могут быть выполнены только подготовленными почвоведом. Следует подчеркнуть при этом, что задача заключается не только в прямом отражении свойств и режимов почв, но и в углубленном анализе влияния естественных (первичных) и вторичных (обусловленных деятельностью человека) процессов на свойства почв и их изменения в пространстве и во времени. Поэтому весьма существенное значение для оценки адекватности способов мелиорации почвам и природным условиям ландшафтов приобретает анализ вторичных изменений процессов почвообразования под влиянием современного интенсивного антропогенного воздействия. Такая оценка происходящих изменений важнейших почвообразовательных процессов и понимание основных закономерностей развития почв в новых условиях, детерминированных хозяйственной деятельностью человека, создают необходимую основу для научного прогноза вторичной эволюции почв после завершения мелиоративного строительства, их трансформации в иной термодинамической обстановке.

Полученные данные свидетельствуют о том, что влияние мелиорации на вторичное почвообразование проявляется весьма неоднородно. *Во-первых, мелиорация может существенно усилить первичный почвообразовательный процесс, во-вторых, вызывать новые, не свойственные почвам в исходном состоянии процессы или, в-третьих, приводить почвы к деструкции и гибели.* Поэтому, применяя определенную систему агрономических, мелиоративных и других мероприятий, следует прежде всего представлять те реальные вторичные почвообразовательные процессы, которые вызывает к жизни деятельность человека. Только на этой основе может быть выработана эффективная система защитных мероприятий по предупреждению опасных вторичных процессов. В этой связи для теории и практики мелиорации почв актуальны исследования их эволюции как результат антропогенного влияния. Рассмотрим несколько примеров такого рода. Так, применение дренажа в гумидных ландшафтах для осушения оглеенных минеральных почв на кислых и выщелоченных суглинистых и глинистых породах при современном низком уровне агротехники резко усиливает вынос кальция и магния, марганца и железа. Дренаж в таких почвах является причиной смены застойного типа водного режима на застойно-промывной. Все это приводит к возникновению или увеличению мощности подзолистого горизонта в мелиорируемых почвах. В таких почвах после дренажа усиливается действие зонального почвообразовательного процесса.

С другой стороны, осушение торфяных почв прекращает естественный процесс консервации остатков растений-торфообразователей. При этом резко интенсифицируется противоположный процесс. Происходит ускорение биохимического разложения их органического вещества. Его опасность очевидна. Но практически поч-

ти повсеместно в стране не применяют такие простые и необходимые приемы защиты торфяных почв от разложения, как поддержание на осушенных торфяных почвах лугового типа водного режима*, введение травопольных севооборотов и залужение, внесение органических и минеральных удобрений. Следует подчеркнуть, что в настоящее время необходимо пересмотреть действие традиционных и, казалось бы, известных способов защиты гидроморфных почв от деградации. Так, например, полагают, что пескование и покровная песчаная культура земледелия на торфяных почвах, несколько ускоряя распад их органического вещества в пахотном горизонте, резко тормозит этот процесс в подпахотных слоях. Поэтому в целом по всему профилю тормозится распад органики до простейших окислов (воды, диоксида углерода, нитратов). Однако многолетние исследования показывают, что внесение песка при песковании и покровной культуре земледелия, материала, обладающего невысокой теплоемкостью, высокими значениями температуропроводности и теплоотдачи, резко повышает температуру всех горизонтов почв от поверхности до грунтовых вод. Это усиливает активность целлюлозоразрушающих аэробных микроорганизмов и приводит в конечном итоге к ускоренному разложению органического вещества торфяных почв.

Установлено, что по сравнению с контролем (черной культурой) пескование и покровная песчаная культура земледелия достоверно увеличивают скорость разложения органического вещества торфяных почв на 20–50% в годы разной влажности.

Далее, существенно и то, что дренаж на осушенных болотах в полях на флювиогляциальных песках, а также на песках в условиях моренных ландшафтов при нерегулируемом водном режиме часто оказывается причиной отрыва капиллярной каймы от торфяной залежи. Это обстоятельство становится причиной опустошительных пожаров, приводящих к уничтожению всей торфяной залежи до минерального дна болот. Процесс пирогенного уничтожения почв осушенных болот в Нечерноземной зоне сейчас принимает масштабы экологического бедствия. В этой связи следует подчеркнуть, что восстановление плодородия таких земель, как правило, весьма затруднено или невозможно.

Несомненно, вторичные деградационные процессы, обусловленные мелиорацией, в настоящее время проявляются не только в Нечерноземье, но и в других регионах. Так, в степной зоне систематический переполив даже наиболее благоприятными по химическому составу гидрокарбонатно-кальциевыми водами вызывает в черноземах и темнокаштановых почвах возникновение процесса

* Под луговым типом водного режима в данном случае понимают устойчивое сохранение такого уровня грунтовых вод, при котором влага, восходящая от их зеркала к поверхности, постоянно поступает в пахотный горизонт.

оподзоливания. Его сущность заключается в том, что из верхних горизонтов профиля, находящихся в условиях застойно-промывного водного режима, при переполивках и периодическом анаэробнозе выносятся щелочноземельные и трехвалентные металлы, подвижный гумус, происходит подкисление поверхностных горизонтов почв. Они приобретают белесую окраску, кислую реакцию и утрачивают водопрочную структуру. Эти явления оподзоливания наиболее часто проявляются в почвах, обладающих небольшими резервами щелочно-земельных металлов.

Существенно и то, что в условиях степной зоны защита почв от неблагоприятных последствий оподзоливания предполагает применение таких же мероприятий, какие необходимы для оптимизации оглеенных подзолистых почв лесной зоны, т.е. устранение переувлажнения, введение травопольных севооборотов, известкование, внесение органических и минеральных удобрений.

Итак, *вполне очевидно наличие тесной взаимосвязи между генезисом, составом почв, почвообразующих пород, с одной стороны, и, с другой, адекватными их свойствам и режимам составом мелиоративных мероприятий*. На это обстоятельство необходимо обратить особое внимание, поскольку основные и весьма опасные ошибки, связанные с мелиорацией, в значительной мере объясняются непониманием этого важнейшего условия рациональной мелиорации почв практически всех зон страны.

Очевидно, изложенные сведения далеко не полно отражают основополагающую роль почв в решении актуальных проблем мелиорации, направленных на оптимизацию условий земледелия, рациональное решение экологических задач и природопользования. Тем не менее рассмотренные здесь, в этом учебнике, а также многие другие данные свидетельствуют о том, что мелиоративные мероприятия оказываются эффективными и экономически целесообразными только в тех случаях, когда при проектировании учитываются в полной мере особенности свойств и режимов почв в исходном, естественном состоянии и их изменения после применения мелиорации. Иными словами, когда мелиоративные мероприятия оказываются адекватными почвам мелиорируемой территории и особенностям природной среды агроландшафта в целом.

В анализе этой взаимосвязи, в определении допустимых границ воздействия мелиоративных мероприятий на почвенный покров и окружающую природную среду, в экологической защите мелиорируемых почв и ландшафтов от деградационных изменений и их сохранении для непрерывного ряда сменяющихся человеческих поколений заключается одно из важнейших предназначений почвоведения и почвоведения как науки о непосредственном объекте мелиорации.

ЛИТЕРАТУРА

К главам 1–2

Докучаев В.В. Доклад об оценке земель вообще и Закавказья в особенности. Почвенные горизонтальные и вертикальные зоны. 1898. Цит. по: Докучаев В.В. Соч. Т. 6. М.; Л.: АН СССР, 1951. 596 с.

Кац Д.М., Шестаков В.М. Мелиоративная гидрогеология. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1991. 256 с.

Орошение и осушение в странах мира / Под ред. Е.Е. Алексеевского. М.: Колос, 1974. 527 с.

Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Л.: Гидрометеоздат. Т. 1. 1965. 663 с.; Т. 2. 1969. 289 с.

К главам 3–6

Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель. М.: Агропромиздат, 1985. 302 с.

Губин В.К., Гордеев В.Б. Стационарные оросительные системы и их техническое обслуживание. М.: Агропромиздат, 1985. 56 с.

Зайцев В.Б. Рисовая оросительная система. М.: Колос, 1975. 352 с.

Колпаков В.В., Сухарев И.П. Сельскохозяйственная мелиорация. М.: Колос, 1981. 328 с.

Костяков А.Н. Основы мелиорации. М.: Сельхозиздат, 1951. 751 с.

Розов Л.П. Мелиоративное почвоведение. М.: Сельхозиздат. 1956. 439 с.

Скрипчинская Л.В. и др. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации. Киев, 1977. 348 с.

Dashberg S., Bresler E. Drip irrigation manual P.O.B. 49. Volcani Center. Bet Dagan. Israel. 1985. 95 p.

К главе 7

Антипов-Каратаев И.Н. Мелиорация солонцов в СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 563 с.

Вадюнина А.Ф. Электромелиорация почв засоленного ряда. М.: Изд-во МГУ, 1979. 225 с.

Варунцян Э.С. Рассоление грунтовых вод на орошаемых землях. М.: Колос, 1977. 135 с.

Владыченский С.А. Сельскохозяйственная мелиорация почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 298 с.

Волобуев В.Р. Расчет промывки засоленных земель. Баку: Изд-во АН АзССР, 1975. 95 с.

Зайдельман Ф.Р. Почвы, близко подстилаемые галечником, и их использование в орошаемом земледелии Сибири. М.: Россельхозиздат, 1965. 168 с.

Зимовец Б. А. Экология и мелиорация почв сухостепной зоны. М.: Изд-во РАСХН, 1991. 249 с.

Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв. М.; Л.: Изд-во АН СССР. Т. 1. 1946. 568 с.; Т. 2. 1947. 375 с.

Ковда В.А. Проблемы борьбы с опустыниванием и засолением орошаемых почв. М.: Колос, 1984. 303 с.

Минашина Н.Г. Мелиорация засоленных почв. М.: Колос, 1978. 270 с.

Панкова Е.И. Генезис засоленных почв пустынь. М.: РАСХН, 1992. 136 с.

Почвы аридной зоны как объект орошения / Под ред. В.В. Егорова, Н.Г. Минашиной. М.: Наука, 1968, 222 с.

Почвы содового засоления и их мелиорация / Под ред. Г.П. Петросяна. Материалы симпозиума по мелиорации почв содового засоления. Ереван: Изд-во МСХ АрмССР, 1971. 752 с.

Применение дренажа при освоении засоленных земель / Под ред. В.А. Ковды, В.В. Егорова. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 172 с.

Решеткина Н.М., Якубов Х.И. Вертикальный дренаж. 2-е изд. М.: Колос, 1978. 320 с.

К главам 8–13

Брудастов А.Д. Осушение минеральных и болотных земель. 4-е изд. М.: Сельхозгиз, 1955. 444 с.

Дренаж сельскохозяйственных земель / Под ред. Д.Н. Лютина. М.: Колос, 1964. 719 с.

Зайдельман Ф.Р. О глубоком осушении торфяников / Гидротехника и мелиорация. 1960. № 11. С. 25–31.

Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв Нечерноземной зоны РСФСР (справочная книга). М.: Колос, 1981. 198 с.

Зайдельман Ф.Р. Гидрологический режим почв Нечерноземной зоны (генетические, мелиоративные и агрономические аспекты). Л.: Гидрометеиздат, 1985. 328 с.

Зайдельман Ф.Р. Эколого-мелиоративное почвоведение гумидных ландшафтов. М.: Агропромиздат, 1991. 320 с.

Зайдельман Ф.Р. Естественное и антропогенное переувлажнение почв. М.: Гидрометеиздат, 1992. 287 с.

Зайдельман Ф.Р. Экологическая защита мелиорируемых почв и агроландшафтов / Почвоведение. 1993. № 1. С. 5–12.

Зайдельман Ф.Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 300 с.

Зайдельман Ф.Р. Шваров А.П. Пирогенная и гидротермическая деградация торфяных почв, их агроэкология, системы земледелия, рекультивация. М.: Изд-во МГУ, 2002. 166 с.

Климко А.И., Канцибер Ю.А., Ермолина Л.М. Расчеты оптимальных параметров сельскохозяйственного дренажа. М.: Колос, 1979. 142 с.

Кунтце Х. Загрязнение почв железом и заохривание труб. М.: Агропромиздат, 1986. 101 с.

Слитоземы и слитые почвы / Под ред. Е.М. Самойловой. М.: Изд-во МГУ, 1990. 144 с.

Трутнев А.П. Возделывание сельскохозяйственных растений на выработанных торфяниках. М.: Л., Изд-во сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов. 1963. 200 с.

Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 487 с.

Шкиннис Ц.Н. Гидрологическое действие дренажа. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 311 с.

Эггельсманн Р. Руководство по дренажу. М.: Колос, 1984. 245 с.

Янголь А.М. Двустороннее регулирование влажности при осушении. М.: Колос, 1970. 136 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Агрегат дождевальный ДДА-100 М 167
— ДДН-70, ДДН-100 167
— «Кубань» 167
Агрофитомелиорация солонцов 241
Акведук 97, 99, 100
Аккумуляция гидрогенная соедине-
ний металлов 272
Активный слой 129
Аллювий галечниковый 185
Анализ визуальный и органолепти-
ческий воды 83, 84
Арзык 222
Аэренхима риса 150
Баланс водный 62
— годичный 199
— грунтовых вод и солей 199
Барраж 124
Батометр 112
Берма 104
Болота верховые (олиготрофные) 258, 274
— низинные (евтрофные) 259, 273
— переходные (мезотрофные) 259, 274
Борозды выводные 140
— затопляемые 142
— поливные 142
— проточные со сбросом 142
— глубокие 142
— мелкие 142, 144
Борьба с фильтрацией из каналов (способы) 144
— одежды и облицовки 116
— кольматация 118
— осолонцевание 119
— оглеение 119
— поверхностно-активные вещества 120
— силикатизация 120
— уплотнение ударное 117
Бровка канала 104
Быстроток 99, 100
Вакуум-дренаж 208, 292
Верховодка 49
Вертушка гидрометрическая 112
Вещества, растворенные в поливной воде 83, 84, 85, 86
Вид торфа 275
Вид торфяной залежи 215
Влагоемкость динамическая (капиллярная) 69, 71
— предельная полевая 68, 70, 71
Влажность разрыва капиллярной связи (БРК) 74
Вода
— солёности низкой 87
— средней 87
— высокой 87
— очень высокой 87
Водовыпуск сифонный 158
— трубчатый донный 126
Водный режим почв 61
Вододелитель 98, 99
Водоисточник 79, 81, 82
Водопотребление 79
Водоприемник 98, 285
Водослив 109
— затопленный 110
— незатопленный 110
— трапецеидальный Чиполетти 110
— треугольный Томсона 110, 111
Воды автохтонные 49
— аллохтонные 50
— атмосферные 260, 262
— грунтовые 50, 260, 261
— коллекторно-дренажные 82
— морские 82
— намывные русловые 260, 264
— склоновые 260, 262
— напорные 51
— озер и водохранилищ 81
— подземные 82
— речные 80
«Волжанка» 171
Время осушения 306
Вспашка многоярусная 241
Временная оросительная регулирующая сеть 45
Гажа 222
Гальмиролиз 230
Гидравлический радиус 107
Гидрант 167
Гипсование 235
Глееобразование 269
Глей застойный 269
Глубина канала 104
Глубокое мелиоративное рыление 240
Глубокое осушение торфяных почв 345, 355
Горизонты глеевые 268, 269, 270
График гидро модуля неукомплектованный 135
— укомплектованный 136

— оросительного гидромодуля 134
Гребневание 339
Грядование 339

Дамба обвалованная (защитный вал) 285

Двухконсольный дождевальный агрегат 168

Движение воды ламинарное 108

— турбулентное 108

Дерновая руда 330, 331

Дренаж целевой 304

— бестраншейный 298, 299

— биологический 292

— вертикальный 205, 294

— выборочный 204

— гончарный 293

— горизонтальный 204, 294

— деревянный 301

— жердяной 302

— каменный 302

— кротовый 302, 303

— линейный 204

— несовершенный 96

— пластмассовый 297

— поперечный 289

— продольный 289

— систематический 204

— совершенный 96

— трубчатый деревянный 301

— узкотраншейный

— фашинный 301

Дождевание 92, 162

— импульсное 166, 174, 175

— обычное 165

Дюкер 97, 99, 100

Железобактерии 326

Живое сечение канала 107

Заболачивание водоемов 265

— суши 260

Закупорка дренажа оксидом железа 326

Залежь торфяная 275

Заложение откоса 104

Замок плотины 123

Засоление первичное 200

— вторичное 200

— первой стадии 201

— второй 201

— третьей 201

— хлоридное 197

— сульфатное 197

— сульфидное 219

— содовое 214

— гипсовое 222

— карбонатное 221

Затопление (при орошении риса)

— постоянное 148

— прерывистое 149

— укороченное 149

— периодическое 149

Защита экологическая почв 408

— ландшафта 408

Землевание 187

Зона лесостепная и широколиственных лесов 44

— лесотундрово-северотаежная 43

— полупустынная 45

— полярно-тундровая 43

— природно-мелиоративная 42

— предгорная пустынно-степная

— пустынная 45

— среднетаежная 43

— степная 44

— сухостепная 44

— субтропическая пустынная 46

— субтропическая влажнолесная 46

— субтропическая кустарниково-степная и сухолесная 46

— субтропическая предгорно-полу-

пустынная 46

— южнотаежная 44

Зоны дренирования территории 53,

55–57

— бессточная 55

— весьма слабодренированная 55

— дренированная 55

— естественно интенсивно дрениро-

ванная 55

— слабодренированная 55

Изоахсы 112

Ионы токсичные 196

Испаряемость 36

Источник орошения 93

Изоахсы 112

Ионы токсичные 196

Испаряемость 36

Источник орошения 93

Изоахсы 112

Ионы токсичные 196

Испаряемость 36

Источник орошения 93

Изоахсы 112

Ионы токсичные 196

Испаряемость 36

Источник орошения 93

Изоахсы 112

Ионы токсичные 196

Испаряемость 36

Источник орошения 93

Изоахсы 112

Ионы токсичные 196

Испаряемость 36

Источник орошения 93

- хозяйственный водосбросной 96
- хозяйственный 94
- прямоугольный 105, 106
- трапецидальный 105, 106
- параболический 105, 106
- треугольный 105, 106
- составной 105, 106
- ложбинный 105, 106
- Каналы в выемке 106
- в насыпи 106
- в полувыемке-полунасыпи 106
- земляные с бетонным покрытием 115
- Картограммы 404
- Карты краснодарского типа (рисовые ОС) 151
- Карты почвенно-метеорологические 401, 404
- Квали 338, 340
- Кислование 217, 239
- Классификация гипсоносных почв 223
- солонцов 231
- солончаков (по морфологии) 193, 194
- почв по содержанию токсичных солей 196—198
- торфов 275
- Коллектор первого, второго порядка 286
- Кольматаж 291
- Кольматация 118
- Контур промачивания 144
- Коркообразования при поливах 177
- Коры железистые 330, 334
- Коэффициент водопотребления 79
- влагообеспеченности 35
- гидротермический 36
- земельного использования 102
- откоса 104
- полезного действия оросительной системы 114
- стока 36
- транспирации 78
- увлажнения 36
- фильтрации 113
- водоотдачи 71
- шероховатости 109
- Кривая депрессионная 309
- Крот-дренер 291
- Кротование 340
- Культура болот голландская 356
- римпауская (насыпная) 357, 358
- смешаннослойная песчаная немецкая 357, 360
- смешанная (северная) 357, 358
- феновая 356
- черная (обыкновенная) 356

Лессиваж 269
 Лиман 153
 — глубоководный 154
 — мелководный 154
 — наполняемый сбросными водами 154
 — непосредственного наполнения 154
 — одноярусный 154
 — пойменный 154
 — ярусный (многоярусный) 154
 Ложбины 106, 293
 Лотковая оросительная сеть 120

Магистральный канал 93
 Машина дождевальная многоопорная «Днепр» ДФ-120 172
 — «Фрегат» 170
 — «Волжанка» 171
 Машина дренапромывная 334, 335
 Мелиорация 11
 — агрономическая 11
 — гидротехническая 12
 — культуртехническая 11, 137
 — тепловая 12
 — фитомелиорация 11
 — химическая 11
 Мерель болотный 261
 Мероприятия агрономические 336, 337
 — агромелиоративные по ускорению внутрипочвенного стока 340
 — поверхностного стока 338
 — культуртехнические 398
 Метод мелиорации 35, 260
 — определения водоотдачи 71
 — осушения 260, 283
 — типа засоления 194
 — степени засоления 197
 — влажности почв тензиометрический 132
 — термостатно-весовой 133
 — физиологический 133
 Модуль дренажного стока 72
 Мочар 238

Нагорный канал 285
 Напуск боковой 140
 — головной 140
 Насадка дождевальная 167
 Натрий-адсорбционное отношение (SAR) 86
 Нижний предел оптимальной влажности 74
 Нормы оросительная 127
 — осушения 307
 — поливная 128
 — промывная 210
 — стока 72

Обеспеченность 75, 76

Одежда каналов противofильтрационная 114

— битумная 115, 117

— асфальтовая 115

— пленочная 115, 117

— асфальтобетонная 115

— многослойная 115, 117

— глиняная 115, 117

Ороситель временный 144

Оросительная система 93

— дождевальная 165

— закрытая 166

— комбинированная 93

— открытая 93

— постоянного действия 93

— периодического действия 93

Орошение аэрозольное (мелкодисперсное) 92

— влагозарядковое 91

— внутрипочвенное 179

— выборочное 92

— затоплением по полосам 139, 140

— капельное 93, 182

— ирригационное 153

— нерегулярное 91

— по бороздам 139, 142

— поверхностное 92, 139

— промывочное 91

— регулярное 91

— риса 146

— сплошное 92

— увлажнительное 91

— удобрительное 91

— утеплительное 91

Ортзанд 330, 332

Орштейн 330, 331

Осолодцевание 89, 229, 249

Откос канала 104

Отстойники 97

Охра железистая 330

Пар термический 240

Пахота узкозагонная 339

Перелоговая система орошения 245

Период мелиоративный

Периметр смоченности канала 107

Планировка 137

— выборочная

— капитальная (строительная) 138

— кулисная 139

— ремонтная 139

— сплошная 138

— текущая 139

— эксплуатационная 139

Плотины водозадерживающие 122

— водозаборные 122

— водосливные 122

— мягкие резиновые 123

Повторное рыление 345

Ползодообразование 270

Полюсы поливные 140

Полив вегетационный 129

— влагозарядковый 130

— затоплением 146, 161

— освежительный 129

— посадочный 131

— предпосевной 131

— промывной 91

— увлажнительный 129

Польдер морской 288

— речной 288

— зимний 288

— летний 288

Поплавки 111

Показатель атмосферного увлажнения 37, 40

— естественной дренированности

53, 55, 56

Порог водослива широкий 110

— токсичности 192

Потенциал натриевый 89

— известковый 89

Потери на фильтрацию из каналов 113

Пояс природно-климатический 42

Почвы автоморфные 256

— болотные 257, 258, 271

— высокосолончаковые 193

— глубокозасоленные 193

— гидроморфные 231, 256

— заболоченные 257

— засоленные 192

— ирригационные 247

— каменистые 185

— структурные поименные 264

— мочарных ландшафтов 238

— минеральные 257

— органогенные, торфяные 258

— подзолистые 269, 270

— полугидроморфные 232

— потенциально засоленные 193

— глигис 349

— солончаковые 193

— солонцовые 228

Площадь орошения брутто 102

— нетто 102

Предел оптимальной влажности нижний 74

Приодность воды для полива 83

Причины заболачивания 259

— соленакопления 192

Привнос гидрогенный

Признаки гидроморфизма почв 257, 261

— ожестечения вод 261

- засоления почв 192, 193, 197
- солонцеватости 228, 229
- слитизации 350, 351
- Промывки засоленных почв капитальные 211
- поверхностные 209
- сквозные 210
- эксплуатационные 213
- Прикатывание 384
- Профилирование 338, 339
- Процесс аллювиальный 272
- дерновый 271
- гидрогенно-аккумулятивный 272
- глеевый 268
- засоления 192
- осолонцевания 228
- ошелачивания 89
- подзолообразования 270
- поемный 273
- слитизации 350
- Радияция фотосинтетически активная (ФАР) 42**
- Радиус гидравлический 107
- разбрызгивания 168
- Районирование мелиоративное 405
- Расстояния междурядные 309
- Расход потока 108, 109, 111
- Регулирующая сеть осушителей 285
- Регуляторы 97, 98
- водовыпуски 99
- Режим орошения риса 148
- водный 61
- Рефулирование 291
- Рис плавающий 149
- Рудяк 330, 333
- Рыхление глубокое мелиоративное 342
- полосное 344
- сплошное 344
- Рыхление-кратковременное мелиоративное 344
- Рыхлитель мелиоративный пассивный 344
- активный 345
- Самомелиорация солонцов 234, 241**
- Сапропель 266, 272, 280
- глинистый 280
- детритовый 281
- диатомовый 281
- известковистый 281
- песчаный 281
- Сбросы консолонные 99, 101
- Сифоны для выпуска поливной воды алюминиевые 158
- пластмассовые 158
- Сеть временная оросительная регулирующая 95
- волосбросная 95
- дорожная 101
- дренажная 95
- закрытая 166
- оградительная 95, 285
- открытая 166
- проводящая коллекторная 286
- поливная 95
- полузакрытая 166
- распределительная 94
- регулирующих осушителей 285
- Сечение канала живое 107
- Система оросительная дождевальная 165
- подвижная 166
- полустационарная 166
- стационарная 166
- стационарных закрытых подземных трубопроводов 166
- Система осушительная выборочная 289
- комбинированная 291
- некомбинированная 291
- польдерная 288
- самотечная 288
- систематическая 289
- Скважина разгрузочная 287
- Скоростной коэффициент 109
- Скорость критическая 108
- потока 108
- минимальная 108
- Слой активный 130
- водоносный 50
- водупорный 50
- Соленаккумуляция (циклы) вторичные циклы 191
- дельтовое 191
- континентальное 191
- первичные циклы 191
- приморское 191
- Солончи 231
- автоморфные 231, 232
- гидроморфные 231
- каштановые 233
- полугидроморфные 231, 232
- полупустынные 233
- черноземные 233
- Содержание солей допустимое 211
- Солончаки 192
- болотные 193
- луговые 193
- корковые 194
- мокрые 193
- пухлые 193
- соровые 193
- такыровидные 194
- черные 194
- Сооружения водосливные 97

- головные водозаборные 93
- для регулирования содержания наносов в воде 101
- на осушительной системе 287
- перегораживающие 97
- подпорные 97, 100
- по регулированию скоростей движения воды в канале 97, 99
- Состав солей качественный 83, 84
- Стадии мелиоративного проектирования 400
- Способы борьбы с фильтрацией механические 115
- гидромеханические 115
- мелиорации и использования торфяных почв 35
- осушения 293
- полива 92, 93
- укладки пластмассовых труб
- Срок стабильного действия кротовых дрен 324
- Способ рассоления 209
- вымывания солей 210
- запашки солей 209
- механического удаления солей 209
- поверхностной промывки 209
- сквозной промывки 210
- Стенка водослива тонкая 110
- шпунтовая 123
- Степень разложения торфа 276, 277
- засоления 197
- Струя удельная поливная 140
- Сток твердый 81
- Субиригация 93
- Сумма токсичных солей 196
- Схема временной оросительной сети
- поперечная 143, 144
- оросительной системы 98
- продольная 143, 144
- Такеры 244
- Твердые элементы, взвешенные в поливной воде 81
- Техника полива 137
- Тип засоления 194, 195, 197
- водного режима 62, 67
- торфов 258, 259
- Торф
- березовый 278
- вахтовый 278
- гипновый 279
- древесный верховой 279
- верховой 280
- словый 278
- ольховый 278
- осоковый 278
- пушицевый верховой 279

- сфагновый низинный 279
- травяной низинного типа 278
- тростниковый 278
- хвощевой 278
- шейхцериевый низинный 278
- верховой
- Трубопроводы поливные полиэтиленовые 158
- металлические 158
- Туф 261
- Увлажнение нормальное 257
- Угол откоса 104
- Уменьшение площади почв абсолютное 9
- относительное 9
- Уровень грунтовых вод критический 202
- командования 105
- Установка дождевальная 167
- Установка дождевальная переносная КН-50
- синхронно-импульсная 175
- туманообразующая ТОУ 179
- Устройства водомерные 99
- дождевальные 167
- Фильтры объемные дренажные 298, 300
- траншейные 299
- Фитомелиорация 213
- Форма поперечного сечения каналов 106
- Фреза Мекинга 304
- Чеки 146, 151
- Чернозем 252
- Чизелевание 348
- Ширина канала по верху 104
- по дну 104
- Шлейф дождевальный ДШ-25/300 173
- Шлюкер 297
- Шлюзование предупредительное 381
- регулируемое 382
- увлажнительное 382
- Шлюз-водовыпуск 101
- Шох 221
- Экологическая защита мелиорации почв 408
- Экскаватор фрезерный многоковшовый 296
- Электромелиорация 243
- Ядро плотины 123

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аарнио Б 219
Абрамова М М 74
Айдаров И П 85, 88
Александров И Г 22
Алиев И С 187
Апарин Б Ф 8
Ангелов Е Н 238
Андреев А Г 250
Андреев Б В 230
Антипов-Каратаев И Н 85, 191, 215, 228, 229, 237, 240, 241
Аристов 163
Арманд Д Л 408
Астапов С В 324
Базилевич Н И 191, 196
Бамбалов Н Н 358
Безлина С Я 80
Бласс 182
Богатырев К П 349
Богдевич И М 256
Ботатбекова К С 349
Болотов А Т 17
Большаков А Ф 26, 32, 241
Бреслер Е 182
Быстров С В 226
Валюнина А Ф 243, 336
Васильев И С 379
Веденеев Б Е 22
Верба Н П 224
Вернер А Р 215
Викснэ А А 8
Вилснский Д Г 23, 31
Виткокс Л 85
Вильяме В Р 191
Винтер А В 22
Витте П А 151
Владыченский С А 31, 33, 76, 191, 226, 309
Вонтюк С П 304, 306
Вознесенский А С 119
Волобуев В Р 191, 211, 212, 349
Воробьева Л А 8
Высоцкий Г Н 35, 62, 82, 97
Гапон Е Н 88
Гейдриц К К 23, 215, 216, 217, 228, 235
Герасимов И П 23
Геродот 16
Гильгардт Е 80, 191, 214
Глушков В Г
Горблюк А В 370
Гордеев В Г 120, 183
Горшенин К П 24
Готлих К 359
Графтио Г О 22
Губин В К 120, 183
Давыдова А И 238
Дараб К 86, 141
Дарджиманов А Р 340
Дашберг С 182
Дегтирев Б М 208
Диа Мерамо 224
Димо А Н 21, 191, 395
Докучаев В В 18, 19, 25, 26, 60, 80, 252
Долгов С И 74
Дояренко А Г 22
Думблявскас Л М 387, 388
Елоров В В 59, 191, 198, 202, 227
Жестовский Н Е 112
Жилинский И И 17
Жуковский Н Е 312
Заилетьман Ф Р 6, 33, 119, 178, 186, 222, 232, 238, 268, 270, 303, 312, 324, 325, 328, 330, 331, 337, 342, 345, 346, 351, 355, 365, 368, 371, 380
Заицев В Б 148
Зборишук Н Г 177, 351
Зегеберг Х 310
Зигмонд А А 191
Зимовещ Б А 228, 253
Иванов Н Н 36
Иванова Е Н 23, 229
Иотов А И 351
Итон Ф М 226
Калсер Г М 85
Калантаев В А 208
Калачев Б А 24, 196
Канвар Д С 352
Катон 16
Кап Д М 53, 56
Качинский Н А 31, 32, 117, 191, 319, 320, 336, 396
Керзум П А 223
Климко А И 339
Ковда В А 23, 24, 26, 31, 32, 53, 85, 191, 194, 198–201, 203, 214–216, 227, 229, 241, 250
Козловский А Н 17
Козловский Ф И 349
Колпаков В В 94, 123, 135, 155
Кондорская А И 194
Кошечки Я 323
Кореневская В Е 33
Корнев В Г 181
Коротьков А Н 85, 88
Корнблум Э А 349
Костяков А Н 10, 19, 22, 35, 113, 131, 140, 153–155, 303, 312, 314, 392
Краус Г 89
Кузьмич П К 397
Кутикова Г Г 274
Кунтце Х 329, 330, 335
Купер Т 303

Курбатов И Д 325

Куртагич М 29

Данте Г 412

Лебсдев А Ф 117

Лебсдев Ю П 191

Левидкий П А 380

Лехнер К 412

Логинов И И 301, 353

Лодыгин В И 21

Ломоносов М В 17

Лобова Е В 24

Любинова И Н 8

Мазиков В М 197

Макридин Н В 206

Малыгин В С 191

Маркс К 16

Медвсдев А Г 370

Мекинг 304

Меновщиков В П 306

Минкин М Б 250

Минапина Н Г 81, 223, 247

Можсико А М 229

Муратова В С 198

Нгуен Суан Хаи 147

Нико льсон М А 303

Николасва С А 81

Новикова А В 81

Олум Е 408

Орцовский Н В 215, 239

Оттомайер В 360, 361

Павловский Н Н 109

Панкова Е И 8, 191, 196, 197, 223

Панов М А 191

Панов Н П 230

Пант Р К 317

Палисов Р И 27, 340

Петерсон Х 195

Петросян Г П 25, 191, 217

Потыинов Б Б 19, 20, 52, 191, 202, 226

Пост Л 217, 325

Прасюлов Л И 23

Пустовалов Л В 227

Рамлер Е 303

Решеткин М М 206

Рид Д 17

Ризенкамлф Г К 21, 22

Ричардс Л А 80, 86, 87, 191

Ролс А А 27, 51, 59, 61-68, 71, 74, 242

Розанов А Н 24, 191

Розанов Б Г 251

Розов Л П 23, 84, 191, 211

Розов Н Н 349

Ротэ Я 314

Рыжаков А Т 304, 306

Рыжов С Н 191

Сабанеев А А 22

Сабольч И 86, 191

Самнер М Е 191

Самойлова Е М 349, 351

Селянинов Г Н 36

Сибирцев Н М 18

Скрипчинская Л В 128, 148, 153

Скрынникова И Н 355, 380, 384

Соколовский А Н 119, 229

Соломон К Х 165

Соовик Э А 317

Стефанс Д 354

Страбон 15

Страутия В П 327, 329

Строганов Б П 198

Строгонова М Н 349

Суднищын И И 8

Сукачев В Н 27, 266

Сурова Г А 396

Сухарев И П 94, 123, 135, 155

Такке Б 380

Тимирязев К А 39

Томсон 111

Торн Д 195

Трутнев А Г 376, 377

Тютельпанов В И 238

Тюремнов С Н 271, 272, 275, 277

Тютюкин В Ф 160

Уваров В И 351

Уримов А И 22

Угримов Б И 22

Файермэн М 89

Фалевич 17

Федоссева 315

Фелдтова З Д 327, 329

Форхгеймер П 312

Хенин С 303

Хлебников С Г 119

Хохтенко Т Н 89

Хугхаудт-С В 315, 317, 380

Черкасов А А 15, 32, 309

Чипотетти 110

Шаров И А 159

Шатстен М А 22

Шашко Д И 36-38, 40

Шваров А П 368

Шези 108

Шсин Е В 8

Шейнкин Г Ю 159

Шестаков В М 53, 56, 205

Шкиннис П Н 387, 388

Шольц А 304

Шраг В И 24, 25

Шредер Д 345

Штепа Б Г 92

Шульте-Карринг Х 341, 345

Шумаков Б А 151

Эггелсманн Р 17, 286, 291, 300, 311,

316, 342, 361, 392

Этис Ф Б 307

Энгельардт А 18

Яковлев С А 349

Янголь А М 128, 153

Янерт Х 297, 319, 323

Яншин М С 164

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие (В А Садовничий)	5
Об авторе	6
От автора (предисловие к третьему изданию)	7
1 ВВЕДЕНИЕ В МЕЛИОРАЦИЮ ПОЧВ	9
1 1 Общие сведения о мелиорации почв	9
1 1 1 Понятие, объект, виды мелиорации	9
1 1 2 Краткий обзор истории развития мелиорации	15
1 1 3 Задачи курса «Мелиорация почв» для почвоведов в университетах и краткая история его становления	31
2 ФАКТОРЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВ КАК ОСНОВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕЛИОРАЦИИ	35
2 1 Климат	35
2 2 Общие почвенно-климатические условия мелиорации почв	42
2 3 Почвообразующие породы Водупорные горизонты, верховодка, грунтовые и напорные воды	48
2 4 Рельеф и степень дренированности территории	52
2 5 Биологический фактор	58
2 6 Возраст и эволюция мелиорированных почв	59
2 7 Водный режим почв	61
2 7 1 Общие представления	61
2 7 2 Водный баланс и типы водного режима почв	62
2 7 3 Понятия почвенной гидрологии и некоторые особенности работы мелиоративных систем	68
2 7 4 Вероятностная оценка природных факторов при мелиоративных расчетах	74
3 ИСТОЧНИКИ ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ ВИДЫ ОРОСИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩАЯ ОРОСИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА	78
3 1 Задачи орошения и потребность растений в воде	78
3 2 Источники воды для орошения и оценка ее пригодности для полива	80
3 2 1 Источники воды для полива	80
3 2 2 Оценка пригодности воды для полива и ее влияние на почву	83
3 3 Классификация видов орошения	91
3 4 Составные элементы постоянно действующей оросительной системы	93
3 4 1 Источники орошения, водозаборные сооружения, транспортирующая и оросительная сети	93
3 4 2 Коллекторно-дренажная и оградительная сети	95
3 4 3 Сооружения на каналах оросительной сети	97
3 4 4 Дорожная сеть, лесополосы Коэффициент земельного использования	101
4 КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КАНАЛОВ И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	103
4 1 Конструкция каналов	103
4 1 1 Общие параметры	103
4 1 2 Формы каналов	105
4 1 3 Живое сечение канала, периметр смоченности, гидравлический радиус	107
4 1 4 Расход воды в канале	108

4.1.5. Скорость воды в канале	108
4.1.6. Экспериментальное определение скорости и расхода воды в канале (потоке)	109
4.1.6.1. Определение расхода воды в канале с помощью водосливов	109
4.1.6.2. Определение расхода воды в канале по скорости потока и живому сечению	111
4.1.7. Потери воды на фильтрацию из каналов	113
4.1.8. Противофильтрационные мероприятия на каналах в земляном русле	114
4.2. Лотковая оросительная сеть	120
4.3. Оросительная сеть из закрытых трубопроводов	122
4.4. Плотины на водохранилищах оросительных систем	122
5. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПОЛИВНОГО РЕЖИМА	127
5.1. Оросительная норма	127
5.2. Поливная норма и виды поливов	128
5.3. Режим орошения, оросительный гидромодуль и орошение севооборотного участка	131
6. ТЕХНИКА ПОЛИВА	137
6.1. Подготовка поля к поливу и планировка поверхности орошаемого массива	137
6.2. Поверхностное орошение	139
6.2.1. Полив напуском по полосам	140
6.2.2. Полив по бороздам	142
6.2.3. Полив затоплением	146
6.2.3.1. Орошение риса	146
6.2.3.2. Лиманное орошение	153
6.2.4. Совершенствование приемов поверхностного полива	158
6.3. Дождевание	162
6.3.1. Виды дождевания и дождевальных оросительных систем	165
6.3.2. Современные дождевальные устройства (дождевальные агрегаты, машины, установки, насадки или аппараты)	167
6.3.2.1. Короткоструйные дождевальные устройства	168
6.3.2.2. Среднеструйные дождевальные машины и установки	170
6.3.2.3. Дальнеструйные дождевальные агрегаты	174
6.3.2.4. Синхронно-импульсное дождевание	174
6.3.3. Коркообразование при поверхностных поливах и дождевании. Способы устранения ирригационных корок	177
6.4. Аэрозольное орошение	179
6.5. Внутрипочвенное орошение	179
6.6. Субиригация	182
6.7. Капельное орошение	182
7. ОСОБЕННОСТИ ОРОШЕНИЯ КАМЕНИСТЫХ ПОЧВ	185
7.1. Орошение почв на галечниковом аллювии	185
7.2. Орошение почв на каменистом пролювии	188
7.3. Орошение почв на каменистых селевых отложениях и камнепадах. Возможность использования почв на элювии конгломератов	189
8. МЕЛИОРАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ	190
8.1. Общие сведения	190
8.2. Причины соленакопления и засоления почв	191
8.3. Солончаки, солончаковатые почвы. Их диагностика и классификация	192
8.4. Элементы баланса грунтовых вод и солей на орошаемой территории	199

8 5	Вторичное засоление почв	200
8 5 1	Общие положения и закономерности развития	200
8 5 2	Критическая глубина грунтовых вод	202
8 6	Дренаж орошаемых почв	204
8 6 1	Горизонтальный дренаж	204
8 6 2	Вертикальный дренаж	205
8 6 3	Вакуумирование дренажа	208
8 7	Способы удаления солей из профиля засоленных почв	209
8 7 1	Механическое удаление солей	209
8 7 2	Запашка солей	209
8 7 3	Поверхностная промывка	209
8 7 4	Вмывание солей	210
8 7 5	Сквозная промывка	210
8 8	Промывные нормы	210
8 9	Биологическая мелиорация засоленных почв	213
8 10	Особенности мелиорации почв содового, сульфидного, гипсового и карбонатного засоления	214
8 10 1	Содообразование. Генезис и мелиорация почв содового засоления	214
8 10 2	Сульфидное засоление. Генезис и мелиорация почв сульфидного засоления	219
8 10 3	Карбонатное засоление. Генезис и мелиорация почв карбонатного засоления	221
8 10 4	Гипсовое засоление. Генезис и мелиорация почв гипсового засоления	222
8 10 5	Устойчивость сельскохозяйственных культур к боратному засолению	225
8 11	Оценка мелиоративного состояния и экологии орошаемых почв по распределению соли	226
8 12	Мелиорация солонцов и солончковых почв	228
8 12 1	Общие понятия	228
8 12 2	Морфология, диагностика и классификация солонцов и солонцеватых почв	231
8 12 3	Мелиорация солонцов	235
8 12 3 1	Гипсование	235
8 12 3 2	Известкование. Улучшение свойств почв мочарных ландшафтов	238
8 12 3 3	Кислование	239
8 12 3 4	Землевание	239
8 12 3 5	Термический пар	240
8 12 3 6	Глубокое мелиоративное рыхление	240
8 12 3 7	Самомелиорация солонцов (плантажная вспашка)	241
8 12 3 8	Многоярусная вспашка	241
8 12 3 9	Биологическая мелиорация. Комплексная агрофитомелиорация солонцов	241
8 12 3 10	Электромелиорация	243
8 13	Мелиорация takyров	244
8 13 1	Генезис, свойства и классификация takyров	244
8 13 2	Особенности мелиорации takyров	245
8 14	Перелоговая система орошаемого земледелия в бессточных районах на засоленных почвах	245
8 15	Изменение свойств почв под влиянием орошения и почвоохранительных мероприятий	247
9	ОСУШИТЕЛЬНЫЕ МЕЛИОРАЦИИ	255
9 1	Общие положения	255
9 2	Заболоченные и болотные почвы как объекты мелиорации	256
9 3	Причины заболачивания почв и их диагностика	259

9 3 1	Признаки заболачивания почв грунтовыми и напорными водами	261
9 3 2	Признаки заболачивания почв атмосферными и намывными склоновыми водами	262
9 3 3	Признаки заболачивания почв намывными русловыми водами	264
9 3 4	Признаки болотных почв, возникающих в результате зарастания водоемов	265
9 3 5	Признаки биогенного заболачивания почв	267
9 4	Почвообразовательные процессы, формирующие почвы гумидных ландшафтов	268
9 4 1	Растительность как индикатор типа болот	273
9 4 2	Классификация торфов	275
9 4 3	Макроскопическое определение степени разложения торфа	276
9 4 4	Диагностика сапропелей и их свойства	280
9 5	Осушение заболоченных и болотных почв	281
9 5 1	Принципы выбора объекта осушения	281
9 5 2	Задачи осушения. Понятия о методе и способе осушения	283
9 6	Осушительные системы	284
9 6 1	Конструкция осушительных систем	284
9 6 2	Виды осушительных систем	288
9 6 3	Виды дренажа (осушителей)	293
9 6 3 1	Открытый дренаж	293
9 6 3 2	Закрытый дренаж	293
9 6 3 2 1	Материальный дренаж	293
9 6 3 3	Земляной дренаж	302
9 6 3 3 1	Кротовый дренаж	302
9 6 3 3 2	Щелевой дренаж	304
9 7	Время, норма, глубина осушения и междренные расстояния	306
9 7 1	Время осушения	306
9 7 2	Норма осушения	307
9 7 3	Глубина осушения и междренные расстояния	309
9 7 4	Осадка болотных почв при осушении	310
9 7 5	Определение междренных расстояний	311
9 7 5 1	Условия притока воды к осушителям	312
9 7 5 2	Определение междренных (межканальных) расстояний на основе гидромеханических способов расчета	313
9 7 5 3	Определение междренных расстояний по физическим свойствам почв	318
9 7 5 3 1	Определение междренных расстояний по гранулометрическому составу почв	319
9 7 6	Оценка устойчивости кротовых дрен в почвах	323
9 7 7	Закупорка дренажа гидроокисью железа и профилактические мероприятия по борьбе с закупоркой	326
9 7 7 1	Общие потожения	326
9 7 7 2	Условия возникновения аккумуляции оксида железа в дренажных трубах и диагностика этого явления	327
9 7 7 3	Промывка заиленных и заохренных дрен	334
9 7 8	Осушение заболоченных почв с низкой водопроницаемостью	336
9 7 8 1	Проходимость сельскохозяйственной техники	336
9 7 8 2	Гидротехнические мероприятия по ускорению поверхностного и дренажного стоков	338
9 7 8 3	Агромелиоративные мероприятия по ускорению поверхностного стока	338
9 7 8 4	Агромелиоративные мероприятия по ускорению внутрипочвенного стока (кротование, глубокое мелиоративное рыхление, чизелевание)	340

9 7 8 4 1	Альтернативные способы увеличения внутрисочвенного стока с помощью фитомелиорации	348
9 7 8 5	Слитые почвы и их мелиорация	349
9 7 8 5 1	Особенности генезиса и свойства слитых почв	350
9 7 8 5 2	Мелиорация слитых почв	351
9 7 9	Осушение, освоение и охрана торфяных почв	352
9 7 9 1	Общие положения	352
9 7 9 2	Использование торфяных почв в разных культурах земледелия	356
9 7 9 3	Пирогенная деградация осушенных торфяных почв	362
9 7 9 3 1	Общие положения и понятия	362
9 7 9 3 2	Пирогенные образования и пирогенно измененные почвы	366
9 7 9 3 3	Профилактические и рекультивационные мероприятия по защите торфяных почв от пирогенной и гидротермической деградации	369
9 7 9 4	Рекультивация деградированных торфяных почв на выработанных торфяных месторождениях	375
9 8	Двустороннее регулирование водного режима осушаемых почв	379
	Виды шлюзования	379
10	ДРЕНАЖ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ПОЧВ ПРИ ЛАНДШАФТНОМ И ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	385
10 1	Осушение почв для садов и ягодников	385
10 1 1	В каких случаях нужно осушать почвы для садов и ягодников	385
10 1 2	Особенности осушения и окультуривания почв для сада	386
10 2	Дренаж парков и лесопитомников	390
10 2 1	Устойчивость древесных растений к переувлажнению	390
10 2 2	Дренаж парков и лесопитомников	392
10 3	Дренаж в оползневых районах	392
10 4	Дренаж площадок для игр и отдыха	393
10 5	Дренаж спортивных площадок	394
11	ТЕПЛОВЫЕ МЕЛИОРАЦИИ	395
12	КУЛЬТУРТЕХНИЧЕСКИЕ МЕЛИОРАЦИИ И БОТАНИКО-КУЛЬТУРТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ	398
13	СТАДИИ МЕЛИОРАТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАДАЧИ ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТОВ МЕЛИОРАЦИИ	400
13 1	Стадии мелиоративного проектирования и состав почвенно-мелиоративных изысканий	400
13 1 1	«Обоснование инвестиций» в строительство объектов	400
13 1 2	«Проект»	401
13 1 3	«Рабочий проект»	403
13 1 4	«Рабочая документация»	404
13 2	Содержание почвенно-мелиоративных карт для обоснования проектов мелиорации	404
13 3	Районирование почв в мелиоративных целях	405
14	ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА МЕЛИОРИРУЕМЫХ ПОЧВ И АГРОЛАНДШАФТОВ	408
	ПОЧВЫ КАК ОБЪЕКТ МЕЛИОРАЦИИ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ОСНОВА ЛЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ (Заключение)	419
	<i>Литература</i>	428
	<i>Предметный указатель</i>	430
	<i>Именной указатель</i>	436

CONTENTS

Preface of Rector of the Moscow State University	5
About the author	6
Preface to the third edition	7
1 INTRODUCTION	9
1 1 General information on reclamation of soils	9
1 1 1 Concept, object, kinds of soil amelioration	9
1 1 2 Brief review of the reclamation history	15
1 1 3 Objectives of the training course «Reclamation of soils» for soil scientists and the short history of its formation	31
2 SOIL-FORMING FACTORS AND ELEMENTS OF THE SOIL MOISTURE REGIME AS A PRINCIPLE OF AMELIORATION PROJECTING	35
2 1 Climate	35
2 2 Common soil-climatic conditions for soil amelioration	42
2 3 Soil-forming materials Impermeable horizons, vadose, ground and artesian water	48
2 4 Relief and drainability degree of the area	52
2 5 Biological factor	58
2 6 Age and evolution of soils under amelioration	59
2 7 Moisture regime of soils	61
2 7 1 General notion	61
2 7 2 Water balance and types of the soil moisture regime	62
2 7 3 Concepts of soil hydrology and some peculiarities in amelioration systems	68
2 7 4 Probable assessment of natural factors for amelioration projecting	74
3 WATER SOURCES FOR IRRIGATION KINDS OF IRRIGATION AMELIORATION PERMANENT IRRIGATION SYSTEMS	78
3 1 Irrigation and the water need of plants	78
3 2 Water sources for irrigation and assessment of their suitability for irrigation	80
3 2 1 Water sources for irrigation	80
3 2 2 Assessment of the water suitability for irrigation and its influence on soil	83
3 3 Classification of irrigation kinds	91
3 4 Constituent elements of permanent irrigation system	93
3 4 1 Sources for irrigation, inlet structures, transportable and irrigation network	93
3 4 2 Collector-drainage network	95
3 4 3 Installations along canals	97
3 4 4 Road network, forest shelters Land use coefficient	101
4 SPECIFIC CONSTRUCTION OF CANALS AND THE OTHER ELEMENTS OF IRRIGATION SYSTEMS	103
4 1 Construction of canals	103
4 1 1 Common parameters	103
4 1 2 Forms of canals	105
4 1 3 The most efficient section, wetted perimeter, hydraulic radius	107
4 1 4 Water discharge in canal	108
4 1 5 Actual water velocity in canal	108

4 1 6	Experimental determining the water velocity and discharge in canal (flow)	109
4 1 6 1	Calculating the water discharge in weirs	109
4 1 6 2	Calculating the water discharge by flow velocity and most efficient section	111
4 1 7	Seepage loss from canals	113
4 1 8	Control measures against infiltration in earth canals	114
4 2	Flume irrigation system	120
4 3	Tile irrigation network	122
4 4	Diversion dams in irrigation waterstorages	122
5	BASIC ELEMENTS OF IRRIGATION REGIME	127
5 1	Irrigation requirement	127
5 2	Depth of irrigation and kinds of watering	128
5 3	Irrigation regime, hydromodule and irrigation of rotation areas	131
6	IRRIGATION ENGINEERING	137
6 1	Preparing the field for watering and flattening of the soil surface	137
6 2	Surface irrigation	139
6 2 1	Strip irrigation	140
6 2 2	Urow irrigation	142
6 2 3	Flood irrigation	146
6 2 3 1	Irrigation of rice	146
6 2 3 2	Basin irrigation	153
6 2 4	Perfecting the technology of surface irrigation	158
6 3	Sprinkling irrigation	162
6 3 1	Kinds of sprinkling and sprinkling systems	165
6 3 2	Modern sprinkler installations (sprinkler wagons irrigators rainers sprinkler apparatuses)	167
6 3 2 1	Short range sprinklers	168
6 3 2 2	Intermediate pressure sprinklers	170
6 3 2 3	Long-range sprinklers	174
6 3 2 4	Timing impulsive sprinkling	174
6 3 3	Crusting by surface irrigation and sprinkling, crust removal	177
6 4	Aerosol irrigation	179
6 5	Subsoil irrigation	179
6 6	Subirrigation	182
6 7	Dropping irrigation	182
7	PECULIAR IRRIGATION OF STONY SOILS	185
7 1	Irrigation of soils on pebble alluvium	185
7 2	Irrigation of soils on stony proluvium	188
7 3	Irrigation of soils on stony torrent deposits and rock falls The possible use of soils on conglomerates eluvium	189
8	AMELIORATION OF SALINE SOILS	190
8 1	General information	190
8 2	Reasons of salt accumulation and soil salinization	191
8 3	Solonchaks, solonchakous soils Their diagnostics and classification	192
8 4	Balance elements of ground waters and salts at the territory under irrigation	199
8 5	Secondary soil salinization	200
8 5 1	General idea and peculiar development	200
8 5 2	Critical groundwater depth	202

8 6	Drainage of irrigated soils	204
8 6 1	Horizontal drainage	204
8 6 2	Vertical drainage	205
8 6 3	Vacuum drainage	208
8 7	Salt removal from the profile of saline soils	209
8 7 1	Mechanical removal of salts	209
8 7 2	Salt plowdown	209
8 7 3	Surface leaching	209
8 7 4	Salt illuviation	210
8 7 5	Washing out of soil	210
8 8	Washing rates	210
8 9	Biological amelioration of saline soils	213
8 10	Specific amelioration of soils of sodium sulfide gypsum and carbonate salinization	214
8 10 1	Soda formation Genesis and amelioration of soils of sodium salinization	214
8 10 2	Sulfide salinization Genesis and amelioration of soils of sulfide salinization	219
8 10 3	Carbonate salinization Genesis and amelioration of soils of carbonate salinization	221
8 10 4	Gypsum salinization Genesis and amelioration of soils of gypsum salinization	222
8 10 5	Resistance of crops to borate salinization	225
8 11	Assessment of the soil ameliorative state by salt distribution	226
8 12	Amelioration of alkaline soils (solonchaks)	228
8 12 1	General concepts	228
8 12 2	Morphology, diagnostics and classification of alkaline and alkalinized (solonchakic) soils	231
8 12 3	Amelioration of solonchaks	235
8 12 3 1	Gypsuming	235
8 12 3 2	Liming Improvement of soil properties in overmoistened sites of dry steppe (the so called «mochar»)	238
8 12 3 3	Soil acidification	239
8 12 3 4	Earthling	239
8 12 3 5	Thermal fallowing	240
8 12 3 6	Deep ameliorative loosening	240
8 12 3 7	Self amelioration of solonchaks (plantage)	241
8 12 3 8	Many depth plowing	241
8 12 3 9	Biological amelioration Agrophytoamelioration of solonchaks	241
8 12 3 10	Electroamelioration	243
8 13	Amelioration of takyrs	244
8 13 1	Genesis, properties and classification of takyrs	244
8 13 2	Specific amelioration of takyrs	245
8 14	Put acid system of irrigation farming on saline soils in the drainless area	245
8 15	Irrigation induced changes in soil properties and soil protection measures	247
9	DRAINAGE AMELIORATION	255
9 1	General notion	255
9 2	Waterlogged and boggy soils as objects of amelioration	256
9 3	Waterlogging reasons and diagnostics	259
9 3 1	Features of ground waterlogging and by pressure water	261
9 3 2	Features of atmospheric waterlogging and by water from slopes	262
9 3 3	Features of waterlogging by river flood water	264
9 3 4	Features of boggy soils formed in overgrown water reservoirs	265
9 3 5	Features of biogenic soil waterlogging	267

9 4	Soil-forming processes in humid landscapes	268
9 4 1	Vegetation as indicator of swamp types	273
9 4 2	Classification of peats	275
9 4 3	Macroscopic definition of peat decomposition degree	276
9 4 4	Diagnostics of sapropels and their properties	280
9 5	Drainage of waterlogged and boggy soils	281
9 5 1	Principles for choosing a drainage object	281
9 5 2	Objectives of drainage Concepts of drainage method and technique	283
9 6	Drainage systems	284
9 6 1	Construction of drainage systems	284
9 6 2	Kinds of drainage systems	288
9 6 3	Drainage kinds	293
9 6 3 1	Open drainage	293
9 6 3 2	Closed drainage	293
9 6 3 2 1	Material drainage	293
9 6 3 3	Subsurface drainage	302
9 6 3 3 1	Mole drainage	302
9 6 3 3 2	Fissure drainage	304
9 7	Drainage time, rate and depth, drain spacing	306
9 7 1	Drainage time	306
9 7 2	Drainage rate	307
9 7 3	Drainage depth and drain spacing	309
9 7 4	Subsidence of boggy soils during their drainage	310
9 7 5	Calculation of drain spacing	311
9 7 5 1	Conditions for water flow to drains	312
9 7 5 2	Determination of drain spacing by hydromechanical calculation	
9 7 5 3	Calculation of drain spacing by physical-mechanical soil properties	313
9 7 5 3 1	Calculation of drain spacing by soil texture	318
9 7 6	Evaluating the stability of mole drains in soils	319
9 7 7	Drains filling by iron hydroxide and preventive control measures	323
9 7 7 1	General notion	326
9 7 7 2	Conditions for iron hydroxide accumulation in drain tubes and diagnostics of this phenomenon	326
9 7 7 3	Washing out of silt- and iron hydroxide-filled drains	327
9 7 8	Drainage of waterlogged soils with low permeability	334
9 7 8 1	Soil suitability for agricultural traffic	336
9 7 8 2	Hydrotechnical measures for accelerating the surface and drainage runoff	338
9 7 8 3	Agromeliorative measures for accelerating the surface runoff	338
9 7 8 4	Agromeliorative measures for accelerating the subsurface runoff (mole plowing, deep meliorative loosening, cheseling)	340
9 7 8 4 1	Alternative measures for increasing the subsurface runoff by agrophytoamelioration	348
9 7 8 5	Vertic soils and their amelioration	349
9 7 8 5 1	Peculiar genesis and properties of vertic soils	350
9 7 8 5 2	Amelioration of vertic soils	351
9 7 9	Drainage, cultivation and conservation of peat soils	352
9 7 9 1	General notion	352
9 7 9 2	Use of peat soils in different farming systems	356
9 7 9 3	Pyrogenic degradation of drained peat soils	362
9 7 9 3 1	Concept of pyrogenic degradation	362
9 7 9 3 2	Pyrogenic formations and pyrogenically-transformed soils	366
9 7 9 3 3	Preventive control measures to protect the peat soils against pyrogenic and hydrothermal degradation	369
9 7 9 4	Rehabilitation of degraded peat soils	375
9 8	The two sided control over moisture regime in drained soils Kinds of lockage	379

10 DRAINAGE OF WATERLOGGED SOILS DURING LANDSCAPE AND CIVIL BUILDING	385
10 1 Soil drainage for gardening and small-fruit cropping	385
10 1 1 In what cases are the soils drained for gardening and small-fruit cropping	385
10 1 2 Specific soil drainage and cultivation for gardens	386
10 2 Soil drainage in parks and forest nurseries	390
10 2 1 Resistance of woody vegetation to soil overmoistening	390
10 2 2 Drainage of parks and forest nurseries	392
10 3 Drainage of landslide areas	392
10 4 Drainage of areas for rest and play-grounds	393
10 5 Drainage of sporting-fields	394
11 THERMAL AMELIORATION	395
12 CULTURAL-TECHNICAL AMELIORATIVE MEASURES, BOTANICAL AND CULTURAL-TECHNICAL PRECONSTRUCTION SURVEYS	398
13 STAGES IN AMELIORATION PROJECTING, OBJECTIVES OF SOIL-MELIORATIVE GROUNDS OF PROJECTS	400
13 1 Steps in amelioration projecting	400
13 1 1 «The well-grounded investments» into constructing the objects of amelioration	400
13 1 2 «Project»	401
13 1 3 «Working project»	403
13 1 4 «Working documentation»	404
13 2 The content of soil-meliorative maps for substantiating the amelioration projects	404
13 3 Soil zonation for purposes of amelioration	405
14 ECOLOGICAL PROTECTION OF SOILS AND AGROLANDSCAPE UNDER AMELIORATION	408
SOILS AS AN OBJECT OF AMELIORATION AND THE SOIL SCIENCE AS A BASIS OF ITS THEORY AND PRACTICE (Conclusion)	419
<i>References</i>	428
<i>Index</i>	430
<i>Nominal index</i>	436

Zaidelman F.R. Reclamation of Soils Textbook — M
Moscow University Press, 2003 — 448 p., ill — (The Classic
University Textbook)

ISBN 5-211-04801-6

This textbook provides actual information on principles and technologies available for soil amelioration in different natural zones. Emphasis is given to interactions between management options with the soil mantle and to amelioration techniques, which should be applicable as adequate to natural conditions of landscape. Under consideration are new technologies in soil improvement, properties and regimes of saline, alkaline, stony, waterlogged and boggy soils as well as the soils of sodium, sulfide, gypsum and carbonate salinity. A set of required measures is proposed to protect the soils and landscapes against the degradation-induced changes. The problems mostly related to the soil rehabilitation are also included.

The publication is of interest for undergraduate and graduate students in soil science, environmental science, agricultural chemistry and agronomy.

Учебное издание

Зайдельман Феликс Рувимович

МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ

3-е издание,
дополненное и исправленное

Зав редакцисн

Г С Савельева

Редактор

Р А Бунатян

Художественный редактор

Г Д Колоскова

Художники

В А Чернецов, Н С Шувалова

Художественное оформление выполнено
Издательством Московского университета
и издательством «Проспект» по заказу
Московского университета

Технический редактор

Г Д Колоскова

Корректор

А В Яковлев

Компьютерная верстка

В А Согласнова

Подписано в печать 30 09 03

Формат 60×90/16

Бумага офс №1 Офсетная печать

Усл печ л 28,0 + 2 (вкл.) Уч.-изд л 26,12 + 1,76 (и

Тираж 3000 экз Заказ № 2099

Изд № 7681

Ордена «Знак Почета»

Издательство Московского университета

125009, Москва, ул. Б. Никитская, 5/7

Отпечатано в полном соответствии

с качеством предоставленных диапозитивов

в ОАО «Можайский полиграфический комбинат»

143200, г. Можайск, ул. Мира, 93