Р. ЭГГЕЛЬСМАНН

РУКОВОДСТВО ПО ДРЕНАЖУ

RUDOLF
EGGELSMANN

DRÄNANLEITUNG

FÜR LANDBAU,
INGENIEURBAU UND LANDSCHAFTSBAU

Zweite, neubearbeitete
und ergänzte Auflage

1981

VERLAG PAUL PAREY.
HAMBURG UND BERLIN

Р. ЭГГЕЛЬСМАНН

РУКОВОДСТВО ПО ДРЕНАЖУ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ

Перевод с немецкого
инженера-гидротехника
В. П. ГОРИНСКОГО

Под редакцией и с предисловием
доктора сельскохозяйственных наук,
профессора
Ф. Р. ЗАЙДЕЛЬМАНА

МОСКВА
«КОЛОС»
1984

ББК 40.63
Э17
УДК 631.62

Рекомендована к изданию Министерством мелиорации и водного хозяйства СССР

Эггельсманн Р.

Э 17 Руководство по дренажу/Пер. с нем. В. Н. Горинского; Под ред. и с предисл. Ф. Р. Зайдельмана. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Колос, 1984. — 247 с., ил.

Автор из ФРГ излагает систему рекомендаций по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации дренажа. Во втором издании, переработанном и дополненном (первое вышло в переводе на русский язык в 1978 г.), больше внимания уделено мелиорации заболоченных и болотных почв, имеющих важное значение для практики мелиоративного строительства в Нечерноземье.

Для мелиораторов, агрономов, луговодов.

Э $\frac{3802030200-253}{035(01)-84}$ 66—84

ББК 40.63
631.6

© Перевод на русский язык, «Колос», 1984
© 1981, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

В 1978 г. в издательстве «Колос» вышло в переводе на русский язык первое издание «Руководства по дренажу», написанного известным западногерманским мелиоратором профессором Р. Эггельсманном.

Учитывая высокий научный и особенно технический уровень этой книги, значительный интерес читателей, проявленный к первому изданию, издательство «Колос» подготовило новое (второе) издание «Руководства по дренажу», расширенное и переработанное автором.

Это издание, как и первое, представляет существенный интерес для советского читателя по следующим причинам.

Во-первых, в книге отражены проблемы, состояние и способы мелиорации почв в ФРГ — стране, где дренажное строительство всегда находилось и находится на достаточно высоком уровне.

Во-вторых, «Руководство по дренажу» конкретно в том смысле, что его рекомендации по мелиорации почв вытекают из анализа природных условий дренируемого массива и, прежде всего, из оценки свойств и водного режима почв — непосредственного объекта мелиорации. Значение такого подхода достаточно очевидно и понятно, хотя, к сожалению, пока еще не является общепризнанным.

В-третьих, в этой книге описаны новые способы мелиорации гидроморфных минеральных и торфяных почв гумидных ландшафтов, разработанные и апробированные в практике ФРГ за последние десятилетия.

Наконец, в «Руководстве по дренажу» наиболее полно рассмотрены вопросы мелиорации почв гумидных ландшафтов. В разделах, относящихся к этим территориям, чаще чем в других разделах книги, изложены новые рекомендации по осушению заболоченных и болотных почв. Это делает ее особенно актуальной для условий Нечерноземной зоны страны, в частности, для Нечерноземья РСФСР — одного из наиболее важных в настоящее время в мелиоративном отношении регионов нашей страны. Именно здесь в последние два десятилетия, особенно после того, как было принято Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по дальнейшему развитию сельского хозяйства Нечерноземной зоны РСФСР» от 20 марта 1974 г., интенсивно ведутся работы по дренажу и освоению заболоченных почв.

Книга охватывает широкий круг вопросов. В ней рассматриваются применение дренажа для осушения заболоченных и болотных почв; мелиорации засоленных почв в странах с сухостепным и аридным климатом; осушение заболоченных площадей, занятых гражданскими сооружениями — стадионами, аэродромами, дорогами, зданиями и др. Таким образом, в этой книге заинтересованный читатель сможет найти ответ практически на все основные вопросы, связанные с практикой осушения переувлажненных территорий.

Следует отметить и еще одну особенность этой книги, полу-

чившую наиболее полное развитие в ее втором издании. Автор уделил особое внимание вопросам охраны почв, окружающей среды и ландшафта в целом. Значение такого щадящего подхода особенно актуально в настоящее время, когда под влиянием мелиоративных мероприятий происходит глубокая трансформация гидрологического режима почв на огромных территориях, не только вовлеченных в сельскохозяйственное производство, но и далеко отстоящих от действующих дренажных систем. Второе издание «Руководства по дренажу» выгодно отличается более полным анализом экологической обстановки и построено на анализе конкретных почвенно-гидрологических условий массива осушения, прогнозированием возможных последствий применения дренажа. По-видимому, это одна из первых книг по дренажу, в которой вопросам охраны окружающей среды уделено столь серьезное внимание.

Важной особенностью этого практического руководства является и то, что оно, как подчеркивает автор, составлено на почвенно-мелиоративной и гидрологической основе. Оно направлено на то, чтобы научить практического работника в области дренажа спрашивать себя перед началом каждого мероприятия по осушению земель, почему земельный участок оказался переувлажненным, находится ли он в зоне влияния грунтовых, поверхностных или связанных вод, как лучше предотвратить эти отрицательные явления, влияющие на возможное использование участка? В «Руководстве по дренажу» обстоятельно рассмотрены наиболее актуальные проблемы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации дренажа, а также такие важные в мелиоративном отношении вопросы, как взаимодействие воды и почвы, полевые и лабораторные исследования для обоснования дренажа, гидрологические расчеты, способы и действие дренирования, виды дренажных материалов.

Одним из наиболее важных достоинств книги является то, что в ней изложены все наиболее актуальные способы мелиорации заболоченных почв, применяемые в современной практике дренажного строительства.

Большой интерес вызывают новые гидротехнические и агромелиоративные способы осушения заболоченных почв, рассмотренные в этой книге. Прежде всего отметим ориентацию на широкое применение пластмассового дренажа. Этот вид дренажа, для внедрения которого в свое время так много сделал известный немецкий почвовед и мелиоратор Янерт, в настоящее время во многих странах европейского континента получил широкое распространение.

В частности, в ФРГ на равнинных и холмистых территориях он составляет соответственно 95 и 90% от всего объема дренажного строительства; в Голландии используют только этот дренаж; в ГДР пластмассовый дренаж укладывают на 40—50% земель, осушаемых закрытым дренажем и т. д.

Автор уделяет большое внимание целесообразности использования объемных дренажных фильтров для пластмассовых дрен. Они выполняют три важные функции: усиливают приточность воды в дрены, защищают их от заиления механическими частицами и могут быть использованы для защиты дрен от закупорки гидроокисью железа. В настоящее время используют объемные дренажные фильтры из различных материалов — отходов текстильного производства, нетканых синтетических материалов, кокосового во-

локна, волокнистого торфа, ржаной соломы и др., в том числе и саморегенерирующие фильтры. Рассматривается вопрос по профилактике закупорки дренажа гидроокисью железа путем применения фильтров из стружки деревьев хвойных пород или путем искусственного заполнения объемных фильтров фенолом. Следует, однако, подчеркнуть, что этот прием, по-видимому, не получит широкого распространения из-за загрязнения дренажных вод фенолом. Более перспективным представляется ингибирование железобактерий, ответственных за перевод подвижных закисных форм железа в трехвалентные неподвижные оксиды, ионами меди. В качестве их донатора используют соединения этого элемента, вводимые в состав полимерной оплетки объемного фильтра.

В «Руководстве по дренажу» рассмотрены конструктивные особенности бестраншейного пластмассового дренажа в различных почвенно-гидрологических условиях. Практически такой пластмассовый дренаж (с применением траншейных фильтров), по мнению автора книги, может быть использован для осушения всех почв независимо от их механического состава. Лишь два фактора лимитируют его применение — высокое содержание железа в водах и высокая каменистость почв. Отметим в этой связи, что при оценке критических значений концентрации железа автор ввел во второе издание книги более широкие допуски, разрешающие строительство пластмассового дренажа при несколько более высоком содержании закисных форм этого элемента. При применении бестраншейного пластмассового дренажа на тяжелых почвах «Руководство» предусматривает создание комбинированных систем, то есть сочетание дренажа и кротования, глубокого мелиоративного рыхления, систем колодцев-поглотителей в зонах концентрации поверхностного стока. В этом случае предусматривают траншейные фильтры из стабильных материалов: гравия, шлака, щебня и др. Причем расход этих материалов на устройство траншейного фильтра в конечном итоге невелик, так как фильтр поднимается только до подошвы глубокого мелиоративного рыхления (то есть имеет высоту не более 40—50 см), а ширина щели от прохода рабочего органа современного бестраншейного дреноукладчика не превышает 7—8 см.

Автор справедливо рассматривает глубокое рыхление как один из важных факторов общего комплекса мероприятий, направленных на улучшение физических свойств почв. Глубокое рыхление, по Эггельсманну, должно сочетаться с интенсивным известкованием кислых почв большими дозами извести и последующим биологическим закреплением структуры. Следует обратить внимание на то, что глубокое рыхление и известкование кислых почв большими дозами извести (до 20—25 т/га) рассматривают как единое мероприятие.

По сравнению с первым изданием здесь полнее рассмотрены синтетические материалы, используемые для дренажных труб; вопросы устройства объемных фильтров на таких трубах; машины и технология строительства бестраншейного пластмассового дренажа; современные типы глубоких мелиоративных рыхлителей; приемы борьбы с заохриванием дренажных труб и многие другие вопросы.

Преимущество «Руководства по дренажу» Р. Эггельсманна по сравнению со многими аналогичными работами заключается еще и в том, что оно построено на анализе конкретных почвенно-гидрологи-

ческнх условий массива осушения. По существу автор использует генетический подход к оценке условий мелиорации почв. Говоря о генетическом (точнее — эколого-генетическом) подходе мы имеем в виду прежде всего обоснование комплекса необходимых мелиоративиых мероприятий на основе анализа свойств и режима почв.

Такой подход несомненно эффективен и целесообразен при мелиорации почв Нечерноземной зоны, на что ранее (1969) мы обращали особое внимание на примере ряда проблем дренажа этой территорин*. Отметим в этой связи, что выдающийся советский мелиоратор академик А. Н. Костяков (1951), опираясь на концепции докучаевского генетического почвоведения, подчеркивал, что взаимосвязь мелиораций и направления почвообразовательного процесса на мелиорируемых землях предопределяют применение генетических принципов при рассмотренин мелиоративных вопросов и процессов в их динамике.

Среди ряда конкретных рекомендаций книги есть одно общее правнло, которое автор повторяет в нескольких разделах книги и на которое следует обратить внимание. Он подчеркивает, что надежная работа дрен (гончарных, пластмассовых и др.) возможна при условии их укладки в относительно сухую почву. В этом случае при строительстве не нарушается структура почвы в зоне действия дрен, остаются открытыми и не нарушаются естественные пути миграции гравитационной влагн (трещины почвы, пустоты, образуемые корнями, ходы обитающих в почве животных). Последнее осуществляется обычно путем последовательного осушения массива торфяных и минеральных глеевых почв вначале открытой сетью и затем — материальным дренажем.

В целом второе издание «Руководства по дренажу» профессора Р. Эггельсманна — содержательное в практическом отношении пособие (особенно по мелиорации заболоченных почв гумидных территорий), в котором заинтересованный читатель найдет много новых, полезных и интересных сведений.

Ф. Р. ЗАЙДЕЛЬМАН

---

* Ф. Р. Зайдельман. «Об учете генезиса заболоченных почв при их мелиорации». «Гидротехника и мелиорация», 1969, № 2.

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ НЕМЕЦКОМУ ИЗДАНИЮ

Первое издание Руководства по дренажу получило положительные отклики не только в немецкоязычных государствах, но также и во многих странах мира, о чем свидетельствует большое число писем читателей.

Второе издание книги полностью переработано, текст частично сокращен, а там, где это требуется, дополнен в соответствии с последними достижениями науки и практики. Новыми являются экологические аспекты дренажа, а также вопросы, связанные с дренированием участков, предназначенных под свалки городского мусора, и площадей намыва при самотечном орошении сточными водами напуском, проблемы дренажа при внутренней канализации зданий, а также в случаях агротехники с подогревом почвы. Значительно дополнены главы о гидравлике фильтров, дренировании оползневых участков, осушении и дренировании болот, также расширены данные о материалах, применяемых при строительстве дренажа.

После выхода в свет первого издания Руководства по дренажу появились переводы книги на английском и русском языках. Кроме того, предполагаются дальнейшие издания переводов на других языках.

К первому изданию были выполнены переводы оглавления на английский и французский языки, а также переводы подрисуночных подписей и таблиц. Ко второму изданию книги в связи с ее переработкой переводы были выполнены заново: на французский язык — инженером И.—Л. Девиллерсом (Париж) и на испанский язык — инженером-агрономом Ф. Пена Ройо Сан Фернандо (Чили) Эти переводы могут быть затребованы особо в издательстве «Paul Parey» в Гамбурге (ФРГ).

Для облегчения пользования книгой во втором немецком издании имеется подробный предметный указатель. Кроме того, переработан и соответственно сокращен список литературы, опубликованный в первом издании книги. Для лучшего обзора литература дается по главам.

За поступившие в мой адрес предложения по внесению дополнений и изменений в текст Руководства по дренажу я приношу благодарность: доценту, д-ру М. Бахтияру (Эрзерум, Турция), ин-

женеру М. Бензеиу (Персеполис, Иран), проф., д-ру инженеру Х.-И. Коллнису (Брауншвейг, ФРГ), проф., д-ру Х. Форду (Флорида, США). проф., д-ру В. Мюллеру (Ганновер, ФРГ), проф., д-ру инженеру В. Кемерлингу (Вена, Австрия), проф., д-ру Х. Кунтце (Бремен, ФРГ), инженеру И. Лотцу (Самбатели, Венгрия), проф., д-ру Х. Окрушко (Варшава, Польша), д-ру М. Отова (Саппоро, Япония), д-ру Х. Шульте-Каррингу (Бад Нойенар, ФРГ), инженеру В. Шульцу (Нордхорн, ФРГ), проф., д-ру П. Видмозеру (Цюрнх, Швейцария), проф., д-ру Ф. Р. Зайдельману (Москва, СССР).

За предоставленный информационный и иллюстративный материал я благодарю многочисленные фирмы, учреждения, а также многих коллег — специалистов по дренажу. Особую благодарность приношу издательству «Paul Parey» в Гамбурге и Берлине и прежде всего г-ну Б. Георгн за его содействие в выполнении всех пожеланий автора при подготовке материалов и наборе текста второго издания Руководства по дренажу.

Бремен, февраль 1981 г.

Рудольф ЭГГЕЛЬСМАНН

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО КО ВТОРОМУ НЕМЕЦКОМУ ИЗДАНИЮ

Большую потребность в Руководстве по дренажу доказывает тот факт, что уже возникла необходимость во втором издании этой книги, которая получила большое распространение во всем мире. Специалисты-мелиораторы в 24 европейских и 14 других государствах пользуются Руководством по дренажу в своей практической работе. В 1976 г. Рабочая группа по международному сотрудничеству (AIZ) в Куратории по воде и мелиоративному строительству (KWK) — в настоящее время Германский союз водного хозяйства и мелиоративного строительства (DVWK) — опубликовала эту книгу на английском языке. В том же году вышло русское издание книги г-на Эггельсманна тиражом 10 тыс. экземпляров, которая быстро разошлась.

Устройство дренажа необходимо для обеспечения населения земного шара продовольствием, а также для создания условий нормальной работы разного рода гидротехнических сооружений. Предлагаемое руководство должно послужить тому, чтобы дренажные работы также в будущем проектировались и выполнялись с учетом вопросов экономики и экологии.

Бонн, февраль 1981 г.

Инженер Генрих ЦЕЛЬЗМАН,
начальник отдела «Развитие сельскохозяйственных территорий» Федерального министерства продовольствия, сельского и лесного хозяйства, вице-президент Германского союза водного хозяйства и мелиоративного строительства

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО К ПЕРВОМУ НЕМЕЦКОМУ ИЗДАНИЮ

В 1857 г., т. е. почти 120 лет назад, в Пруссии появилось первое руководство по дренажу под названием «Инструкции королевской Прусской генеральной комиссии по Силезии, предназначенные для землемеров и дренажных техников, занимающихся составлением проектов осушения и их выполнением». Эти инструкции получили распространение по всей Германии и почти целое столетие многократно переиздавались. Они служили специалистам по дренажу руководством, в котором можно было найти ответы на целый ряд вопросов, прежде всего относительно потребности в осушении земельных участков. Пользуясь инструкциями, специалисты проектировали и строили дренаж, эксплуатировали дренажные системы. В 1934 г. вышло шестое издание работы в виде стандарта (германские нормы DIN 1185) под названием «Руководство по проектированию дренажа». В 1950 г. упомянутое руководство было опубликовано без изменений в последний раз.

Быстрое развитие науки и практики во всех областях дренажа после второй мировой войны (здесь следует упомянуть о многих известных деятелях, способствовавших этому развитию, в частности о проф., д-ре инженере Биллибе и проф., д-ре инженере Байче, руководителях соответствующих комитетов по исследованиям и нормированию Куратория по мелиорации), новые данные в области почвоведения, режима грунтовых вод, механизации дренажных работ (здесь я вспоминаю о моем предшественнике на посту руководителя Комитета по дренажной гидравлике и дренажной технике проф., д-ре инженере Галльвице), а также изменившиеся требования сельского хозяйства к режиму воды в почве привели к разделению областей знаний и разработке новых стандартов. Так, наряду с новым стандартом ФРГ DIN 1185 «Дренирование (Регулирование режима почвенных вод трубчатым или кротовым дренажем и подпочвенными мелиорациями)» в настоящее время появляются стандарты на проведение почвенных исследований местообитаний с целью их классификации, а также стандарты на гончарные и пластмассовые дренажные трубы.

В известных специальных книгах (Шредер. «Сельскохозяйственная гидротехника», Уден. «Карманный справочник по сельскохозяйственной гидротехнике» и Пресс. «Карманный справочник по водному хозяйству») дренированию уделено небольшое внимание.

Я радуюсь тому, что Эггельсманну удалось в Руководстве по дренажу составить наглядный и удобный для пользования обзор данных, необходимых строителю дренажа в его практической работе. Таким образом, снова появилось руководство, охватывающее все темы дренажа.

Я желаю читателям этой книги полного успеха при проектировании, строительстве и эксплуатации дренажа.

Д-р инженер
Курт БЕЛЛИН

1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Дренаж — искусственное подземное водоотводное (трубчатое или беструбчатое) устройство для удаления избыточных количеств воды из почвы и с ее поверхности. На тяжелых почвах с застойной и связанной водой в соответствии с новыми данными почвоведения и культуртехники* вместо дренажа или чаще в виде дополнения к нему проводят подпочвенные мелиоративные мероприятия (глубокая вспашка, глубокое рыхление). Согласно стандартам ФРГ(DIN 1185 и DIN 4047), дренаж — это регулирование водного режима почв трубчатыми или беструбчатыми дренами и подпочвенными мелиорациями.

Слово дренаж английского происхождения. В английском и французском разговорном языках оно означает осушение, отвод воды, сток. В подобном смысле слово используется и в медицине.

В книге рассматривается дренаж сельскохозяйственных земель, а также земель, на которых проводится подземное, дорожное, ландшафтное или «зеленое» строительство (парки, сады, площадки для игр и проведения свободного времени, спортивные площадки и стадионы, кладбища и т. п.). Дренажные мероприятия на перечисленных объектах рассматриваются преимущественно в среднеевропейском аспекте. Дренаж засоленных почв в полузасушливой и засушливой зонах орошения излагается главным образом на основании зарубежного опыта.

Переувлажнение местообитания обусловливается климатическими или гидрогеологическими факторами. В аридных областях орошения переувлажнение возможно потому, что для защиты почв от засоления расходуется избыточное количество воды. Кроме того, переувлажнение может быть обусловлено свойствами почв, которые прочно удерживают воду. Поэтому сейчас еще более важно, чем раньше, четко устанавливать причины и последствия переувлажнения почв и лишь затем определять способ дренажа (рис. 1.1).

1.1. ИЗ ИСТОРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДРЕНАЖА

В развитии дренажа различают три периода.

Первые каменные и трубчатые дренажи, согласно историческим документам, использовались еще до нашей эры. Некоторые из них

---

* Здесь и далее автор использует этот термин в широком смысле, имея в виду комплекс мероприятий по приведению в культурное состояние заболоченных и болотных почв с помощью гидротехнических, агромелиоративных и агрономических мероприятий. В СССР под термином «культуртехника» обычно понимают мероприятия по улучшению территории: удаление кустарника, камней, кочек, корчевку древесных остатков, ликвидацию очеса на торфяных почвах, подъем целины, фрезерование и др. — **Прим. ред.**

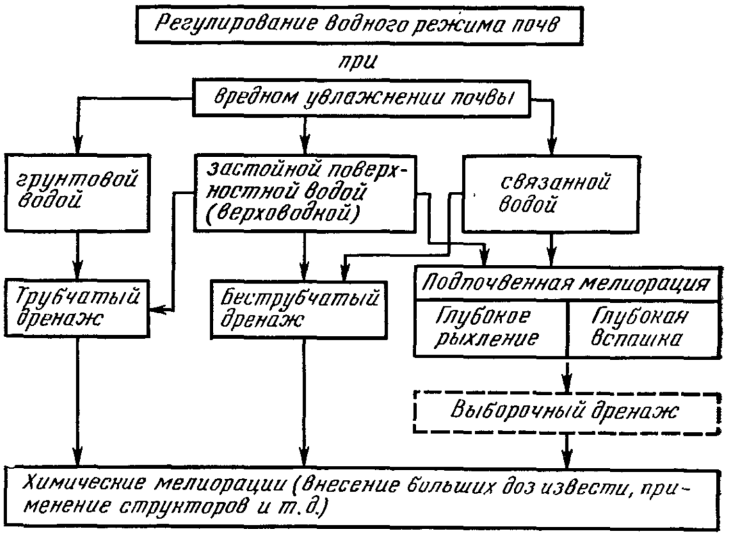


Рис. 1.1. Современные способы дренажа в зависимости от причин заболачивания почв.

обнаружены при раскопках. В средние века о дренаже забыли, и только начиная с 1650 г. стали появляться дренажные системы из дерева, фашин, камня (гравия) в Англии. Позднее в Шотландии, а затем в Германии начали применять дрены из фасонной черепицы, использовавшейся для коньков крыш, которую следует рассматривать предшественником гончарных дренажных труб. Изобретение пресса для изготовления гончарных дренажных труб в 1840 г. в Англии способствовало быстрому распространению дренажа по всей Европе [1.4].

В течение последующего более чем столетнего периода изготовленные машинным способом дренажные трубы из обожженной глины укладывали в траншеи вручную. Параметры дренажа определяли эмпирически, т. е. на основании полевых агромелиоративных опытов и почвенных исследований.

Сначала проблемой дренажа занимался Германский комитет по мелиоративному строительству. Затем эту функцию выполнял Кураторий по воде и мелиоративному строительству, и наконец, с 1978 г. вопросами дренажа занимается Германский союз водного хозяйства и мелиоративного строительства. Об этом говорят его годовые отчеты (с 1952 г.) и статьи в журналах «Der Kulturtechniker» (1897—1944), «Wasser und Boden» (с 1949 г.), «Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung» (с 1960 г.), «Dränanweisung» [1.1, 1.6].

С 1940 г. в Нидерландах и США на основании немецких и швейцарских исследований получила развитие физико-математическая теория осушения почв. Постепенно в области дренажа все

более распространилась гидравлическая теория движения влаги [1.11, 1.12].

Начиная с 1950 г. трубчатый дренаж все чаще устраивали с помощью специальных траншейных дреноукладочных машин, что объяснялось сначала растущими расходами на оплату труда, а затем нехваткой рабочих рук. В 1960 г. на рынке появились первые пластмассовые дренажные трубы. Первоначально это были гладкие трубы из поливинилхлорида с прорезями. В 1962 г. гладкие трубы начали заменять трубами из поливинилхлорида с гофрированными стенками и продавленными отверстиями для поступления воды [1.3]. Непрерывная механизация дренажных работ, а также применение разнообразных материалов обусловили сокращение затрат, но вместе с тем появились затруднения при укладке дренажа в мокрых грунтах. Более того, в отдельных местах, несмотря на безупречно выполненный дренаж, площади оставались избыточно увлажненными.

В связи с недостатком специалистов и новыми сведениями в области механики грунтов в последнее время расширилось применение бестраншейных дренажных механизмов. При этом важно обеспечивать правильное заглубление рабочего органа, иначе нарушается проектный уклон дрены. Успех данного рационального способа дренирования достигается лишь при наличии квалифицированного персонала.

Почвы, содержащие связанную влагу, уплотненные и характеризующиеся плохой водопроницаемостью, наряду или одновременно с осушением нуждаются в улучшении структуры. Последнее достигается при помощи механических мероприятий (кротовый дренаж, глубокое рыхление или глубокая вспашка), проводимых одновременно с химическими (известкование, внесение удобрений) и биологическими мероприятиями (выращивание растений с глубокой корневой системой).

В настоящее время мелиоративная техника и механизация работ по строительству дренажа приближаются к оптимуму по эффективности и затратам.

1.2. ПОТРЕБНОСТЬ В ДРЕНАЖЕ

Потребность в дренаже определяется многообразным влиянием избыточной влаги. В среднеевропейских условиях это влияние особенно заметно в конце зимы. Переувлажнение может быть вызвано разными причинами. Решающую роль при этом играют местоположение, климат, погода, потребность растений во влаге, глубина залегания грунтовых вод, строение почвенного профиля, его водопроницаемость. На основании перечисленных факторов определяют пригодность почвы к осушению, а также разрабатывают наиболее эффективные способы дренажа. Если оценка пригодности почвы к осушению является чисто почвенной проблемой, то оценка эффективности дренажа представляет собой проблему производственную, а в широком смысле народнохозяйственную и аграрно-политическую. Оценка эффективности дренажа зависит от затрат на его устройство и прибыли, получаемой в результате эксплуатации дренажа.

При проектировании дренажа сельскохозяйственных земель важно и необходимо тесное сотрудничество агронома, почвоведа-мелиоратора и специалиста водного хозяйства.

1.3. ОБЪЕМ ДРЕНАЖА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Почти во всех странах земного шара проводятся мелиоративные работы с целью поддержания, а также повышения плодородия почвы. В районах влажного климата это достигается прежде всего путем осушения открытыми каналами или закрытым дренажем. Нуждающиеся в осушении площади в разных европейских странах приведены в таблице 1.1. Потребность в осушении снижается с запада на восток и с севера на юг.

Таблица 1.1. **Нуждающиеся в осушении и дренаже площади в странах Европы** [1.7]

Страна	Площадь	
	млн. га	% полезной сельскохозяйственной площади
Великобритания (только Англия и Уэльс)	3,4	75
Финляндия	2,1	67
Дания	1,4	45
ГДР	2,4	38
ФРГ	4,4	31
Швеция	1,0	23
Австрия	0,5	21
Нидерланды	0,7	17
Швейцария	0,2	9

1.3.1. Федеративная Республика Германии

Площади нуждающихся в осушении и дренаже почв ФРГ приведены в таблице 1.2. Они составляют 4,4 млн. га, т. е. около 31% полезной сельскохозяйственной площади страны. В избыточно увлажненной северо-западной части ФРГ нуждающиеся в осушении и дренаже почвы составляют почти 60% полезной сельскохозяйственной площади, что соответствует площади под сенокосами и пастбищами. Более $^2/_3$, или около 2,6 млн. га, полезной сельскохозяйственной площади нуждается в дренаже.

Ежегодные расходы на устройство дренажа регулярно публикуются Федеральным министерством продовольствия, сельского и лесного хозяйства [1.9].

С 1955 г. в дренаж было вложено более 2,5 млрд. марок ФРГ, которые были израсходованы на мелиорацию около 1,4 млн. га сельскохозяйственных земель. После 1971 г. площадь дренажа, выполняемого мелиоративными союзами, значительно сократилась. В то же время значительно возросла доля частных дренажных систем.

С 1971 г. в ФРГ в среднем затрачивалось 100 млн. марок ФРГ ежегодно на дренирование около 65 тыс. га земель, что составляло примерно 1500 марок ФРГ на 1 га.

Таблица 1.2. **Площадь почв ФРГ, нуждающихся в мелиорации** [1.7]

Почвы	Площадь	
	млн. га	% полезной сельскохозяйственной площади
Заболоченные поверхностными застойными водами (псевдоглей* и др.)	1,4	9,9
Заболоченные грунтовыми водами (глей**, маршевые*[3] и пойменные почвы)	2,2	15,5
Болотные	0,8	5,6
Всего	4,4	31,0

* Псевдоглей — собирательный термин западноевропейского почвоведения для обозначения тяжелых почв, испытывающих продолжительное поверхностное избыточное увлажнение. Для псевдоглея характерны застой верховодки в поверхностных горизонтах профиля и оглеение, тяжелый гранулометрический состав всех горизонтов профиля или слоев ниже 30—40 см от поверхности, резкая дифференциация профиля на две зоны. Верхняя зона обычно осветленная (серая, белесоватая), обогащенная ортштейнами, и относительно водопроницаема. Нижняя зона плотная, водоупорная, с мраморовидной окраской. По генетическим свойствам и особенностям водного режима псевдоглей тождествен дерново-подзолистым оглеенным (подзолистым оглеенным) почвам европейской части СССР. — **Прим. ред.**

** Глей, глеевые почвы. В западноевропейском почвоведении под этими терминами понимают интенсивно оглеенные почвы преимущественно легкого гранулометрического состава, формирующиеся в условиях длительного (постоянного) заболачивания грунтовыми водами. — **Прим. ред.**

*[3] Маршевые почвы — почвы низких морских побережий, а также дельт, формирующиеся в условиях периодического затопления приливными и нагонными морскими водами под преимущественно солеустойчивой растительностью. Маршевые почвы обычно засолены и оглеены, реакция от кислой до слабощелочной, засоление преимущественно сульфатно-хлоридное, иногда на поверхности солевые выцветы. — **Прим. ред.**

Сравнение площади земель, требующих мелиорации, с площадями, подвергнутыми мелиорации с 1955 г., показывает, что на территории ФРГ еще нуждаются в мелиорации около 1,2 млн. га сельскохозяйственных земель. Для производства мелиоративных работ на этой площади потребуется около 20—25 лет, если объем выполняемого дренажа останется постоянным на весь этот срок. Принимая длительность службы дренажа 25 лет, современные затраты на дренаж должны быть увеличены наполовину для учета затрат на восстановление. При этом остается открытым вопрос, как будущие требования к рациональному землепользованию, с одной стороны, и выключению из севооборота полезных сельскохозяйственных площадей, с другой стороны, изменят подход к решению вышеизложенных задач. Осушение и дренаж в сельском хозяйстве рассматриваются и будут рассматриваться не только как факторы, повышающие урожай, но и как способы мелиорации, разрешающие на многих почвах применять механизацию различных видов работ по землепользованию.

1.3.2. Засоленные почвы

Примерно $^1/_4$ земель нашей планеты находится в районах аридного климата, где при орошении могут накапливаться соли в почве.

В таблице 1.3 дан обзор распределения засоленных земель по странам [1.8], причем количественные показатели отсутствуют.

Таблица 1.3. **Наличие засоленных почв** [1.8]

Континент	Страна (область)
Европа	Венгрия, Румыния, СССР, средиземноморские страны
Азия	Турция, Израиль, СССР, арабские страны, Индия, Пакистан, Иран, Китай
Африка	Средиземноморские страны, Западная и Юго-Западная Африка, Сомали, Эфиопия, Южная Африка
Америка	США (западнее 100-го меридиана), Мексика, Западная Аргентина, тихоокеанские страны
Австралия	Южные и восточные области

Во многих странах из-за вторичного засоления 40—60% орошаемой площади стали непригодны для сельскохозяйственного использования. Перед составлением любого проекта орошения для аридных областей следует тщательно изучить условия дренажа, без которого возможно быстрое засоление почвы и превращение территорий в пустыню (см. разд. 2.3.4, 3.8 и 7.3.5).

1.4. ДРЕНАЖ В ИНЖЕНЕРНОМ И ЛАНДШАФТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В районах влажного климата дренаж играет важную роль в строительстве надземных и подземных сооружений, дорог, при создании культурных ландшафтов, а также парков, площадок для игр, спортивных площадок, стадионов и т. д.

Статистических данных о хозяйственной площади ФРГ, нуждающейся в дренаже, нет. В соответствии с почвенными условиями, изложенными в разделе 1.3, около 0,5 млн. га земель нуждаются в дренаже. В будущем это число может даже возрасти. При условии, что нуждающаяся в дренаже хозяйственная площадь должна быть осушена в течение 25 лет, ежегодная площадь дренирования составляет 20 тыс. га. Затраты на производство дренажных работ на 1 га колеблются в пределах 3—5 тыс. марок ФРГ, или в среднем равны 4 тыс. марок. Отсюда ежегодные затраты на дренаж в инженерном и ландшафтном строительстве составляют около 80 млн. марок ФРГ.

1.5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДРЕНАЖА

В результате разносторонней деятельности человека окружающий нас ландшафт претерпел значительные изменения. В настоящее время мы живем в окружении культурного ландшафта, который хотя

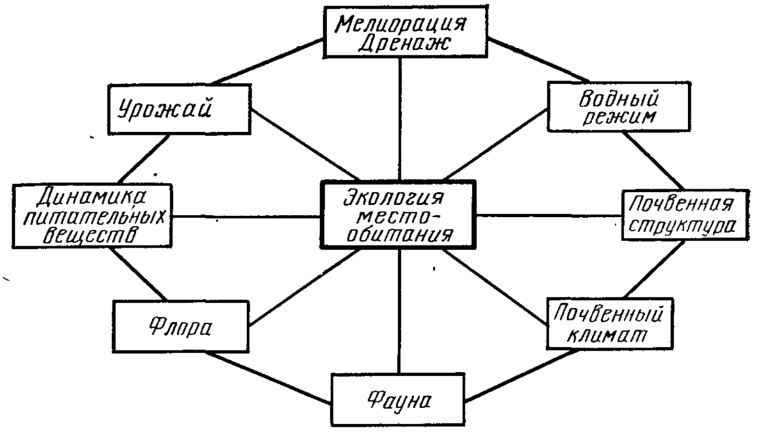


Рис. 1.2. Круг проблем экологии местообитаиия.

и не является первобытным, но все же остается природным. Окружающий нас ландшафт был постепенно создан человеком в течение столетий. Призыв «назад к природе» на столь густонаселенной и промышленной территории, как Федеративная Республика Германии, может быть осуществлен лишь только в исключительных случаях. Осушительные мероприятия на этой территории также должны проверяться на возможное их воздействие на экологическую среду (рис. 1.2).

Осушение земель служит не только сельскому хозяйству, как это часто утверждается, но оно осуществляет защиту гражданских и промышленных сооружений, населенных пунктов, строительных площадок, рекреационных, спортивных и транспортных сооружений.

Таким образом, при помощи осушения земель создается жизненное пространство, необходимое для существования человека. После 1970 г. проблемы охраны природы и ландшафта были включены в новые федеральные и земельные законы ФРГ. Этими законами, в частности, запрещается производить осушение влажных биотипов, являющихся средой обитания и источниками сохранения и распространения биоценоза. К таким биотипам относятся: окультуренные болота, озера, малые водотоки и водоемы, леса на болотах и в поймах рек. На участках ландшафта грунтового питания, а также на участках естественного ландшафта и ландшафта, приближающегося к естественному, мероприятия по охране природы должны выполняться в первую очередь. Если мероприятия по сооружению дренажных систем выполняются вблизи участков подобных ландшафтов, то необходимо предусматривать устройство гидрологических охранных зон (гл. 7.1), для болот см. раздел 7.3.1.

На дренируемой территории могут рассматриваться следующие почвенные и гидрографические аспекты экологии (см. рис. 1.2):

— усиленное проникновение корней улучшает почвенную структуру;

— в воздухопроницаемых почвах усиливаются процессы окисления и подавляются процессы восстановления;

— питательные вещества в глубоких слоях почвы становятся доступными для растений;

— усадка и набухание почвы повышают ее водопроницаемость;

— при незначительных площадях поверхностного стока опасность эрозии уменьшается;

— модуль стока гидрографической сети выравнивается, так как дренированная почва приобретает свойства аккумулирующей емкости, сокращая при этом поверхностный сток;

— на ранее бессточной местности сток на отдельных участках может быть ускорен и увеличен;

— вследствие интенсивного землепользования после дренирования возникает опасность вымывания питательных веществ из почвы (евтрофирование гидрографической сети);

— низкие уровни грунтовых вод создают дополнительные емкости для аккумулирования осадков в нижних слоях почвы, увеличивая одновременно полезную влажность почвы;

— высокая эвапотранспирация может сократить объем дренажного стока.

Правильно выполненный трубчатый дренаж устраняет вредную почвенную влагу при одновременном образовании ряда положительных и отрицательных факторов по сравнению с первоначальным состоянием (табл. 1.4).

Таблица 1.4. Преимущества и недостатки трубчатого дренажа

Преимущества	Недостатки
Равномерное высыхание площади	Высокие капиталовложения
Углубление корнеобитаемой зоны	Значительный уклон дрен
	Подверженность просадкам
Повышение проходимости для транспорта, скота и пешеходов	Охрообразование, заиление и зарастание дрен корнями
Равномерный рост растений	Нарушения стока трудноопределимы и трудноустранимы
Повышение и стабилизация урожаев	Внесение изменений требует больших затрат
Уменьшение опасности эрозии	
Небольшие эксплуатационные расходы	
Продолжительное действие	

Литература

[1.1] Anweisung für die Planung, Ausführung und Unterhaltung von Dränanlagen. 6. Aufl. Herausg. Reichsministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Berlin: Julius Springer 1941.

[1.2] Baitsch, B.: Gesichtspunkte der Neugestaltung von DIN 1185. DIN-Mitt. 49, (Heft 8), S. 303—305, Berlin 1970.

[1.3] Bellin, K.: Zehn Jahre Dränrohre aus Kunststoff. Wasser und Boden, 24. S. 333—336, Hamburg 1972.

[1.4] Bohn, R.: Das Dränrohr in seiner Entwicklung und Verschiedenheit der Form und des Werkstoffes. Mitt. Reichsverband Dt. Wasserwirtschaft, Heft 49, Berlin 1939.
[1.5] DIN 1185: Dränung — Regelung des Bodenwasserhaushaltes durch Rohrdränung, Rohrlose-Dränung und Unterbodenmelioration. Blatt 1—5. Beuth-Vertrieb GmbH Berlin-Köln 1973.
[1.6] Dränanweisung. 8. Aufl. (DIN 1185). Beuth-Vertrieb GmbH Berlin-Köln 1959.
[1.7] Eggelsmann, R.: Umfang und bodenbedingter Bedarf der Landeskultur-Maßnahmen in der Bundesrepublik Deutschland. Zeitschr. f. Kulturtechnik u. Flurbereing. **12**, S. 153—162, Berlin 1971.
[1.8] Ganssen, R.; Hädrich, F.: Atlas zur Bodenkunde. Bibliograph. Institut Mannheim 1965.
[1.9] Jahresbericht der Wasserwirtschaft für die Bundesrepublik Deutschland in: Wasser und Boden seit 1955.
[1.10] Schilfgaarde, J. van (Ed.): Drainage for Agriculture. American Society of Agronomy, Inc. Publ. Madison, Wisconsin/USA 1974.
[1.11] Staveren, J. M. van (Editor): Drainage Principles and Applications. Vol. I—IV. Intern. Inst. for Land Reclamation and Improvement. Publ. 16. Wageningen 1972/74.

2. ВОДА И ПОЧВА

Дренаж должен обеспечивать благоприятный водный режим почвы в течение длительного времени. Практикам, занимающимся строительством дренажа, важно знать взаимосвязь между водой и почвой, которая кратко излагается в последующих разделах.

2.1. КРУГОВОРОТ ВОДЫ

Круговорот воды в природе сбалансирован во времени — вся вода естественных атмосферных осадков возвращается в атмосферу в виде испарений с суши и морей. Для каждого местообитания можно составить формулу водного баланса, выражающую связь между осадками (N), испарением (V) и стоком (A), позволяющую судить о потребности почвы в осушении или орошении. При $N>V$ (влажный климат) требуется осушение, а при $N<V$ (засушливый климат) необходимо орошение.

В общей формуле водного баланса $N-V=A$ (осадки минус испарение равно стоку) все показатели выражают в миллиметрах водяного столба. Среднее количество выпадающих осадков общеизвестно или для отдельных пунктов может быть сообщено службой погоды ФРГ. Среднее же испарение (плюс транспирация) зависит от произрастающей растительности, свойств почв, характера землепользования, крутизны склона, его ориентировки по странам света (экспозиции) и т. д. В меньшей степени колебаниям подвержено потенциальное (возможное) испарение, так как оно в значительной степени зависит от метеорологических условий и может быть вычислено на основании среднего суточного дефицита влажности воздуха и эмпирических факторов [2.7].

Среднегодовой минимальный потенциальный слой испарения [2.4] (испаряемость)* на побережье и в горной местности Германии (1891—1930 гг.) равен 350 мм. В большинстве областей ФРГ и ГДР он колеблется в пределах 400—500 мм и возрастает лишь в центральных областях, а также в юго-западных и юго-восточных областях до 550 мм и более (рис. 2.1).

Диапазон колебаний испарения значительно уже, чем диапазон осадков и стока, как это следует из показателей водного баланса четырех речных бассейнов — Шпрее, Верхнего Эмса, Неккара и Изара (табл. 2.1). Из данных таблицы 2.1 можно заключить, что атмосферные осадки оказывают преобладающее влияние на величину стока и позволяют судить о потребности в осушении или дренаже конкретного местообитания. Вместе с тем на Среднем Рейне (у Кобленца), в Пфальце, Гессене, Франконии и других районах

---

* Испаряемость — количество влаги, которое испаряется с открытой водной поверхности. — **Прим. ред.**

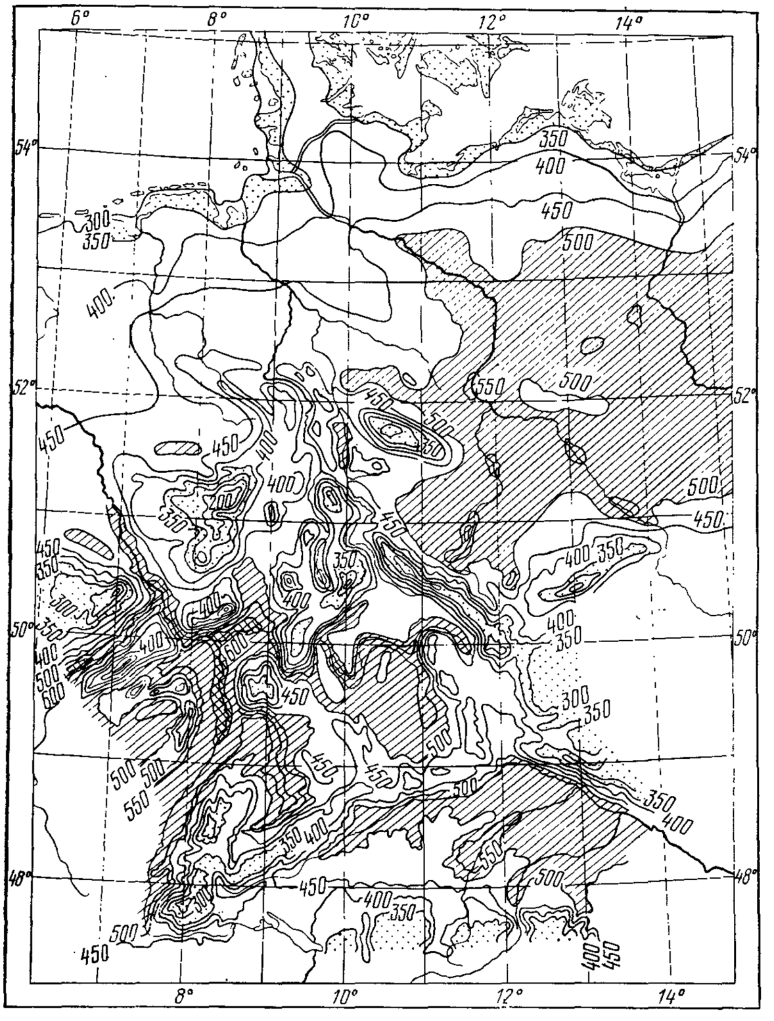


Рис. 2.1. Среднегодовое потенциальное испарение в ФРГ и ГДР [2.4].

ФРГ имеются относительно засушливые зоны со среднегодовым количеством осадков 550 мм и менее. Для расчета водного баланса для упомянутых или аналогичных зон следует использовать формулу $N—V=A$, а также карту (см. рис. 2.1).

Наряду со среднегодовыми параметрами водного баланса местообитания очень важно учитывать их колебания в течение года.

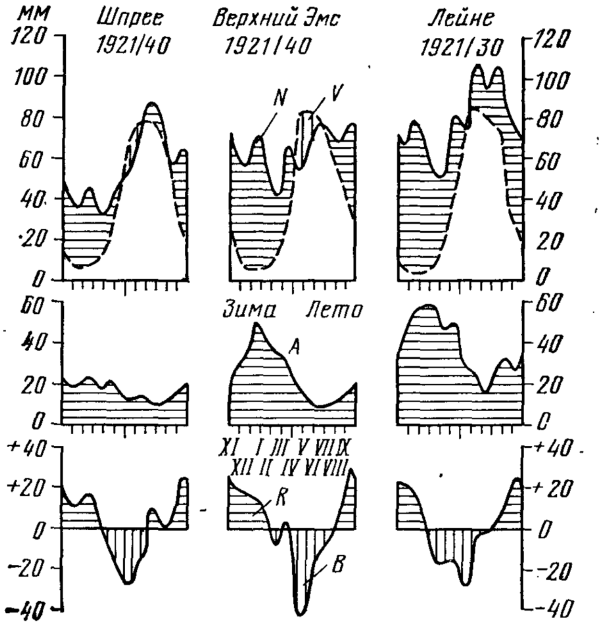


Рис. 2.2. Среднегодовые колебания водного баланса рек Шпрее, Верхний Эмс и Лейне (Вюртемберг) [2.1].

Поэтому уравнение водного баланса дополняют двумя членами: R (поступление влаги в почву) и B (расход влаги), которые характеризуют изменение запасов влаги в почве. Полученное уравнение имеет вид: $N=A+V+(R-B)$, где N выражается в миллиметрах водяного столба.

Таблица 2.1. **Водный баланс бассейнов немецких рек, мм**

Река	Осадки N	Испарение V	Сток A
Шпрее	645	455	190
Верхний Эмс	730	455	275
Неккар	845	545	300
Изар	1070	490	580

Среднемесячные значения водного баланса для трех водосборных бассейнов отражают влияние атмосферных осадков и испарения в течение года на сток и запасы влаги в почве (рис. 2.2). При незначительном испарении зимой осадки питают сток, повышая од-

новременно содержание влаги в почве и уровень грунтовых вод. Наоборот, в весенне-летний период испарение возрастает и соответственно уменьшаются сток и запасы влаги в почве. Количество осадков и сток увеличиваются по направлению с востока на запад (см. табл. 2.1), однако в зависимости от типа почвы и структуры влияние осадков и стока проявляется по-разному.

2.2. ВОДА В ПОЧВЕ

Выпадающие атмосферные осадки удаляются с поверхности почвы путем стока, испарения или же просачиваются в почву (рис. 2.3). Просочившаяся вода в количестве, соответствующем полевой влагоемкости*, удерживается в почве, а влага сверх полевой влагоемкости поступает в грунтовые воды. Если просочившаяся вода застаивается на плохо проницаемых слоях, расположенных над зеркалом грунтовых вод, то образуется верховодка** (определение форм воды дано по стандартам ФРГ DIN 4047 и DIN 4049).

Грунтовая вода (I), поверхностная застойная влага, или верховодка (II), могут быть обнаружены на плоской местности или склоне; иногда грунтовая вода выходит на поверхность в виде источника (*Q*) (рис. 2.4). Под слоем, например, суглинка (*d*) грунтовые воды могут находиться в напорном состоянии. Гидростатическое давление нередко прослеживается до самой низкой точки долины (левая часть рисунка 2.4), где иногда или постоянно выхо-

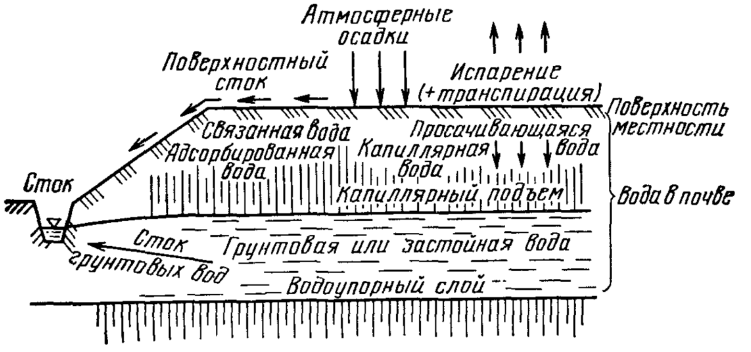


Рис. 2.3. Вода в почве.

---

* Полевая влагоемкость, или точнее предельная полевая влагоемкость (ППВ), — наибольшее количество влаги, которое почва в естественном сложении может удерживать в неподвижном или практически неподвижном состоянии после полного обводнения и свободного стекания всей гравитационной влаги при отсутствии поверхностного испарения и глубоком залегании грунтовых вод. — **Прим. ред.**

** Наиболее часто верховодка возникает на водоупорных горизонтах с $K_ф \leqslant 0{,}05$ м/сут. — **Прим. ред.**

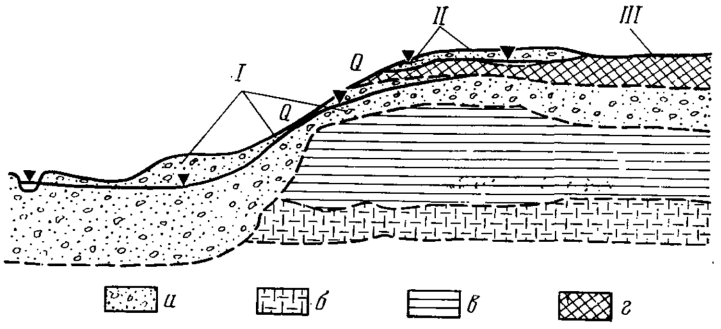


Рис. 2.4. Грунтовая (I), застойная поверхностная (II) и связанная (III) вода:

а — песок, гравий; *б* — трещиноватые породы; *в* — глинистый сланец (шифер); *г* — суглинок; *Q* — родник.

дят напорные (артезианские) воды или наблюдается переувлажнение почвы.

Застойная поверхностная вода, или верховодка (II), — свободная подвижная вода, накапливающаяся над водоупорным слоем. Она отличается от грунтовой воды тем, что ее количество зависит от атмосферных осадков.

Верховодка наблюдается короткий промежуток времени, при интенсивных атмосферных осадках она может выходить на поверхность почвы.

Связанная вода (III) находится в суглинистом или глинистом слое (*d*) и является в основном адсорбированной и частично капиллярной водой.

Согласно новым почвенно-мелиоративным данным, способ дренирования следует выбирать в зависимости от причин, вызывающих избыточное увлажнение почвы (грунтовая, застойная поверхностная или связанная вода (см. рис. 24).

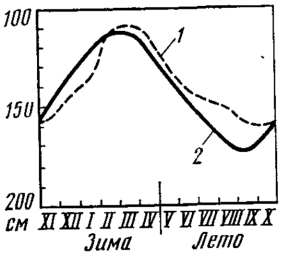


Рис. 2.5. Годовые колебания уровня грунтовых вод:

1 — Эрлау (Мюнхен); *2* — Фурберг (Ганновер).

При дренаже важную роль играет грунтовая вода верхних геологических слоев, уровень которой колеблется в зависимости от времени года, а также от погодных условий. Весной и летом уровень понижается в связи с испарением, а осенью и зимой повышается за счет атмосферных осадков.

Для северной (Фурберг у Ганновера) и южной (Эрлау у Мюнхена) местностей ФРГ на основании тридцатилетних среднемесячных наблюдений в трехкратной повторности составлены графики колебаний среднегодовых уровней грунтовых вод в зависимости от климатических условий (рис. 2.5).

2.3. РАЗНОВИДНОСТИ И ТИПЫ ПОЧВ

Почвой называется верхний, подвергшийся выветриванию слой рыхлых отложений мощностью 1—2 м, населенный живыми организмами и пронизанный корнями*. По данным старых литературных источников, почва подразделяется на верхний пахотный слой (Krume), залегающий под ним, пронизанный корнями слой (Unterboden) и едва затронутый выветриванием слой материнской породы (Untergrund).

Почва состоит из минерального и органического материала, пустот, которые заполняются водой или воздухом в разном соотношении. Различают прежде всего две главные группы почв — минеральные и болотные. Выбор приемов дренажа зависит от характера почвенного покрова. Ниже рассматриваются важнейшие в мелиоративном отношении группы почв.

2.3.1. Минеральные почвы

Минеральные почвы образуются в процессе физического и химического выветривания различных твердых и рыхлых коренных пород. В почвенном профиле нетрудно обнаружить результаты как выветривания пород, так и транспортировки мелких и мельчайших почвенных частиц. Перенос и закрепление почвенных частиц обусловливаются механическими и химическими процессами.

По характеру возникновения различают почвы, образовавшиеся в результате выветривания и в результате отложения наносов (седиментации). В районах умеренного климата тип почвы определяется прежде всего минеральным составом материнской породы.

Из климатических факторов важнейшую роль играют осадки и температура. Существенное значение имеют доминирующие растительные сообщества (лиственные и хвойные леса, степная или болотная растительность и т. д.).

Минеральные почвы классифицируют по гранулометрическому составу согласно стандарту ФРГ DIN 1962, лист 2 (рис. 2.6). Камни и гравий образуют так называемый скелет почвы (частицы более 2 мм). Важную роль играет форма зерен (круглая, угловатая, с острыми краями и т. п.). К мелкозему (частицы менее 2 мм) относят песок, пыль и глину.

На рисунке 2.6 приведены графические способы определения для отдельных разновидностей почв, а также сравнительные обозначения с подразделением по логарифмической шкале [3.16].

Гранулометрический состав минеральных почв имеет большое практическое значение, так как от него зависят выбор способа дренирования, ожидаемая эффективность дренажа, оптимальное расстояние между дренами, возможное заиление дрен и т. д.

---

* В советском почвоведении принято следующее более строгое определение. Почва — самостоятельное естественноисторическое органо-минеральное тело природы, возникшее в результате воздействия живых и мертвых организмов и природных вод на поверхностные горизонты горных пород в различных условиях климата и рельефа (Толковый словарь по почвоведению. М., «Наука», 1975). — **Прим. ред.**

Разновидности почв различаются по количеству фракций мелкозема (глина, пыль, песок). Так, по гранулометрическому составу различают песчаные, пылеватые и глинистые почвы. Промежуточное положение занимают суглинистые почвы.

Из исходного геологического материала под влиянием факторов окружающей среды формируются почвы разных типов (рис. 2.7). В то время как разновидность почвы определяется гранулометрическим составом, тип почвы обусловливается ее развитием, или генезисом. При определении типа почвы надо учитывать строение всего почвенного профиля.

В процессе эволюции почва претерпевает различные изменения. В определенный период она достигает наивысшего развития (как местообитание для растений), а затем постепенно стареет, однако этот процесс очень длительный.

По мере почвообразования возникают разные горизонты. Каждый тип почвы характеризуется наличием или отсутствием определенных почвенных горизонтов и диагностируется по единым правилам почвенной систематики. Типы почв могут быть установлены и классифицированы почвоведом. Здесь же речь о типах почв идет лишь для того, чтобы лица, ведущие дренажные работы, могли, например, читать почвенную карту и т. п.

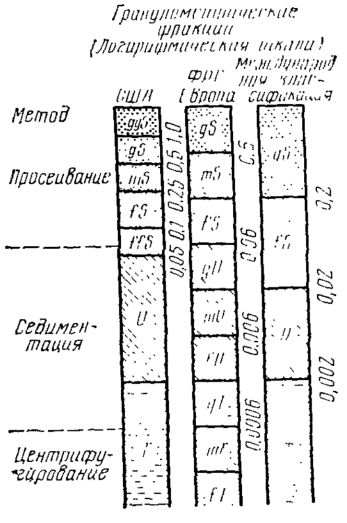


Рис. 2.6.

Различают горизонты и слои почвенного профиля. Горизонты формируются в процессе почвообразования, слои — в ходе геологических процессов (например, суглинок выпадает на поверхность почвы при весеннем паводке). Горизонты обычно обозначают про-

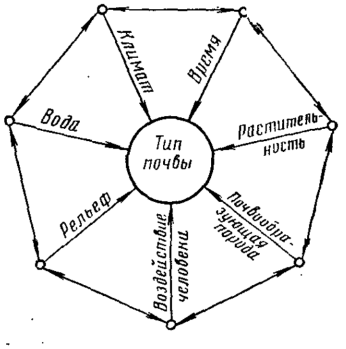


Рис. 2.7.

Рис. 2.6. Подразделение минеральных почв по гранулометрическим фракциям (логарифмическая шкала):

ggS—gS — песок крупный; *mS* — песок средний; *fS*, *ffS* — песок мелкий; *U* — пыль; *gU* — пыль крупная; *mU* — пыль средняя; *fU* — пыль мелкая; *T* — глина; *gT* — глина крупная; *mT* — глина средняя; *fT* — глина мелкая.

Рис. 2.7. Схема факторов, определяющих развитие почвенного профиля.

Таблица 2.2. **Важнейшие почвенные горизонты, их символы и отличительные черты**

Символ	Объяснение	Цвет и другие отличительные черты
A	Верхний гумусный горизонт почвенного профиля	Темный, рыхлый
E	Элювиальный* горизонт (выщелоченный, обедненный глиной, железом и т. д.)	Отбеленный, серый
B	Горизонт, обогащенный глиной, железом, гумусом в результате их перемещения	Серо- или красно-бурый, темный, уплотненный
C	Исходная материнская порода, из которой образовалась почва	Зависят от породы
D	Подстилающая порода, находящаяся ниже горизонта *C*. Не может быть отнесена к почве	То же
G	Горизонт, находящийся под влиянием грунтовых вод	
G_0	Глей окисленный (область колебания грунтовых вод, влияния кислорода)	Преимущественно ржавый
G_r	Глей восстановленный (постоянно субаквальный горизонт с недостатком кислорода)	Серый, зеленый, синий
S	Горизонт, находящийся под влиянием застойных поверхностных вод (верховодки)	
S_w	Водоносный слой верховодки	Преимущественно серый
S_d	Водоупорный слой верховодки (*d*-плотный)	Ржавый, с мраморовидным рисунком
P	Глинистый высокопластичный горизонт (пелосоль, по гречески пелос — глина)	Влажный — набухший, плотный; сухой — трещиноватый
K	Уплотненный водонепроницаемый слой подпочвы, образовавшийся при удалении из нее извести (в области маршей)	Темно-серый, плотный
M	Коллювиальный горизонт (материал, перемещенный в процессе эрозии)	Зависят от исходного материала
Z	Соленосный горизонт	Светлый или белый, покрытый коркой

Продолжение

Символ	Объяснение	Цвет и другие отличительные черты
R	Горизонт, возникший в результате проведения мелиоративных мероприятий	Зависят от материала проведенной работы
T	Торф	В зависимости от степени разложения и окисления от светло-коричневого до черного

* Элювиальный горизонт — почвенный горизонт, из которого в процессе почвообразования вынесен ряд химических элементов и тонких механических частиц. Наиболее активному выносу подвержены трех- и двухвалентные металлы Al, Fe, Ca, Mg, Mn. В гумидных ландшафтах к типичным элювиальным горизонтам относятся подзолистые и глеевые горизонты. Из первых выносятся все перечисленные элементы; из вторых — главным образом Fe, Mn, Ca, реже Mg. — **Прим. ред.**

писными буквами, подгоризонты — строчными буквами или числами. В таблице 2.2 приведены важнейшие почвенные горизонты, их символы, указана окраска и т. д. Полная характеристика почв имеется в специальных книгах и учебниках по почвоведению [2.2, 2.10, 2.13, 2.15].

2.3.2. Гидроморфные минеральные почвы

С точки зрения дренажа целесообразно рассмотреть важнейшие типы почв, сформировавшиеся под влиянием воды (гидроморфные почвы). При этом мы придерживаемся оправдавшего себя подразделения влаги на связанную, поверхностную застойную и грунтовую (табл. 2.3). В известной мере можно признать, что под влиянием связанной воды возникают псевдоглеи, пелосоли* и пластосоли**. Под влиянием верховодки формируются псевдоглеи, заболоченные застойными поверхностными водами. В результате заболачивания грунтовыми водами возникают глеи или глеевые почвы. Имеется также большое количество почв переходных типов, особенно в зависимости от уровня грунтовых вод и его колебаний (рис. 2.8).

У псевдоглеев и глеев в зависимости от быстроты перехода от влажного состояния к сухому, исходного материала и других факторов почвенный профиль характеризуется разными особенностями

* Пелосоль — глинистая почва, образованная на мергелистых глинах, характеризующаяся избыточной увлажненностью связанной водой. — **Прим. ред.**

** Пластосоль — группа тропических и субтропических красных, серых и бурых суглинистых почв, обладающих хорошей пластичностью и формирующихся обычно на карбонатных породах. — **Прим. ред.**

Таблица 2.3. Особенности избыточно увлажненных (гидроморфных) почв ФРГ

Причины заболачивания	Связанной водой	Застойной водой, или верховодкой		Грунтовой водой	
1	2	3	4	5	6
Тип почв	Псевдоглей, заболоченный связанной водой, пелосоли	Псевдоглей, заболоченный застойной водой	Пойменные почвы	Глей	Болото
Распространение	Южные районы Нижней Саксонии, район Вестфальских гор, Франкония, Швабия	Очень широко распространены	Низменности рек	Прибрежные области низменности	Северная и западная части ФРГ, Бавария, Швабия
Горизонты*	*A—Sk—Sd* *A—P—C*	*A—Sw—Sd*	*A—M—G*	*A—G_0—G_r*	T_1—T_2—T_3
Почвенный профиль	Мраморовидный рисунок	Мраморовидный рисунок, пятнистость	Слоистость без восстановления	Окисление преобладает над восстановлением	Частичное окисление

Продолжение

Причины заболачивания	Связанной водой	Застойной водой, или верховодкой		Грунтовой водой	
1	2	3	4	5	6
Почвенная структура	Полиэдрическая, призматическая, плотная, слабоводопроницаемая	Пластинчатая, слабоводопроницаемая	Различная, рыхлая или плотная	Полиэдрическая, призматическая, частицы склеены	Зависит от степени разложения торфа
Затопление	Нет	Нет	Регулярно или иногда	Регулярно	Иногда (низинное болото)
Грунтовые воды	»	Местами	Регулярно	»	Регулярно
Амплитуда		Малая	Большая	Средняя	Средняя
Почвенная влага	Сыро — сухо	Сыро — сухо	Влажно — сыро	Сыро — влажно	Сыро
Использование**	*F—G—(A)*	*F—G—(A)*	*A—G*	*G—(A)—F*	*G—(F)*

* Значения символов показаны в предыдущей таблице.

** *F* — лес, *G* — сенокосы и пастбища, *A* — пашня.

Заслуживает внимания рекомендация, согласно которой болотные почвы используются только как сенокосные, пастбищные или лесные угодья. — **Прим. ред.**

Рис. 2.8. Типы почв, испытывающих влияние грунтовых вод [2.2]:

1 — пойменные почвы; *2* — семиглей; *3* — глей; *4* — сырой глей; *5* — перегнойно-глеевая почва; *6* — низинное болото; *7* — верховое болото; *8* — псевдоглей; *9* — зимний уровень грунтовых вод; *10* — пределы колебания грунтовых вод; *11* — летний уровень грунтовых вод; *12* — зона временного отсутствия свободной почвенной воды.

(мраморовидность*, пятнистость, разные включения и новообразования**).

Почвы грунтового водного питания (глеевые почвы, почвы маршей, пойменные почвы) встречаются прежде всего на равнинах, в понижениях, речных долинах и на морском побережье. Эти почвы затоплялись или временно затопляются. В профиле глеевых почв в

---

* Мраморовидный горизонт — суглинистый или глинистый преимущественно иллювиальный горизонт, испытывающий избыточное увлажнение поверхностными водами. Поскольку миграция влаги происходит по крупным трещинам и порам, оглеение морфологически проявляется в виде сизых, серых и зеленоватых полос по граням структурных отдельностей, тогда как сами структуры в основном сохраняют бурую, коричневатую или охристую окраску. В целом горизонт приобретает мраморовидный рисунок. Это и послужило основанием для выделения в 1937 г. немецким почвоведом Лаатшем мраморовидных горизонтов и мраморовидных почв. — **Прим. ред.**

** Новообразования — карбонатные, железистые, гумус-алюминиевые, марганцевые, железомарганцевые и другие аморфные, конкреционные или плоские аккумуляции, возникшие в результате трансформации почвообразующей породы под влиянием почвообразовательных процессов. В гидроморфных почвах лесной зоны типичные новообразования представлены конкрециями (ортштейны, трубки, дерновая руда, карбонатные стяжения и др.), плоскими образованиями (псевдофибры, ортзанды, рудяки и рудяковые горизонты), аморфными (марганцевые и железистые пятна), угловатыми (примазки, гумус-алюминиевые конкреции) и другими образованиями. Новообразования имеют исключительно важное значение при полевой и лабораторной диагностике причин заболачивания почв и степени их заболоченности, при оценке их мелиоративных особенностей. Подробнее об этом см. в монографии Ф. Р. Зайдельмана «Мелиорация заболоченных почв Нечерноземной зоны РСФСР» (М., «Колос», 1981). — **Прим. ред.**

зависимости от влияния грунтовых вод может быть обнаружен горизонт окисленного (G_o) или восстановленного (G_r) глея.

Промежуточное положение между глеевыми и болотными почвами занимают заболоченные перегнойно-глеевые почвы с высоким уровнем грунтовых вод и повышенным содержанием в аккумулятивном горизонте гумуса (15—30%) и болотные глеи со слоем торфа толщиной 10—30 см (см. рис. 2.8).

2.3.3. Болотные почвы

Болотными называются торфяные органогенные почвы. Они образуются преимущественно как подводные почвы, связанные с грунтовыми водами (низинные болота), или как почвы атмосферного питания (верховые болота).

Болотом называется местность со слоем торфа толщиной минимум 30 см (географическое понятие). Торф — это органогенная порода, содержащая 30% или более органического вещества (геологическое понятие).

По характеру возникновения различают низинное (богатое питательными веществами), верховое (бедное питательными веществами) болота, а также болота переходного типа. Болотам свойственны разные по ботаническому составу торфа, например моховые, древесные, тростниковые, осоковые и т. д. (рис. 2.9).

Болотообразование может начаться или закончиться на любом виде торфа в результате его разработки и окультуривания почвы.

Мощность торфа может колебаться от нескольких дециметров до многих метров. На молодых моренах предгорий Альп и земли Шлезвиг-Гольштейн встречаются болота глубиной до 20 м. В то время как верховые болота приурочены только к районам умеренного и субполярного климата, низинные болота встречаются также во многих тропических областях.

В дренажном деле данные о мощности и степени разложения торфа обычно более важны, чем сведения о его виде и происхождении (см. разд. 3.3.2).

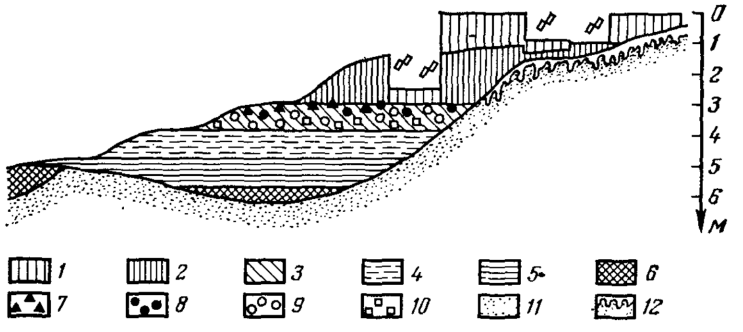


Рис. 2.9. Важнейшие профили болот в северной части ФРГ [3.2]:
1 — молодой мховый торф; *2* — старый мховый торф; *3* — торф разнолесья; *4* — осоковый торф; *5* — тростниковый торф; *6* — сапропель; *7* — сосновые пни в торфе; *8* — сосновая древесина; *9* — березовая древесина; *10* — ольховая древесина; *11* — песок; *12* — ортзанд.

2.3.4. Засоленные почвы

В районах гумидного климата питательные вещества вымываются преимущественно в более глубокие слои почвы. В районах аридного климата вследствие интенсивного испарения влаги в верхних горизонтах и на поверхности почвы накапливаются соли.

Различают засоление почв в естественных условиях, или первичное засоление, и засоление в искусственных условиях, или вторичное засоление. Последнее происходит при орошении, если оросительная система не имеет удовлетворительного дренажа.

Естественные засоленные почвы в районах влажного климата встречаются только в зоне влияния моря (марши). После обвалования территории или повышения уровня местности легкоподвижные избыточные соли сравнительно быстро вымываются атмосферными осадками. На морских побережьях в субтропиках и тропиках имеются засоленные почвы.

В аридных и семиаридных районах засоленные почвы встречаются в понижениях рельефа, где грунтовые и застойные или поверхностные воды обусловливают накопление солей. Образующиеся в результате интенсивного испарения влаги горизонт скопления солей или корка могут препятствовать произрастанию растений.

Находящиеся под влиянием солей почвы по химическим свойствам, а также по пригодности для сельскохозяйственного использования в США [3.12] подразделяются на засоленные, содержащие соли натрия, и натриевые (табл. 2.4). Засоленные почвы содержат много хлоридов, сульфатов и карбонатов натрия, магния и кальция. Натриевые* почвы характеризуются высокой насыщенностью поглощающего комплекса натрием и отсутствием свободных солей.

Засоленные и щелочные почвы по видовому составу растительных ценозов и по своей структуре оцениваются как неблагоприятные местообитания для растений. Возможности мелиорации щелочных почв и почв, засоленных натриевыми солями, обычно ограничены в связи с возможным повреждением структуры при выносе солей в процессе промывок**. Щелочные почвы практически непригод-

---

* Автор имеет в виду солонцы — тип почв, отличающихся высоким содержанием в поглощающем комплексе натрия. Содержание поглощенного натрия в солонцовом горизонте составляет (от емкости поглощения) 20—30% и более. В результате химических мелиораций поглощенный натрий должен быть вытеснен из поглощающего комплекса и заменен кальцием. — **Прим. ред.**

** Новый, разработанный в СССР способ быстрой мелиорации щелочных почв (солонцов, содовых солончаков) заключается в кислотовании. Его сущность состоит в том, что щелочные почвы подвергаются промывке слабым раствором серной кислоты на фоне горизонтального и(или) вертикального дренажа, обогащения поверхностных горизонтов кальцием и внесения железного купороса (для коагуляции коллоидов и оструктуривания диспергированных кислотной промывкой горизонтов почвенного профиля). Способ кислотования щелочных почв разработан Институтом почвоведения, агрохимии и мелиорации Армянской ССР и прошел широкую производственную проверку. В последние годы наряду с использованием серной кислоты для мелиорации почв содового засоления в качестве мелиоранта применяют железный купорос. — **Прим. ред.**

Таблица 2.4. **Обзор естественных засоленных почв, их признаки и химические свойства**

Почва	Признаки (засоление, структура, горизонт)	Водопроницаемость	pH	Содержание солей, %	Электрическая проводимость, мСм/см
Нейтральная засоленная почва, белая, щелочная, солончаковатая	Солевая корка и выцветы солей на поверхности	От незначительной до средней	<8,5	>0,3	<15
Белая щелочная, засоленная натриевыми солями почва, солончак*	Солей в верхнем слое больше, чем в нижнем. Хорошая агрегатированность	От незначительной до высокой	>8,5	>0,3	>15
Черная щелочная почва, солонец**	Верхний слой гумусовый. Солей в верхних слоях меньше, чем в нижних, или их нет. Столбчатая структура. Набухание, усадка, заиление, образование корки	Крайне мала	8,5--11	<0,3	>15
Степная светлая почва, деградированная натриевая, солодь*[3]	Верхний слой почвы с белыми кремнеземными выцветами, вымывание гумуса, плитчатая структура	Крайне мала или водонепроницаема	<7	<0,3	<15

* Солончак — сильно засоленная почва, характеризующаяся высоким содержанием водорастворимых солей в поверхностных горизонтах (0,7--2% и более в зависимости от качественного состава солей) и солевыми выцветами на поверхности. Синоним—белая засоленная почва (фр.) — **Прим. ред.**

** Солонец — почва с высоким содержанием обменного натрия при практическом отсутствии легководорастворимых солей в пределах *всего профиля или в поверхностных горизонтах.* Солонец отличается щелочной реакцией, высокой липкостью и набуханием во влажном состоянии, уплотненностью и высокой твердостью в сухом состоянии, глыбистостью, дифференциацией профиля на три горизонта: элювиальный (надсолонцовый), иллювиальный (солонцовый) и солевой (подсолонцовый). — **Прим. ред.**

*[3] Солодь формируется преимущественно при поверхностном избыточном увлажнении почв в степной и лесостепной зонах в плоских замкнутых понижениях. Солодь отличается наличием развитого элювиального горизонта A_2, оглеением, кислой реакцией верхней части почвенного профиля и щелочной -- нижней части. Синонимы — засоленная подзолистая почва, степная осветленная почва, щелочной подзол, серая осолоделая почва. -- **Прим. ред.**

ны для мелиорации, если избыточный Na^+ не обменивается на Ca^{++}. Особенности дренажа засоленных почв рассмотрены в разделах 6.7 и 7.3.5.

2.4. СТРУКТУРА ПОЧВЫ

При проектировании мероприятий по улучшению почв с помощью дренажа особенно важно учитывать структуру почв, от которой в значительной мере зависят водный, воздушный и тепловой режимы. Под структурой почвы понимают пространственное расположение твердых почвенных частиц. Занимаемый почвой объем может быть разделен на объем сухого вещества и объем пор. Последний обычно бывает заполнен водой и воздухом в разном соотношении (рис. 2.10).

Порозность почвы зависит от размера и формы пор и в значительной степени определяет поведение воды в почве (табл. 2.5). Интенсивность удержания воды в почве зависит от размеров пор и может быть выражена показателями натяжения почвенной влаги.

Натяжение влаги определяют как разрежение, соответствующее интенсивности удержания влаги на поверхности почвенных

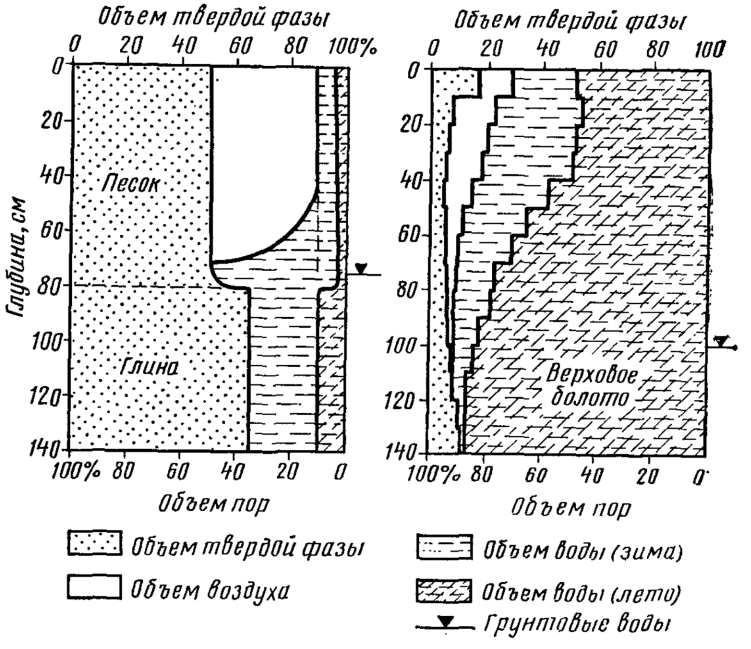


Рис. 2.10. Соотношение твердой, жидкой и газообразной фаз в минеральных и болотных почвах.

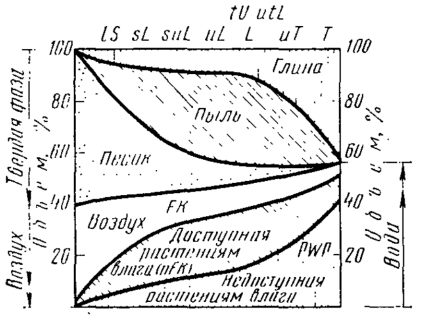


Рис. 2.11. Объем воды, воздуха и твердой фазы в зависимости от разновидности почвы [2.11]:

lS — супесь; *sL* — суглинок песчанистый; *suL* — суглинок песчано-пылеватый; *uL* — суглинок пылеватый; *utL* — суглинок пылевато-глинистый; *tU* — пыль глинистая; *L* — суглинок; *UT* — глина пылеватая; *T* — глина; *FK* — полевая влагоемкость (*pF* 2,5); *nFK* — доступная для растений влага (*pF* 2,5—4,2); *PWP* — влажность устойчивого завядания (*pF* 4,2).

Таблица 2.5. **Размеры почвенных пор и натяжение влаги**

Размеры пор	Влияние на режим воды в почве	Эквивалентный диаметр пор, **мкм**	Натяжение влаги	
			pF	см вод. ст.
Крупные	Быстрое дренирование	>50	<1,8	<60
Средние	Медленное дренирование	50—10	1,8—2,5	60—350
Мелкие	Вода доступна растениям	10—0,2	2,5—4,2	350—15000
Очень мелкие	Вода недоступна растениям	<0,2	>4,2	>15 000

частиц и в порах (капиллярах). Разрежение определяется высотой водяного столба (см) или давлением (кгс/см²). В связи с крупными числовыми величинами натяжение почвенной влаги выражают логарифмом высоты водяного столба в сантиметрах и обозначают *pF*. Например, натяжение, равное 1000 см водяного столба (1 кгс/см²), имеет *pF* 3.

Распределение пор по величине и количество содержащейся в них воды в минеральных почвах зависят от наличия глины, гумуса, извести и некоторых других структурообразующих факторов (рис. 2.11).

В почвах различают прежде всего монозернистую, когерентную и агрегативную структуру [3.13] (см. рис. 3.6).

Под воздействием климатических, биологических, химических или механических факторов структура почвы изменяется (комковатая, кусковая, глыбистая).

2.5. ЖЕЛЕЗО В ПОЧВЕ И ГРУНТОВЫХ ВОДАХ

Почти все почвы содержат железо в различных формах и в разных количествах. Кислые геологические породы (например, гранит) беднее железом, чем основные породы (например, базальт). В результате разнообразных процессов выветривания и почвообразова-

ния из коренных пород возникают плодородные почвы. Упомянутые процессы в основных породах протекают быстрее, чем в кислых. При этом появляется коллоидальный продукт выветривания — гидроокись железа. Связные почвы богаче железом по сравнению с песчаными.

Окраска почв зависит от содержания органического вещества и железа. Хорошо аэрированные окисленные почвы имеют равномерную желтую окраску. Тонкая трехвалентная окись железа (Fe_2O_3) и гидроокись железа [$Fe(OH)_3$] образуют оболочки вокруг отдельных зерен мелкозема и связывают их.

При недостатке кислорода бактерии превращают трехвалентную окись железа в закись железа (FeO) или гидрозакись железа [$Fe(OH)_2$]. Соединения восстановленного двухвалентного железа очень подвижны. Закисные соединения железа придают почвам и почвенным горизонтам преимущественно сине-серо-зеленую окраску*. Почвы, увлажненные застойными грунтовыми водами, часто до самого пахотного слоя имеют пятнистую окраску, обусловленную восстановленным двухвалентным железом. При осушении и последующей аэрации растворимые гидрозакись и закись железа превращаются в желто-красную или темно-коричневую рыхлую гидроокись железа [$Fe(OH)_3$]. Этот процесс в почвоведении называется побурением.

Эффективность трубчатого дренажа при выпадении охры существенно снижается. Заохривание может наступить очень быстро и продолжаться долго. Области, где возможно выпадение охры в почвенных горизонтах, должны быть известны до проектирования дренажных мероприятий. Хотя отложение охры зависит от типа почвы, значительно бо́льшую роль играют содержащиеся в водах почвенной толщи подвижные соединения двухвалентного железа или ионы, которые преимущественно в дренах окисляются и образуют трехвалентные соединения железа. Речь идет прежде всего о двууглекислом железе [$Fe(HCO_3)_2$], которое поступает с грунтовыми водами из больших глубин или из других бассейнов. Наличие железа в грунтовых водах устанавливают на участках выхода грунтовых вод на местности и(или) на откосах каналов в виде акку-

* Глеевые горизонты и горизонты, подвергнутые влиянию процесса глееобразования, обычно имеют окраску холодной части спектра — сизовато-серую, голубую, зеленовато-сизую, а в легких (песчаных и супесчаных почвах) — серовато-сизую, серую и, редко, белую. Существуют различные точки зрения на причины возникновения таких специфических морфохроматических признаков. Наиболее полно их объясняет концепция английского исследователя Блюмфильда, который считал, что такой цвет связан с потерей минеральными зернами почвообразующей породы гидроокисных пленок железа. Именно эти пленки, покрывающие целиком минеральные зерна, придают им характерную теплую окраску — красноватую, желтую, оранжевую. В результате потери гидроокисных пленок железа обнажается естественная холодная окраска минерала. Чем больше в породе глинистых частиц, тем более четко проявляются голубоватые, сизые, синие, зеленоватые тона. Если горизонт имеет легкий механический состав, то в результате оглеения он приобретает серовато-сизый, серый или белесый цвет. (Подробнее см. Ф. Р. Зайдельман. «Подзоло- и глееобразование», 1974, М., «Наука». — **Прим. ред.**

муляции выпавшей охры. В сомнительных случаях определяют pH и содержание железа в воде (см. разд. 3.7).

Повышенное содержание железа в грунтовых водах и, следовательно, отложение охры в дренах возможны прежде всего:

— на низменностях, особенно в местах перехода минеральных почв в органические;

— в зонах влияния напорных вод;

— в переувлажненных бессточных понижениях;

— в почвах с низкими значениями pH (очень кислые и кислые почвы);

— в областях, где соприкасаются грунтовые воды с высоким и низким pH.

В таблице 2.6 указаны, нуждающиеся в мелиорации типы почв и степень опасности заохривания дрен.

Таблица 2.6. **Типы почв, нуждающихся в мелиорации, и опасность отложения охры в дренах [2.8]**

Тип почвы	Опасность заохривания
Верховое болото	Нет опасности
Подзол	Нет опасности или малая
Псевдоглей	То же
Пелосоль	От незначительной до средней
Низинное болото	То же
Переходное болото	От средней до большой
Перегнойно-глеевая почва	От незначительной до большой
Глей	От малой до очень большой
Маршевое болото	От большой до очень большой

Нет опасности выпадения охры в дренах на верховых болотах, но она существует на низинных, переходных болотах и достигает максимума на глеях и маршевых болотах с тонким слоем ила или торфа. Однако и на маршевых болотах степень выпадения охры в дренах зависит от местных условий. На почвах, заболоченных связанной и поверхностной застойной водой (пелосоль, псевдоглей, подзол*), до последнего времени закупорка дрен отложениями охры почти не была отмечена.

От 5 до 10% дренированной площади ФРГ (около 200 тыс. га) подвержено опасности закупорки дрен за счет отложения в них охры. Следовательно, далеко не каждая дренажная система подвержена опасности закупорки отложениями охры. Однако нельзя не учитывать, что заохривание представляет собой большую практическую, техническую, а также финансовую проблему.

* Это замечание справедливо только в отношении подзолистых почв, приуроченных к ареалам пресных (ультрапресных) неминерализованных грунтовых вод. В зоне распространения легких подзолов (подзолистых почв) и ожелезненных грунтовых вод возможна закупорка дренажных труб гидроокисью железа. Обычно в зоне распространения таких вод формируются подзолы (подзолистые почвы), относящиеся к родам ортзандовых или оруделых. — **Прим. ред.**

Литература

[2.1] Baden, W. & R. Eggelsmann: Der Wasserkreislauf eines nordwest-deutschen Hochmoores. 156 S. KfK-Grüne Reihe, Heft 12. Hamburg und Berlin: Paul Parey 1964.

[2.2] Baden; Kuntze; Niemann; Schwertfeger; Vollmer: Bodenkunde — Lehrbuch für Ingenieurschulen. Stuttgart: Eugen Ulmer 1969.

[2.3] Buringh, P.: Introduction to the study of soils in tropical and subtropical regions. Pudoc Wageningen 1968.

[2.4] Dammann, W.: Metereologische Verdunstungsmessung, Näherungsformeln und die Verdunstung in Deutschland. Wasserwirtschaft. 55, S. 315—321, Stuttgart 1965.

[2.5] Dieleman, P. J. (Editor): Reclamation of Salt Affected Soils in Iraq. (Soil Hydrological and Agricultural Studies). Int. Inst. for Land Reclamation and Improvement. Publ. No. 11. Wageningen 1963.

[2.6] Finck, A.: Tropische Böden. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1963.

[2.7] Haude, W.: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. Mitt. Dt. Wetterdienst. 2, Nr. 11, Offenbach a. M 1955.

[2.8] Kuntze, H.: Verockerungen — Diagnose und Therapie. Schriftenreihe KWK, Heft 32. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1978.

[2.9] Krech, B.: Ökologische Grundlagen der Bewässerungskulturen in den Subtropen. Stuttgart: Gustav Fischer 1964.

[2.10] Mückenhausen, E.: Die wichtigsten Böden der Bundesrepublik Deutschland. 2. Auflage. Frankfurt a. M.: Kommentator GmbH 1959.

[2.11] Müller, W.; Renger, M.; Benecke, P.: Bodenphysikalische Kennwerte wichtiger Böden, Erfassungsmethodik, Klasseneinteilung und kartograph. Darstellung. Beih. Geol. Jb. — Bodenkdl. Beiträge. 99/2, S. 13—70, Hannover 1970.

[2.12] Proceedings Unesco-Symposium on Sodic Soils. Budapest 1964. Agrokémia És Talajtan Budapest 1965.

[2.13] Scheffer-Schachtschnabel: Lehrbuch der Bodenkunde. 9. Aufl. Stuttgart: Enke 1976.

[2.14] Schlichting, E.; Schwertmann, U. (Editor): Pseudogley & Gley. (Verh. Komm. V und VI Intern. Bodenkdl. Ges. Tagung Stuttgart 1972). Weinheim/Bergstr.: Chemie GmbH 1973.

[2.15] Schroeder, D.: Bodenkunde in Stichworten. Kiel: Ferdinand Hirt 1969.

3. ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Избыточное увлажнение местообитания может быть вызвано самыми разнообразными причинами, например затоплением, слишком высокими грунтовыми водами, неудовлетворительным состоянием водоприемников, поступлением поверхностных или подземных (напорных) вод, временным застоем поверхностных вод над плотными водонепроницаемыми почвенными горизонтами, наличием связанной воды в почве и т. д.

Сравнительно просто найти места, где почва переувлажнена, но гораздо важнее ответить на вопрос: почему данная площадь избыточно влажна? Переувлажнение почвы может быть обусловлено гидрологическими факторами или свойствами почвы. Для того чтобы ответить на поставленный вопрос, нужно знать топографию участка, его растительный покров, строение почвы, ее водный режим (наличие грунтовой, застойной, связанной воды).

Ниже рассмотрены полевые методы почвенных исследований, оправдавшие себя в течение многих лет. В необходимых случаях даются ссылки на дополнительные лабораторные исследования.

При обходе местности рекомендуется опрашивать лиц, пользующихся землей, проводить копку шурфов или лучше бурение на глубину 2 м и более (табл. 3.1).

Затраты на полевые исследования составляют в среднем от 10 до 50 марок ФРГ на 1 га, что составляет 0,2—5% расходов на устройство дренажа. Полевые исследования позволяют правильно выбрать метод и способ дренирования (трубчатый или беструбчатый дренаж, подпочвенная мелиорация), избежать ошибок при устройстве дренажа, установить лучшие сроки выполнения дренажных работ. Многие правильные мероприятия, проведенные в неподходящее время, оказались безрезультатными.

3.1. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

Вспомогательными средствами при обследовании местности являются:

— план участка (в масштабе 1 : 5000—1000);
— топографическая карта 1 : 25 000 или 1 : 50 000);
— мерная лента;
— полевой журнал и другие материалы для записей;
— сумка для планшетов и т. п.;
— лопата;
— бур.

Кроме того, в зависимости от почвы требуются:

— желобковый бур с молотом (из пластмассы);
— лопастный бур (для всех почв, кроме каменистых, обводненных болотных, сухих песчаных);
— камерный бур (только для болотных почв);

Таблица 3.1. **Перечень вопросов для установления причин и последствий переувлажнения почв**

Проблема (определение)	Вопрос	Вспомогательные средства
Переувлажнение	Повсеместное, локальное	Источники, растительность, различие в использовании. Следы колес, затопление (плавающие предметы у заграждений)
Поверхность местности	Ровная, волнистая, наклонная, косогор	Топографическая карта с горизонталями (например, в масштабе 1 : 25 000). Обход местности
Водоприемник	Удовлетворительный, отсутствует, естественный или искусственный (насосная станция)	Ручей, канал, трубопровод. Скорость течения, подпор, глубина, поперечное сечение, затопление
Грунтовые воды	Наличие, глубина, направление течения, напорные воды	Колодец, скважины, бур, лопата. Окисление и восстановление в почвенном профиле. Карта или план с горизонталями
Застойные поверхностные воды (верховодка)	Временные (свободные) застойные воды над (плотным) водоупорным горизонтом (слоем)	Бур, лопата. Мраморовидность почвенного профиля. Глубина и вид водоупорного горизонта (слоя)
Связанная влага	Связанная почвенная вода	Бур, лопата. Только на связных или болотных почвах. Мраморовидность профиля
Вид почвы	Камни, гравий, песок (мелкий, средний, крупный), ил, глина, торф	Бур, лопата. Проба на ощупь (треть замешивать, резать). Толщина слоя, примеси
Тип почвы	Почвенные горизонты, структура, окраска, плотность, пронизанность корнями (в глубину и в ширину)	Почвенные карты. Бур, лопата. Шурф
Водопроницаемость	Очень малая, малая, средняя, высокая, очень высокая	Бур, лопата. Оценка, измерение (способ определения коэффициента фильтрации в скважине). Проба на фильтрацию

Продолжение

Проблема (определение)	Вопрос	Вспомогательные средства
Отложение охры	Железистая охра в почвенном профиле или в грунтовых водах	В воде железистая охра или маслоподобные пленки. В грунтовых водах F^{++}, окраска. В почве окраска (окисление, восстановление)
Использование	Вид культуры, величина урожая, его стойкость. Затруднения при обработке	Растения-индикаторы, повреждения при обработке

— ложечный бур для промера минерального дна болота (при зондировании) (рис. 3.1).

Перед обходом местности необходимо тщательно изучить топографическую карту. По ней можно составить себе достаточно полное представление о рельефе местности, гидрографической сети (водотоках и водоемах), дорожной сети, застройке, землепользовании и т. д. Почвы могут быть описаны по имеющимся на местности ямам или специально вырытым шурфам, а также по обнажениям на склонах.

Для заболоченных местностей высотные данные на старых топографических картах обычно не соответствуют современному состоянию поверхности.

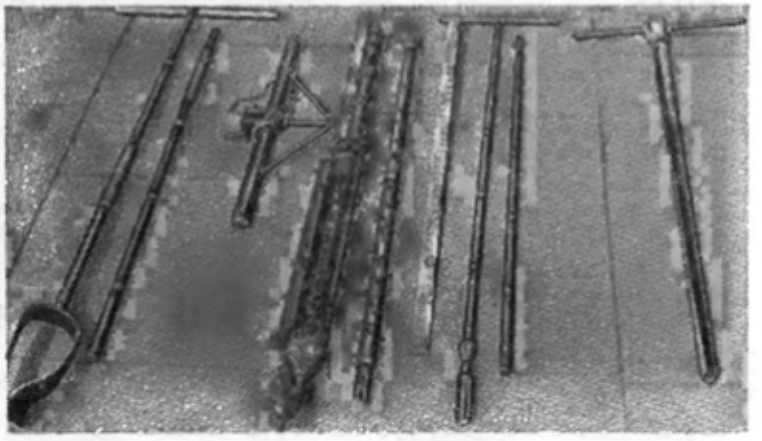


Рис. 3.1. Ручной буровой инструмент со штангами. *Слева направо:* лопастной бур, камерный бур, ложечный бур для промера минерального дна болота, желобчатый бур.

Исправления высотных данных на этих картах почти не производились. Направление поверхностного стока на местности можно определнть по карте сельскохозяйственных угодий с высотными отметками при помощи орогидрографического анализа [3.6].

Предварительно должны быть просмотрены также почвенные, геологические, лесные, гидрогеологические карты, карты бонитировки почв, аэрофотосъемки и другие материалы. Земельные съемочно-геодезические службы ФРГ дают справки о наличии в продаже отдельных планшетов необходимых картографических материалов.

Для многих областей Федеративной Республики Германии имеется генеральная карта в масштабе 1 : 5000.

На двухцветной карте черной краской показаны границы полевых участков, дороги, строения, водотоки, водоемы и т. д., высотные отметки тригонометрических и нивелирных точек, а также высотные данные гидрографической сети, коричневой — линии горизонталей, цифровые обозначения на них и цифровые обозначения высотных точек на местности. Горизонтали настолько точны, что могут быть перенесены на планы местности или отдельных участков большего масштаба для использования в мелиоративных целях. В Баварии и Вюртемберге имеются планы местности в горизонталях, выполненные в масштабах 1 : 5000 и 1 : 2500 [3.11].

Если планшетов генеральной карты для данной местности нет, следует использовать кадастровые карты, составляемые обычно в масштабах от 1 : 500 до 1 : 5000. На кадастровых картах показаны дороги, водотоки и водоемы, сооружения, полевые участки под соответствующими номерами, границы землевладений, угодья и результаты государственной оценки почв. Изображенные на картах водотоки не всегда соответствуют современным натурным данным.

Для культуртехнических целей и мелиоративного проектирования кадастровые карты должны быть дополнены данными нивелировкн. Если для отдельных участков кадастровых карт нет, то на них должна быть проведена горизонтальная и вертикальная съемка. Эти съемки в настоящем руководстве не рассматриваются. Все геодезические работы и необходимые для их выполнения инструменты описаны в практическом руководстве «Топографическая съемка» (часть I) [3.23].

С помощью повторной фотограмметрии можно проводить вертикальную и горизонтальную съемку местности быстро, точно и часто при сравнительно небольших затратах [3.18]. Путем аэрофотосъемки могут быть определены растительный покров н почвенные разности, выявлены места расположения старых оросительных и осушительных систем, в частности дренажных линий. При использовании цветной пленки с так называемой ложной окраской (инфракрасная пленка) может быть выявлена степень увлажнения почвы.

3.2. ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМЛИ И МИНЕРАЛЬНОГО ДНА БОЛОТ

План участка с высотными данными и горизонталями должен быть составлен таким образом, чтобы он давал достаточно четкую картину местности.

Сечение горизонталей (2; 1; 0,5 или 0,25 м) полностью зависит от характера местности (расстояние между горизонталями

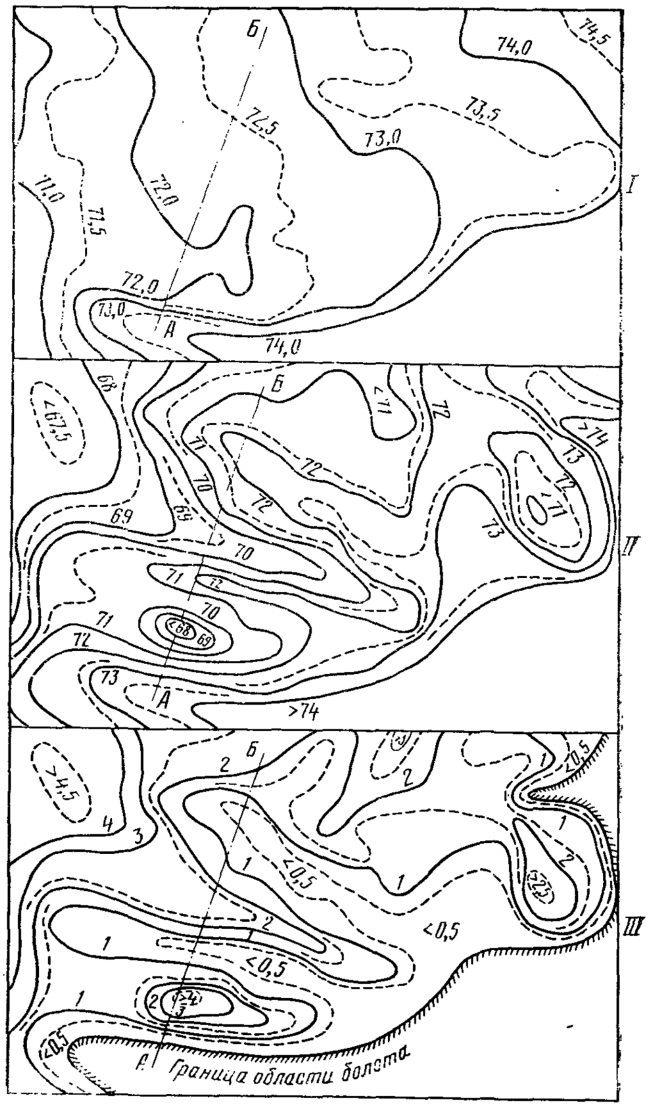


Рис. 3.2. План поверхности болота [3.2]. Разрез *А—Б* на рисунках 3.3 и 3.7:

I — горизонтали поверхности болота (в м) над нормальным нулем; II — горизонтали дна болота над нормальным нулем; III — линии равных глубин болота (торфа).

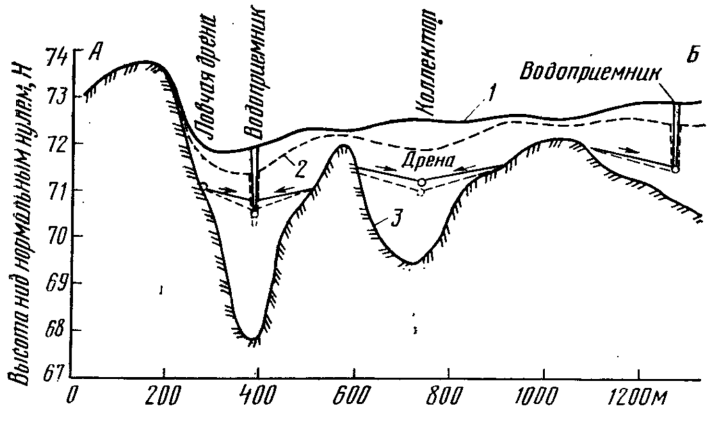


Рис. 3.3. Разрез местности по *А—Б* (см. рис. 3.2) до и после дренирования [3.2]:

1 — поверхность местности в начале мелиорации; *2* — поверхность через 10—20 лет после мелиорации; *3* — минеральное дно болота.

на плане 20—50 мм). Высотные данные следует отсчитывать от нормального (абсолютного) нуля (рис. 3.2)*. Если же привязка к абсолютному нулю (например, из-за больших затрат) невозможна, следует принять за начало отсчетов условный нуль, существенно отличающийся от абсолютного нуля, чтобы условные отметки нельзя было спутать с абсолютными. При обозначении на плане реперов рядом указывают их высотные отметки. В отношении болот важно знать не только высотное положение поверхности, но и мощность торфа и высотное положение минерального дна.

Целесообразно с точки зрения экономии времени, труда и средств проводить высотную съемку минерального дна путем зондирования (промера глубин), одновременно определяя мощность торфа. На болотах высотная съемка требуется даже при наличии карт с горизонталями, так как высотное положение поверхности болот изменяется в результате строительства железных, шоссейных и грунтовых дорог, каналов, проведения осушительных и культуртехнических работ, разработки торфа и т. п.

Чаще всего происходит опускание поверхности болота (рис. 3.3), что называют осадкой болота или осадкой торфа при осушении (см. разд. 7.3).

При маломощном слое торфа и песчаном минеральном дне болота для промера глубины торфа применяют железные штанги длиной 2—3 м с заостренными концами. На болотах с глубоким минеральным дном рекомендуется использовать специальный при-

---

* Нормальный нуль — официальная исходная отметка высот, принятая в Германии в 1879 г. Она совпадает с наблюдаемым средним уровнем воды в Северном море (Амстердамский водомерный пост).

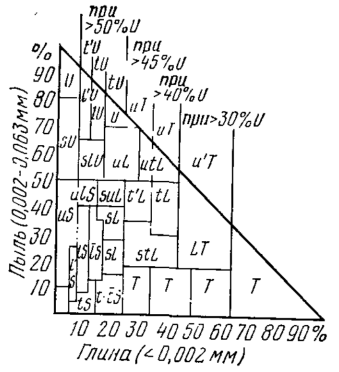


Рис. 3.4. Треугольная номограмма для определения разновидности почвы [3.13]:

S — песок; *uS* — песок пылеватый; *lS* — песок суглинистый; *tS* — песок глинистый; *U* — пыль; *sU* — пыль песчаная: *lU* — пыль суглинистая; *sL* — суглинок песчанистый; *uL* — суглинок пылеватый; *tL* — суглинок глинистый; *sT* — глина песчанистая: *lT* — глина суглинистая; **черта над** буквой означает «тяжелый», штрих над буквой — «легкий».

бор для промера глубин (см. рис. 3.1). При замере глубин (мощности) торфа достаточна точность в пределах дециметра.

Рельеф минерального дна болота может быть изображен в двух формах: в горизонталях минерального дна болота (рис. 3.2 (II)) или с помощью линий равных глубин от поверхности болота (рис. 3.2 (III)). Несмотря на значительную разницу высот поверхности болота, горизонтали минерального дна (II) и линии равных глубин (III) болота располагаются очень сходно. Для проектирования осушительных мероприятий, в частности дренажа, целесообразно использовать горизонтали поверхности болота и изогипсы его минерального дна. Последние отличаются своим постоянством и не поддаются изменениям во времени.

Для проектирования мероприятий по глубокой обработке почвы (вспашка специальными плугами) или устройства бестраншейного дренажа (например, кротового) необходимо иметь план минерального дна болота в горизонталях.

3.3. ОПИСАНИЕ ТИПОВ ПОЧВ

3.3.1. Минеральные почвы

При проектировании дренажа важно располагать правильным описанием разновидностей почв. Оно может быть выполнено на местности визуально, а также по наружным признакам почв, например с помощью так называемой пробы на ощупь. Важнейшие типы почв, их символы и гранулометрический состав по фракциям приведены на рисунке 3.4 [3.13].

Фракция глины в почве определяется легче всего, точно и просто. При относительно редком однофракционном (монозернистом) составе смеси трудно выявить частицы пыли и песка, если глины более 65%; частицы глины и песка, если пыли более 80%; частицы глины и пыли, если песка более 85%.

В двухфракционной смеси отчетливо выражена основная фракция. Для обозначения дополнительной фракции применяют символы: *s* (песчаный), *t* (глинистый) и *u* (пылеватый). Для выражения количества фракции используют знаки:

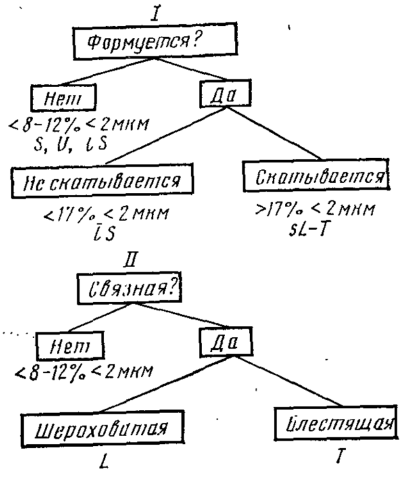


Рис. 3.5. Простая рабочая схема для быстрого определения разновидности почвы пробой на скатывание [2.2]:

12—17%<2 мкм *ls* — слабосвязанная; 17—25%<2 мкм *sL* — среднесвязанная; 25—45%<2 мкм *tL* — сильносвязанная; 45—65%<2 мкм *lT* — сильносвязанная; >65%<2 мкм *T* — очень сильносвязанная.

($\overline{\overline{s}}$) очень сильно (песчаный) — две черточки над буквой;

($\overline{s}$) сильно (песчаный) — одна черточка над буквой;

(*t'*) слабо (глинистый) — один штрих;

(*t''*) очень слабо (глинистый) — два штриха.

Например, сильнопылеватая песчаная глина имеет обозначение $\overline{us}T$.

В трехфракционной смеси (суглинки) оценивают основную, сопутствующую и дополнительную фракции. При известном навыке пробой на ощупь определяют до 25 видов почв (см. рис. 3.4). Сухие образцы почвы часто оценивают как грубозернистые, влажные — как тонкозернистые. При высоком содержании гумуса нередко завышается содержание глинистых фракций. Простая рабочая схема для быстрого определения вида минеральных почв приведена на рисунке 3.5.

Таблица 3.2. **Зависимость между макроструктурой и плотностью минеральной почвы** [2.11]

Класс	Обозначения плотности	Показатели плотности		Данные обследования макроструктуры
		г/см³*	объемные проценты**	
I	Незначительная	1,4	45	Рыхлая монозернистая и когерентная структура, мелкие агрегаты при очень рыхлом сцеплении
II	Средняя	1,4 до 1,75	35—45	Монозернистая и когерентная структура (не плотная и не рыхлая), агрегаты со средним сцеплением
III	Высокая	1,75	35	Плотная монозернистая и когерентная структура, крупные агрегаты с очень прочным сцеплением

* Объемная масса+0,009·% глины.
** Общий объем пор—0,26·% глины.

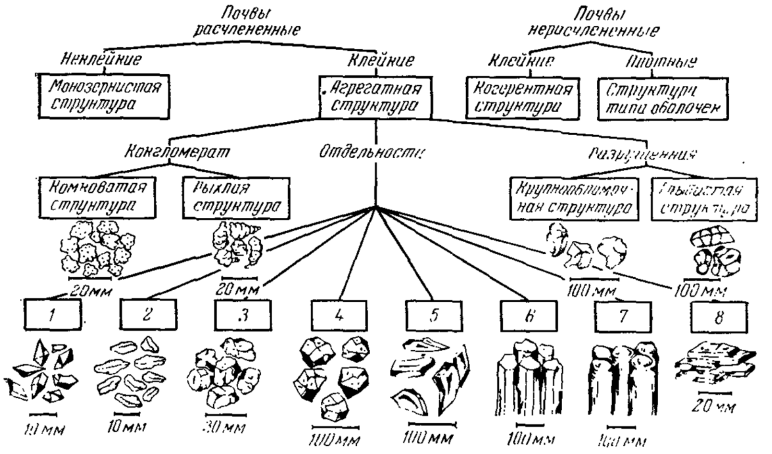


Рис. 3.6. Схема определения структуры минеральных почв [2.2]: *1* — оскольчатая структура; *2* — зернистая; *3* — субполиэдрическая; *4* — полиэдрическая; *5* - мелкоореховатая; *6* — призматическая; *7* — столбчатая; *8* — плитчатая структура.

Структуру почвы можно визуально определить на местности (рис. 3.6).

Плотность слоя минеральной почвы в почвенном профиле определяется по структуре согласно таблице 3.2.

Кроме того, следует обращать внимание на явления, связанные с процессами окисления и восстановления в почве (окраска, мраморовидность, выцветы, пятнистость) (см. разд. 2.6).

3.3.2. Болотные почвы

При описании болотных почв определяют:

— вид торфа по различимым остаткам растений;

— степень разложения торфа методом отжима (по десятибалльной шкале фон Поста);

— минеральные примеси, покровные слои и их гранулометрический состав (песок, суглинок, глина, известь);

— минеральные породы дна болота и тип почв, их водопроницаемость и плотность.

На болотах с сильно увлажненным торфом применяют преимущественно камерный бур, позволяющий отбирать образцы с заданной глубины (см. рис. 3.1).

Вид торфа определяют по различимым сильноизмененным остаткам растений (сфагновый, осоковый, лиственно-моховой и т. д.) (табл. 3.3).

Правильная оценка степени разложения торфа (Н — коэффициент гумификации) важнее точного определения вида, потому что главным образом от разложения зависят физические свойства торфа (водопроницаемость, водоудерживающая способность, осадка).

Таблица 3.3. **Основные виды торфа и сапропелей** (по стандарту ФРГ DJN 4220, лист 2)

Болото	Символ	Вид торфа	Символ	Отличительные признаки (остатки растительности)
Верховое	*Hh*	Светлый моховой (сфагнум)	*Hs*	Торфяные мхи
		Пушицевый (эриофорум)	*He*	Хохолки (волокна пушицы)
		Хворостяной (преимущественно вересковый)	*Hi*	Одеревеневшие стебли вереска
		Шейхцериевый	*Ha*	Корневище шейхцерии толщиной 2—4 мм
		Древесный торф (без указания отдельных пород)	*Hl*	Древесные остатки
		Сосновый (*Pinus*)	*Hlk*	Твердые остатки древесины, крепкие корни, пни
Переходное	*Hü*	Березовый (*Betula*)	*Hlb*	Белая кора березы
		Ольховый (*Alnus*)	*Hle*	Мягкие древесные остатки
		Лиственно-моховой (*Bruales*)	*Hb*	Лиственные мхи
Низинное	*Hn*	Осоковый (*Carex*)	*Hc*	Клетки корней осоки (мелкие корневые волокна)
		Камышовый (*Phragmites*)	*Hp*	Корневища камыша толщиной 8—15 см
		Торфяной	*Fhh*	Разложившиеся остатки
Сапропели* (органические седименты)	*F*	Водорослевый	*Fhl*	Печеночнообразный
		Известковый	*Fkm*	Ракушки (*Conchylien*)
		Глинистый	*Fm*	Глиноподобный

* Сапропель — органо-минеральные отложения на дне озер из остатков растительных и животных организмов, смешанные с минеральными осадками и преобразованные в анаэробных условиях. — **Прим. ред.**

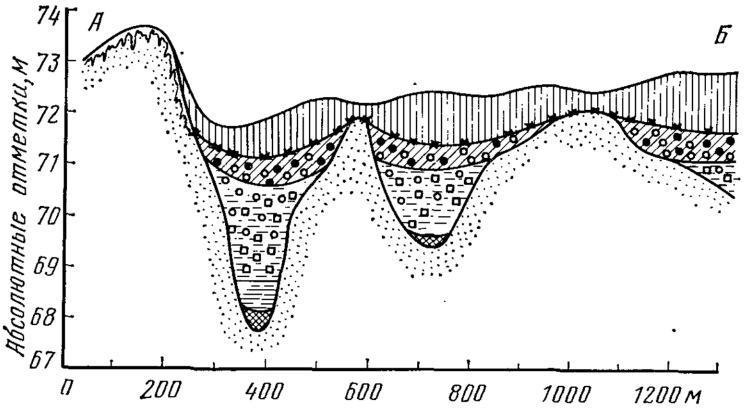


Рис. 3.7. Разрез *А—Б* местности (см. рис. 3.2) с разными видами торфа (см. рис. 2.9) [3.2]. На вертикальной оси указана высота над нормальным нулем.

Поэтому данные о торфах без указания степени разложения практически бесполезны. Для оценки степени разложения в полевых условиях торф сжимают в руке. Заключение делают в соответствии с данными таблицы 3.4.

В качестве примера на рисунке 3.7 показано болото, подстилаемое минеральными образованиями с включением погребенных пней. Многочисленные неразложившиеся древесные остатки в маломощном древесном торфе вследствие его осадки (см. рис. 3.3) появляются на поверхности болота. Освоение таких площадей в целях сельскохозяйственного использования связано с большими капитальными затратами. Так, устройство трубчатого дренажа обходится крайне дорого, а устройство беструбчатого дренажа невозможно.

3.4. ГРУНТОВАЯ, ЗАСТОЙНАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ И СВЯЗАННАЯ ВОДА

При каждом бурении и шурфовании следует точно учитывать количество и вид воды, а также ее напор. Важно проследить за первоначальным появлением свободной воды, чтобы установить, имеются ли грунтовые и застойные поверхностные воды и на какой глубине они находятся [3.9].

Если бурение проводится ручным буром в устойчивом грунте ниже уровня грунтовых вод, то в большинстве случаев вода заполняет скважину, а извлекаемый образец породы снаружи мокрый. Разламывая образец, можно определить вид воды (рис. 3.8).

При большом притоке следует установить, поступает ли вода из крупных пустот (трещин, расселин) или со всей площади стенок.

Таблица 3.4. **Определение степени разложения торфа способом отжима** (стандарт ФРГ DIN 19682, лист 12)

Степень разложения торфа			Показания обследования	
описание	условные знаки	структура растений в торфе	из-под пресса выступает	остаток после отжима
Едва разложившийся	H_1—H_2	Проглядывается ясно	Светлая вода	Не кашицеобразный
Слабо разложившийся	H_3—H_4		Мутная вода	
Умеренно разложившийся	H_5—H_6	Заметные менее ясно	Очень мутная вода, содержащая до $^1/_3$ вещества торфа	Кашицеобразный
Сильно разложившийся	H_7—H_8	Заметные не ясно	Очень мутная вода, содержащая до $^2/_3$ вещества торфа	Только волокна, древесина и т. д.
Почти полностью разложившийся	H_9—H_{10}	Не заметна	Водянистая кашица, содержащая почти все вещество торфа	Почти никакого остатка

Примечание. В сильно высушенных торфах степень разложения определяется по наличию отчетливо видных растительных остатков и доле их содержания в торфе.

Таблица 3.5. **Глубина залегания грунтовых вод в различных типах почв, дм от поверхности земли** [3.13]

Уровни грунтовых вод			Размещение корневой системы растений	Преобладающие типы почв
высокий	средний	низкий		
<2	1—3	4	Очень поверхностное	Болотный глей, перегнойно-глеевая, сырой глей
<2	2—4	4—8	Поверхностное	Сырой глей, нормальный глей
<4	4—8	8—13	На средней глубине	Нормальный глей, пойменная почва
<8	8—13	13—20	Глубокое	Глей, нижние горизонты оглеены
<13	13—20	20	Очень глубокое	Нижние горизонты оглеены
>13	>20	>20	Крайне глубокое	То же

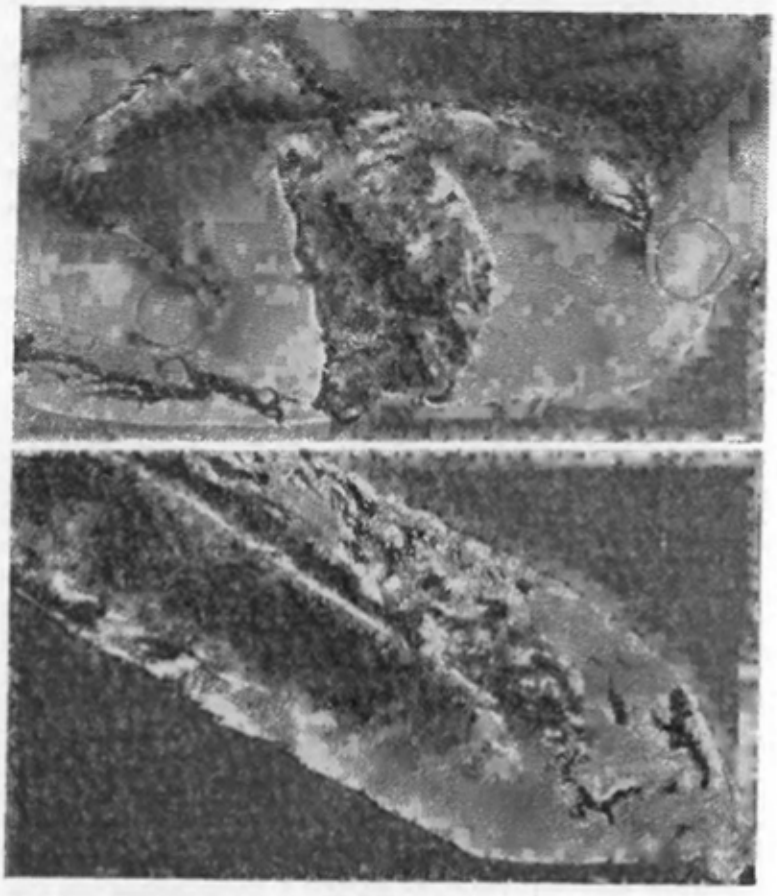


Рис. 3.8. Определение вида почвенной воды при бурении [3.9]: *вверху* — связанная вода в пылеватой глине; *внизу* — свободная вода стекает с острия бура.

Связанные минеральные почвы и используемые в сельском хозяйстве болотные почвы часто настолько устойчивы, что возможно ручное бурение без обсадных труб. В других случаях и при бурении на глубину 3—4 м требуются обсадные трубы.

3.4.1. Грунтовые воды

Грунтовые воды содержатся в почве, если:

— многие буровые скважины заполняются водой (свободноподвижной) аналогичным образом;

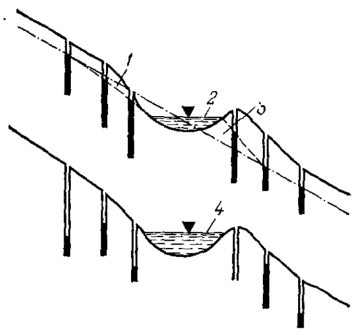


Рис. 3.9. Разрез на местности с грунтовыми и поверхностными водами [3.9]:

1 — понижение уровня грунтовых вод; *2* — река; *3* — питание грунтовых вод; *4* — поверхностные и застойные воды.

— уровни воды в скважинах соответствуют друг другу;

— прослеживается связь уровня воды в скважинах с уровнем воды в соседних ручье, реке или озере (рис. 3.9, *вверху*);

— водоупорный слой находится глубже 1,3 м.

Глубину залегания грунтовых вод следует определять после установления равновесия напоров воды (см. табл. 3.8).

О наличии грунтовых вод, а также о глубине их залегания можно судить по горизонтам окисления (коричнево-красный) и восстановления (сине-серо-зеленый) (см. разд. 2.6).

Глубину залегания грунтовых вод можно определять и по таблице 3.5. Самый низкий уровень грунтовых вод зачастую легче определить (по следам восстановления), чем средний и самый высокий.

При изысканиях под дренаж на глеевых почвах необходимо установить:

— глубину залегания грунтовых вод (см. табл. 3.5);

— водопроницаемость почвы (см. разд. 3.5);

— уклон грунтовых вод и направление их потока;

— наличие железа в грунтовых водах (см. разд. 3.7).

Направление потока грунтовых вод можно определить по уклону зеркала грунтовых вод, например по графически изображенным разрезам местности (см. рис. 3.9, *вверху*). Полезно иметь план местности с линиями равных глубин грунтовых вод (план гидроизогипс).

3.4.2. Напорные грунтовые воды

Если на слоистой почве заложить близко друг к другу много буровых скважин разной глубины, то в них вода может установиться на разных уровнях (рис. 3.10). Если в более глубокой скважине уровень воды выше, чем в соседней менее глубокой, значит, имеются напорные грунтовые воды. Довольно надежным признаком является внезапный подъем воды в скважине, прошедшей через водоупорный слой.

Для расчетов дренажа важно знать напор грунтовых вод и мощность перекрывающего слоя почвы (см. разд. 6.7).

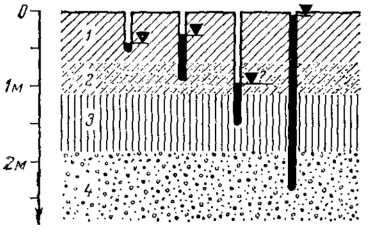


Рис. 3.10. Буровые скважины с разными напорами:

1 — суглинок; *2* — супесь; *3* — глина; *4* — песок гравелистый.

3.4.3. Поверхностная застойная вода (верховодка)

В почвах с верховодкой шурфы и скважины заполняются водой, как и в почвах грунтового питания, но имеются и различия:

— водоупорное дно верховодки находится на глубине менее 1,3 м;

— уровень воды в соседних шурфах и скважинах неодинаков (см. рис. 3.9, *внизу*);

— нет связи с поверхностными водотоками и водоемами (ручей, река, пруд);

— в почвенном профиле четко выражены серо-ржаво-коричневые пятна (мраморовидность).

Глубину водоупора верховодки можно определить достаточно точно путем бурения скважин или закладки шурфов. Водоупор не всегда представляет собой уплотненный слой. Каждое изменение гранулометрического состава означает изменение порозности, обусловливает образование менисков и временный застой воды.

Глубину залегания водоупора дифференцируют согласно таблице 3.6.

Талбица 3.6. **Глубинное залегание водоупора, дм от поверхности земли [3.13]**

Глубина, дм	Оценка
<4	Малая
4—8	Средняя
8—13	Большая

При дренировании заболоченных верховодкой почв, называемых также псевдоглеями [3.19], прежде всего нужно знать:

— глубину залегания водоупора верховодки;

— свойства горизонта верховодки;

— проницаемость горизонта $S_к$.

3.4.4. Связанная вода

Связанная вода, содержащаяся в почве, преодолевает силы тяжести (см. рис. 2.3). Связанная влага содержится прежде всего в пылеватых почвах, бедных глинами.

Эти почвы обладают малой емкостью пор, так что уже при полевой влагоемкости может ощущаться нехватка воздуха в почве (см. рис. 2.11). После выпадения интенсивных осадков в буровых скважинах и шурфах накапливаются поверхностные воды (см. рис. 3.9, *внизу*). В плотных почвах нет свободноподвижной воды, хотя они переувлажняются связанной водой.

Почвы со связанной влагой в отличие от псевдоглеев с верховодкой целесообразно называть псевдоглеями со связанной влагой [3.19]. Степень их увлажнения зависит от гранулометрического состава, плотности.

Выбору вида дренажа (подпочвенной мелиорации?) должны предшествовать дополнительные почвенные исследования (см. разд. 2.4, 2.5, 3.5).

3.5. ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ

По методике исследования физических свойств почв и прежде всего водопроницаемости имеется обширная литература, в которой разбираются теоретические и практические вопросы из области гидрологии, почвоведения, мелиорации, геофизики [3.7, 3.10, 3.21].

При исследовании физических свойств почв и грунтов в естественном состоянии в большинстве случаев получают более точные результаты, чем при изучении «непарушенных» образцов в лаборатории. Если к тому же учесть расходы на проведение исследований с повториостями, то полевые методы окажутся менее дорогостоящими и более быстрыми.

Ниже описываются полевые методы определения физических свойств почв, которые успешно применяются уже много лет в ФРГ и других странах [3.7]. Они преимущественно описаны в стандарте ФРГ DIN 19682.

3.5.1. Оценка водопроницаемости почвы

При известном навыке о водопроницаемости отдельных слоев почвы можно судить на основании поступления воды в выработки при бурении скважин или шурфовании (табл. 3.7).

Таблица 3.7. **Интенсивность поступления воды в почвенную выработку и водопроницаемость**

Поступление воды при бурении или шурфовании	Водопроницаемость	Класс
Очень малое	Очень малая	I
Малое	Малая	II
Среднее	Средняя	III
Большое	Большая	IV
Очень большое	Очень большая	V

Данной простой классификации вполне достаточно для практики. Однако оценки всегда надо проверять путем соответствующих измерений.

Сравнительно точная оценка водопроницаемости возможна только для почв понижений с однородным строением в зоне влияния грунтовых вод (табл. 3.8). При этом должно быть установлено время, в течение которого стабилизируется уровень грунтовых вод в буровой скважине диаметром 7—10 см или в шурфе сечением 20×20 см и глубиной 1—2 м.

Для почв понижений с малыми уклонами на рисунке 3.11 показана связь между уклоном зеркала грунтовых вод и коэффи-

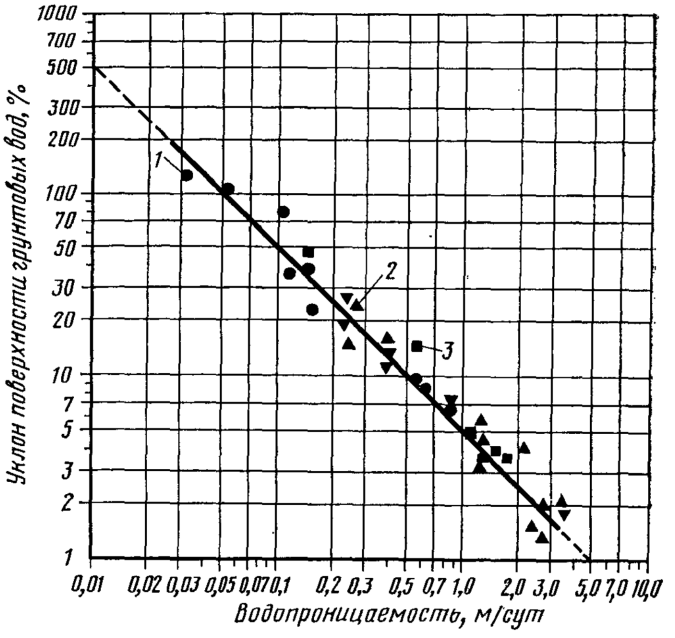


Рис. 3.11. Связь между уклоном поверхности грунтовых вод и водопроницаемостью:

1 — культура верховых болот (9); *2* — культура низинных болот (11); *3* — смешанно-песчаная культура болот (6); треугольником с вершиной вниз обозначена минеральная почва (общее число 32).

циентом фильтрации. График построен по результатам многолетних наблюдений за режимом грунтовых вод на многих опытных участках [95]. Данные наблюдений впоследствии многократно проверялись.

Таблица 3.8. **Оценка водопроницаемости по скорости подъема грунтовой воды в скважине** [3.7]

Уровень грунтовой воды устанавливается через	Водопроницаемость	Класс
6 ч	Очень малая	I
6—2 ч	Малая	II
2—0,5 ч	Средняя	III
30—15 мин	Большая	IV
<15 мин	Очень большая	V

3.5.2. Определение коэффициента фильтрации в буровой скважине

Преимущество метода заключается в том, что определение проводится в полевых условиях на почти ненарушенной почве [3.3]. Однако требуются два условия:

— грунтовые воды должны находиться близко к поверхности;

— мощность почвы должна превышать 0,5 м.

Для работы необходимы лопастный или крыльчатый бур (см. рис. 3.1), поплавок с мерной лентой, хронометр. Для определения коэффициента фильтрации в рыхлых (песчаных) почвах требуются также фильтр, черпак*.

Крыльчатым или лопастным буром выполняется скважина на глубину e. После измерения установившегося уровня грунтовых вод из скважины выкачивают воду и затем измеряют скорость подъема грунтовых вод при помощи поплавка, мерной ленты и хронометра (не менее 4—6 промежуточных отсчетов $\Delta h - \Delta t$). При этом принимают постоянные значения Δh или Δt. При повторном измерении

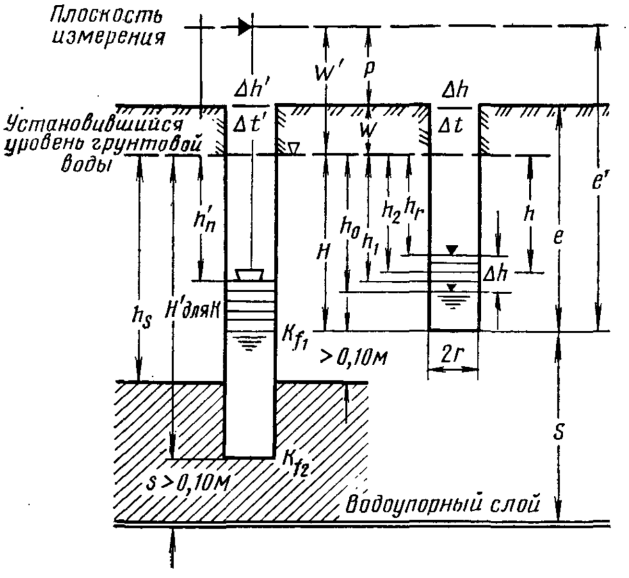


Рис. 3.12. Схема измерения водопроницаемости в буровой скважине [3.3].

---

* Наиболее сложно определение фильтрации по восстановлению уровня воды в скважине после откачки при поверхностном обводнении почвы и (или) наличии в ее профиле оплывающих (плывунных) горизонтов. В этих случаях требуется специальный комплект буровых инструментов и фильтров (Ф. Р. Зайдельман. Мелиорация заболоченных почв Нечерноземной зоны РСФСР. М., «Колос», 1981). — **Прим. ред.**

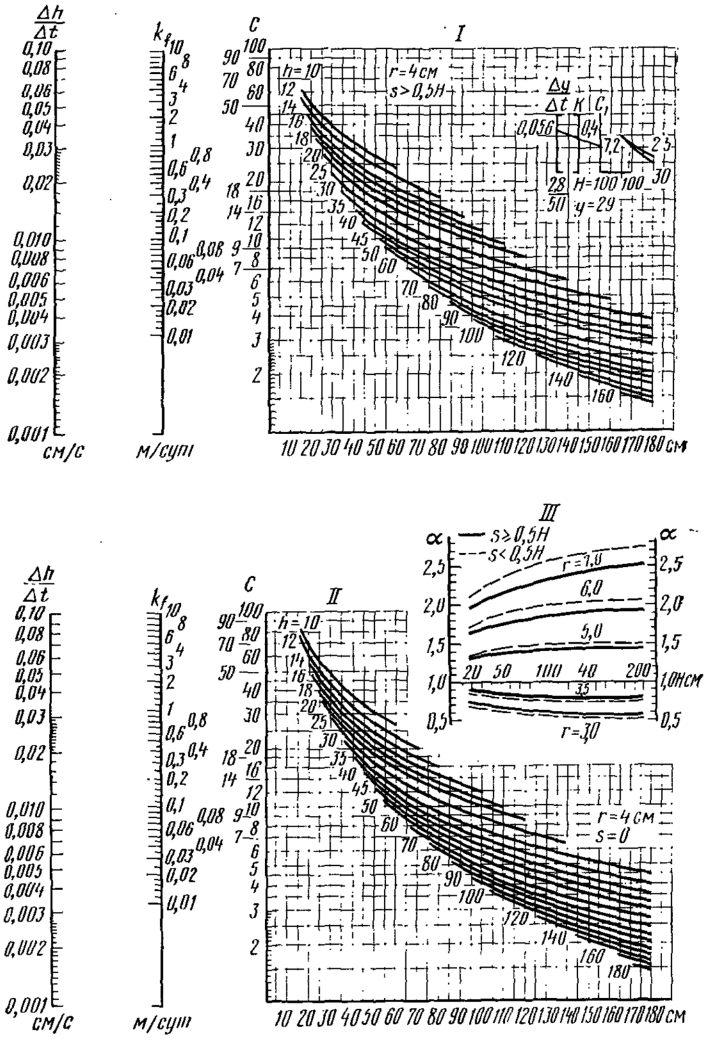


Рис. 3.13. Номограммы для определения в полевых условиях фильтрационной способности k_f при $r=4$ см [3.3]:
I — для $s \geqslant 0{,}5H$; II — для $s<0{,}5H$; III — для радиуса скважин $r \neq 4$ см.

Таблица 3.9. **Классификация коэффициентов фильтрации почв**

k_f, м/сут	Оценка		Класс
Менее 0,01	Крайне низкий	I	*a*
0,01—0,06	Очень низкий		*b*
0,06—0,15	Низкий	II	
0,15—0,40	Средний	III	
0,40—1,00	Высокий	IV	
1,00—2,50	Очень высокий	V	*a*
Более 2,50	Крайне высокий		*b*

в той же скважине отклонения до 10% считаются нормальными. Следует соблюдать условия, указанные на рисунке 3.12. Промежуточные отсчеты показывают, проходит ли подъем грунтовых вод без помех, т. е. равномерно.

Индексом *f* у коэффициента фильтрации *k* отражают полевые условия; цифра соответствует слоям почвы, считая сверху.

Определение значений k_f производится быстро и надежно при помощи номограмм (рис. 3.13).

При этом следует учитывать положение дна скважины по отношению к водопроницаемому слою (см. рис. 3.12).

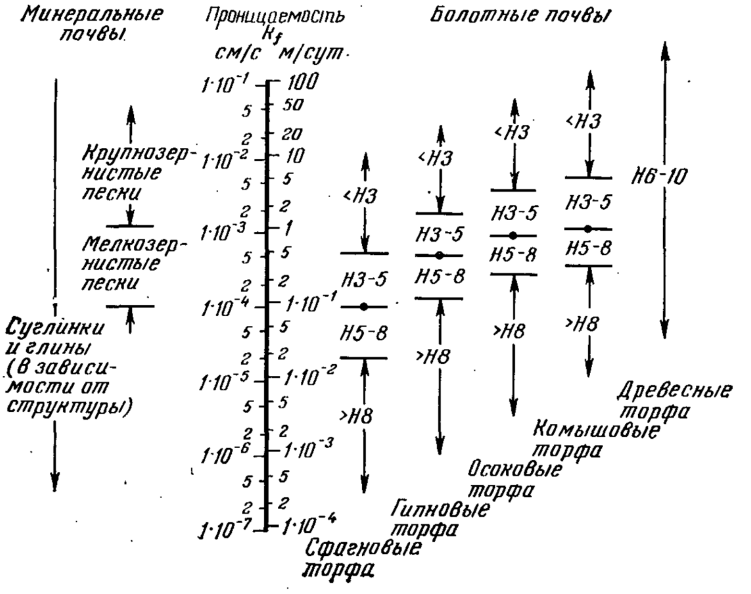


Рис. 3.14. Водопроницаемость минеральных и болотных почв [3.16].

Таблица 3.10. **Водопроницаемость и сопротивление течению воды в важнейших почвах северо-западной части ФРГ**

Класс	Водопроницаемость	Сопротивление течению воды	Тип почвы или вид торфа
I	Очень низкая	Очень большое	Пелосоль Псевдоглей (глинистый) Уплотненный водонепроницаемый горизонт почв маршей, питаемый солоноватой водой Верховое болото (очень сильно разложившийся торф)
II	Низкая	Большое	Псевдоглей (лёсс) Почвы маршей, питаемые солоноватой водой Верховое болото (сильно разложившийся торф) Низинное болото (сильно разложившийся торф)
III	Средняя	Среднее	Парабурозем (лёсс и суглинок) Подзол (эоловый песок и суглинок) Пойменный глей, приморский марш Низинное и верховое болота (средне- и малоразложившиеся торфа)
IV	Высокая	Малое	Глей (песчаный и суглинистый) Пойменная почва (суглинок) Приморский марш Низинное болото (малоразложившийся торф) Древесный торф
V	Очень высокая	Очень малое	Глей (песчаный и гравийный) Камышовый малоразложившийся торф Древесный торф Марш органического происхождения

Значения C для буровых скважин радиусом $r=4$ см можно определять по номограммам (от H к соответствующей кривой h и далее к C).

На основании связи со шкалой номограммы $\Delta h/\Delta t$ непосредственно получают k.

Для других диаметров скважин (в зависимости от почвы) значения C определяют по вспомогательному графику, причем $C_x = \alpha \cdot C_4$.

Для двухслойной почвы, согласно рисунку 3.12,

$$k_{f_2} = \frac{(k \cdot H') - (k_{f_1} \cdot h_s)}{(H' - h_s)} \text{ (м/сут)}.$$

При напорных грунтовых водах или грунтовых водах быстрого течения этот способ может применяться лишь условно, причем величины k_f получаются слишком высокие.

Измеренные и установленные другими способами показатели водопроницаемости должны быть сравнены между собой. Их практическое значение может быть оценено по таблице 3.9.

В таблице 3.10 показаны дальнейшие связи между водопроницаемостью и сопротивлением течению воды в различных типах почв [3.14].

Графическая характеристика пределов водопроницаемости наиболее распространенных минеральных и болотных почв приведена на рисунке 3.14.

3.5.3. Метод определения коэффициента фильтрации в трубах

Данным методом можно определять коэффициент фильтрации в полевых условиях в сравнительно тонких слоях или горизонтах почвы (10 см), но для этого требуется более сложное оборудование, чем для определения коэффициента фильтрации в буровой скважине [3.14].

Стальная труба (рис. 3.15, *1*) внизу снабжена подвижным стальным наконечником или «теряющимся» острием из твердой древесины (*2*). Трубу загоняют в зону грунтовых вод на требуемую глубину и затем поднимают вверх, чтобы образовалось отверстие необходимого размера (при подвижном стальном наконечнике диаметром 4 см). С помощью градуированной стеклянной трубки (*4*), соединенной со стальной трубой (*1*) посредством резиновой пробки (*3*), определяют скорость просачивания вливаемой воды по хронометру.

Приблизительное значение коэффициента фильтрации определяют по формулам:

— в трубе с подвижным стальным наконечником

$$k_f = \frac{r^2 gl}{8 \cdot h_m} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \text{ (см/с)};$$

— в трубе с «теряющимся» наконечником из твердого дерева

$$k_f = \frac{r^2 gl}{2h_m \frac{(a/2 + d + r_0)}{4}} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \text{ (см/с)}.$$

В обоих уравнениях линейные размеры приведены в санти-

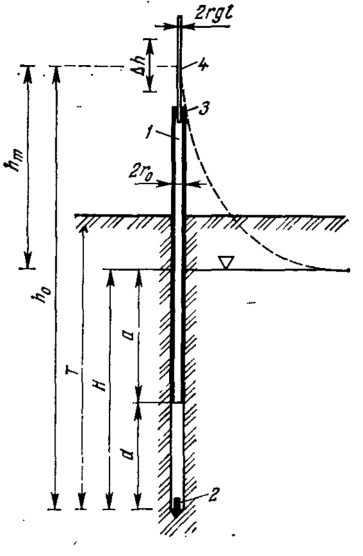


Рис. 3.15. Схема измерения коэффициента фильтрации в полевых условиях методом локального просачивания в трубах [3.14].

метрах, а время — в секундах. Умножая на 864, получают коэффициент фильтрации в м/сут.

Примечание. В суглинистой и глинистой почвах при забивании трубы естественная система пор может быть нарушена, что обусловливает получение заниженного показателя водопроницаемости (коэффициент фильтрации). Поскольку это в виде исключения случается и при определении коэффициента фильтрации в буровой скважине, то поры в скважине «промывают» поступающей в нее водой.

3.5.4. Измерение инфильтрации в почве

С помощью инфильтрометра с двойным кольцом на почвах с глубоким залеганием грунтовых вод измеряют величину инфильтрации, т. е. количество воды, проникающей через единицу площади за единицу времени и просачивающейся в нее. Этот метод пригоден прежде всего для объектов орошения в засушливых климатических зонах [3.22].

Устройство для полевых измерений (рис. 3.16) состоит из наружного кольца (*1*) диаметром 150 мм, высотой 50 мм и внутреннего кольца (*2*) диаметром 55 мм, высотой 84 мм, маркировочного кольца с засечкой, резинового колпака (*3*) и градуированной стеклянной трубки (*4*). Наружное кольцо вдавливают в грунт на 20 мм, а внутреннее — на 42 мм. Оба кольца медленно заполняют водой, после чего устанавливают над ними стеклянную трубку. Однако к измерениям приступают лишь после полного насыщения почвы в центральной части, о чем можно судить по скорости просачивания воды, т. е. по скорости инфильтрации. После заполнения стеклянной трубки водой на высоту h_1 (удалять пузырьки воздуха) с помощью хронометра определяют время инфильтрации t, т. е. время опускания воды до отметки h_2.

Величину инфильтрации рассчитывают по формуле [3.22]:

$$k_l = 2{,}3\,\frac{l \cdot f \cdot \lg\dfrac{h_1}{h_2}}{F \cdot t}\left(\frac{\text{см}^3}{\text{см}^2 \cdot \text{с}} = \frac{\text{см}}{\text{с}}\right).$$

Для четкого отличия величины фильтрации от величины инфильтрации последнюю обозначим через k_l.

Если для прибора подобрана стеклянная трубка длиной 50 см и диаметром 8 мм, то при постоянных перепадах напора (h_1=45 см, h_2= =15 см) формула упрощается:

$$k_i = \frac{1}{t} \cdot 10^{-1} \text{ (см/с)}$$

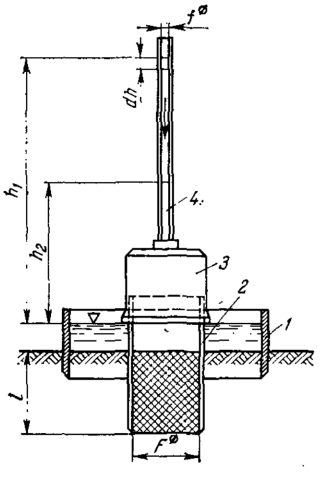


Рис. 3.16. Схема измерения инфильтрации инфильтрометром с двумя кольцами [3.22].

$$k_i = \frac{84{,}24}{t} \text{ (м/сут)}.$$

Коэффициент инфильтрации k_i по ряду причин отличается от коэффициента фильтрации k_f. При испытаниях рекомендуется по возможности применять оросительную воду. Сравнение величин k_i и k_f возможно лишь условно*. При отсутствии других данных можно пользоваться таблицами 3.9 и 3.10.

3.5.5. Воздухопроницаемость почвы

Воздухопроницаемость — важный критерий для оценки переувлажняемых почв. Полевой метод определения воздухопроницаемости заключается в измерении застойного давления [3.7, 3.15].

3.5.6. Сопротивление сдвигу

Сопротивление сдвигу — критерий прочности (когерентности) почвы в естественном сложении. Сопротивление сдвигу может быть определено в полевых условиях с помощью лопастного зонда или ключа для измерения крутящего момента на различных глубинах [3.7].

3.5.7. Шпатендиагностика

При уплотнении почвы транспортными средствами возникает застойное переувлажнение пахотного слоя. С помощью так называемого шпатенисследования подобное уплотнение определяют быстро и верно на местности.

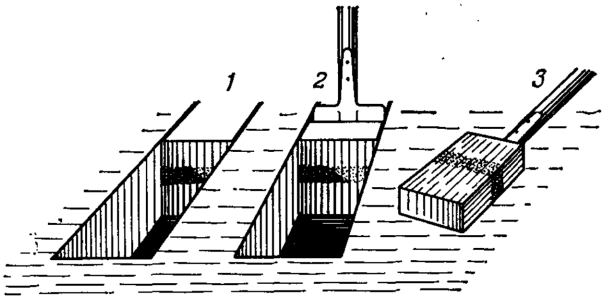


Рис. 3.17. Оценка поверхностного уплотнения почвы с помощью лопаты.

* Эта методика позволяет оценить лишь относительные значения скорости впитывания воды в почву. Она не может быть использована для определения коэффициента фильтрации, в частности при получении необходимых параметров для расчета междренных расстояний. В последнем случае на почвах поверхностного заболачивания целесообразно определять k_f методом заливаемых квадратов по горизонтам почвенного профиля в периоды отсутствия или глубокого залегания верховодки. — **Прим. ред.**

Таблица 3.11. **Растения-индикаторы влажных местообитаний**

Название растения		Группа растений	Вид избыточного увлажнения (глубина, движение)	Известь	Кислотность	Азот	Болото
русское	латинское						
Вахта	*Menyanthes trifoliata*	K	Поверхностное ключевое постоянное переувлажнение проточной водой	(+)	+		(+)
Ирис желтый	*Iris pseudacoris*	K			+	+	+
Поскопник	*Eupatorium cannabium*	K					
Волжанка	*Aruncus dioicus*	K					
Пушница широколистная	*Eriophorum lattifolium*	G		+			(+)
Осока грубая	*Carex davalliana*	R		+			
Тростник	*Phragmites communis*	G	Грунтовая вода постоянно высокого уровня, проточная вода			+	
Лабазник болотный	*Filipendula ulmaria*	K		(+)	+	+	
Дербенник	*Lythrum salicaria*	K			+	+	(+)
Камыш	*Scirpus silvaticus*	R			+	(+)	
Бодяк	*Cirsium oleanum*	K	Грунтовая вода временно высокого уровня, проточная вода	+		+	
Двукисточник тростниковый	*Phalaris arundinacea*	G			(+)	+	(+)
Калужница болотная	*Caltha palustris*	K		(+)	+	+	(+)
Осока остролистная, болотная	*Carex acutiformis*	R		+		+	
Вербейник обыкновенный	*Lysimachia vulgaris*	K			+		(+)

Осока бурая	*Carex fusca*	R	Застойная вода, верховодка (над водонепроницаемым слоем) постоянно высокого уровня		+		+
Сабельник болотный	*Comarum palustre*	K			+	(+)	+
Рогоз	*Typha latifolia*	G		+	(+)	(+)	
Осока стройная	*Carex gracilis*	R		+		(+)	
Хвощ болотный	*Equisetum palustre*	S			+	(+)	
Мята водяная	*Mentha aquatia*	K		(+)	+		
Осока жесткая	*Carex elata*	R	Застойная вода, временная верховодка		+		
Молиния	*Molinia coerulea*	G		+	+		(+)
Незабудка	*Myosotis scorpioides*	K	Переувлажнение связанной водой постоянное		+		
Пушица узколистная	*Eriohorum angustifolium*	G			+		+
Пушица влагалищная	*Eriophorium vaginatum*	G			+		+
Горицвет (кукушкин цвет)	*Lychnis floscuculi*	K	Переувлажнение связанной водой временное		+	(+)	
Мята полевая	*Mentha arvensis*	K			+		
Лютик ползучий	*Ranunculus repens*	K			+		
Луговик дернистый, щучка	*Deschampia caespitosa*	G		(+)	+	+	+
Ситник	*Juncus effusus*	B			+		
Ситник	*Juncus buffonius*	B	Уплотнение поверхности		+		
Мятлик однолетний	*Poa annua*	G		(+)	+	+	
Хвощ полевой	*Eguisetum arvense*	S	Уплотнение подпахотных горизонтов			+	(+)
Мать-и-мачеха	*Tussilago farfara*	K		+			

Лопатой вырезают монолит на глубину одного штыка и укладывают горизонтально (рис. 3.17). Уплотнения определяют с помощью ножа или скребка или по различию во влажности.

Кроме того, уплотнения могут быть установлены путем измерения инфильтрации или воздухопроницаемости в разных горизонтах почвы.

3.6. РАСТЕНИЯ-ИНДИКАТОРЫ И ИХ КОРНЕВАЯ СИСТЕМА

Хорошо известно, что не каждое растение произрастает на любом месте. Состав растительного покрова зависит от многочисленных факторов: климата, почвы, рельефа, водообеспеченности, аэрации, наличия питательных веществ, сорной растительности и т. д.

В то время как одни виды растений приспособляются к разным окружающим условиям, другие требуют строго определенных условий. Такие растения называют индикаторными, и запомнить их нетрудно. Но еще лучше представление об условиях местообитания дает общий состав произрастающих на нем растений. Изучением растительных сообществ занимается фитоценология [3.5].

3.6.1. Растения-индикаторы

В связи с дренажем важно знать прежде всего растения, по которым можно судить о степени увлажнения, заболачивании подвижными грунтовыми водами, поверхностной застойной водой или свя-

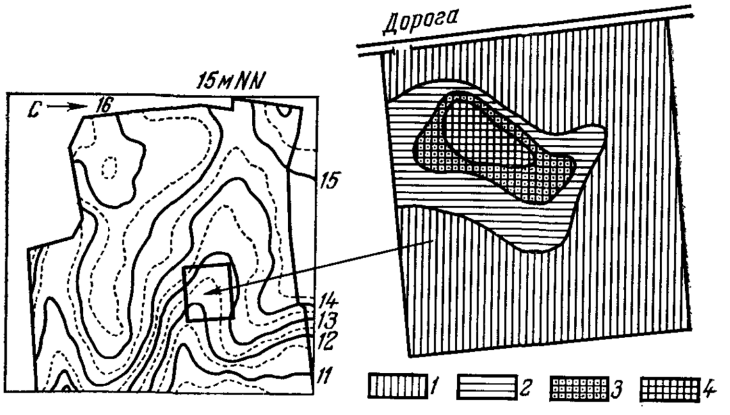


Рис. 3.18. Картирование растительности (вахта трехлистная *Menianthes trifoliata*) и степень увлажнения почвы [3.4]:

1 — вахты трехлистной нет, сухой участок; *2* — встречается на отдельных местах, влажный участок; *3* — встречается часто, мокрый участок; *4* — встречается очень часто, участок выхода родников на поверхность.

занной влагой (табл. .11). В таблице приняты следующие буквенные обозначения:

S — хвощ	*R* — осоковые (осоки)
K — травы	*B* — ситник, камыш
G — злаки	*H* — древесные растения

В таблице 9.11 указаны также такие особенности местообитаний, как содержание в почвах извести, азота, наличие торфа, кислотность [3.8, 3.13, 3.17].

Следует подчеркнуть, что диагностика по растениям-индикаторам не заменяет почвенно-гидрологических исследований, а лишь их дополняет.

По обилию растений-индикаторов можно определить не только вид заболачивания, но и установить его причину. Так, вахта (*Menyanthes trifoliata*) на залуженном склоне долины свидетельствует о наличии источника (рис. 3.18), который, как показали целенаправленные почвенно-гидрологические изыскания [3.4], находится под заболоченными торфяными слоями.

3.6.2. Корневая система

Корни растений распространяются в почве в зависимости от условий. Мощность корневой системы влияет на поступление воды и питательных веществ в растения и на их рост. По характеру распространения корневой системы в стороны и в глубину можно судить о плотности почвенных слоев и горизонтов. Рыхлые слои почвы равномерно пронизываются корнями. По характеру корневой системы отдельно растущих растений на стенке шурфа можно судить о структуре почвы. Картина корневой системы находится в тесной связи с почвенной типологией (рис. 3.19).

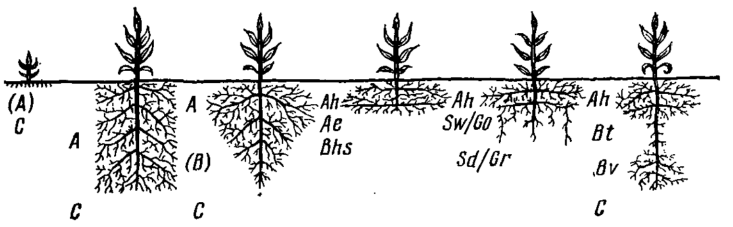


Рис. 3.19. Распространение корней в зависимости от типа и структуры почвы [2.2]:

(A),C — неразвитая почва, зернистая структура (*A*); *A,C* — чернозем, рендзина (низинное болото), комковатая структура (*A*);
A, (B),C — бурозем, комковатая, приближающаяся к многогранной структура (*A*), пленочная структура (*B*);
Ah, Ae, Bhs, C — подзол (верховое болото), зернистая структура (*Ah*), пленочная структура (*Bhs*);
Ah,Sw/Go,Sd/Gz — псевдоглей, глей, марши (засоленные и щелочные почвы, плиты, многогранники (полиэдры *Ah*), закрытые и полуоткрытые призмы (*Sw*);
Ah,Bt,Bv,C — парабурозем, марши с уплотненным водонепроницаемым слоем, субполиэдры (субмногогранники *Ah*), столбчатая структура, призмы (*Bt*), закрытые и открытые полиэдры (*Bv*).

В почвах, заболоченных застойными поверхностными и грунтовыми водами, глубина корнеобитаемого слоя существенно ограничивается. В уплотненном горизонте (*B*) разветвленность корневой системы также невелика. Сведения о корневых системах полезны при оценке условий проектирования дренажа.

3.7. ОПАСНОСТЬ ОТЛОЖЕНИЯ ОХРЫ

3.7.1. Отличительные признаки отложения охры на местности

При изысканиях для проектирования дренажа всегда следует обращать внимание на характерные диагностические признаки почвенного профиля (окраска, наличие пятен, новообразований), по которым можно судить о содержании железа в грунтовых водах (см. разд. 2.6).

Из грунтовых вод с растворенными соединениями двухвалентного железа рассматриваемый элемент может осаждаться в дренах, на стенках траншей и каналов, в местах водопоя животных или выхода на поверхность источников; при соприкосновении воды с воздухом происходит химическая реакция окисления или биологическое окисление с участием железобактерий. Образующиеся на поверхности воды в шурфах, каналах, траншеях и водоемах тонкие блестящие пленки говорят о наличии в воде железобактерий.

3.7.2. Определение железа в воде

Простой и пригодный также для полевых условий метод определения железа в воде заключается в следующем. Свежеотобранную пробу воды заливают в сосуд, который предварительно многократно ополаскивают той же водой. Затем добавляют:

1) буферный раствор (уксуснокислый аммоний) и

2) раствор вещества, образующего окрашенный комплекс О-фенантролина).

После каждого добавления указанных реагентов раствор взбалтывают. Через 10 мин можно определять содержание $Fe^{\cdot\cdot}$ (двухвалентного железа) в мг/л. Яркость красного цвета испытуемого раствора оценивают по стандартной шкале.

Содержание трехвалентного железа ($Fe^{\cdot\cdot\cdot}$) в воде определяют таким же методом, как и содержание $Fe^{\cdot\cdot}$, но дополнительно требуется восстановитель гидроксиламингидрохлорид.

В последнее время появились индикаторные палочки, на которые тонким слоем нанесены вышеупомянутые химикалии. Палочки очень удобны для работы в полевых условиях* [3.20].

---

* В СССР при проведении почвенно-мелиоративных изысканий содержание двухвалентного железа в грунтовой воде определяют количественно в полевых условиях по интенсивности образования турнбулевой сини при реакции иона $F^{\cdot\cdot}$ с феррицианидом калия (красная кровяная соль). Реакция протекает по схеме: $3Fe^{\cdot\cdot}+2[Fe(CN)_6]'''=Fe_3[Fe(CN)_6]_2$ (турнбулевая синь).

Сопоставление интенсивности окраски в исследуемой пробе с окраской стандартных растворов (или цветовых шкал) позволяет количественно оценить концентрацию $Fe^{\cdot\cdot}$ в грунтовой воде. — **Прим. ред.**

3.7.3. Определение pH

Значения pH воды в полевых условиях определяют с помощью индикаторной (лакмусовой) бумаги или специальных индикаторных палочек. Точность определений вполне достаточна для практики.

Величина pH характеризует концентрацию ионов водорода (H-ионов) в воде, т. е. показывает кислую, нейтральную или щелочную реакцию. Так как концентрация ионов выражается крайне малыми числами, то используют показатель pH — отрицательный логарифм концентрации ионов водорода. Следовательно:

$$pH\,1 = 1 \cdot 10^{-1} = 1/10 \text{ г H/л};$$

$$pH\,2 = 1 \cdot 10^{-2} = 1/100 \text{ г H/л};$$

$$pH\,3 = 1 \cdot 10^{-3} = 1/1000 \text{ г H/л}.$$

и т. д. до pH 14.

При этом $pH < 7$ обозначает кислую реакцию;

$pH = 7$ — нейтральную;

$pH > 7$ — щелочную.

3.7.4. Заключение об опасности отложения охры

Опасность отложения охры в дренах в зависимости от кислой или щелочной реакции (pH) и содержания $Fe^{\cdot\cdot}$ в воде определяют по шкале в пределах от маловероятной до очень сильной (табл. 3.12).

Таблица 3.12. **Опасность отложения охры в дренах в зависимости от содержания в грунтовых водах двухвалентного железа и величины pH** [2.8]

Содержание $Fe^{\cdot\cdot}$, мг/л		Опасность отложения охры в дренах
кислая реакция (pH<7)	щелочная реакция (pH>7)*	
<0,5	<1,0	Маловероятная
0,5--1,0	1,0—3,0	Незначительная
1,0—3,0	3,0—6,0	Средняя
3,0—6,0	6,0—9,0	Большая
>6,0	>9,0	Очень большая

* Автор не поясняет, к какому виду дренажа (пластмассовому или гончарному) относятся данные рекомендации. Вместе с тем ВНИИводполимером и другими исследовательскими организациями СССР установлено, что пластмассовые дрены в большей степени, чем гончарные, подвержены закупорке гидроокисью железа. Для пластмассовых дрен критической является концентрация Fe в грунтовой воде более 3 мг/л. В связи с тем что в ФРГ широко применяются поливинилхлоридные дрены, можно считать, что рекомендации этой таблицы справедливы главным образом для пластмассовых дрен. Для гончарного дренажа эти рекомендации, по-видимому, существенно завышены. Этот вид дренажа может нормально функционировать при более высоких концентрациях $Fe^{\cdot\cdot}$ (Ф. Р. Зайдельман. Мелиорация заболоченных почв Нечерноземной зоны РСФСР). М., «Колос», 1981. — **Прим. ред.**

3.8. СОДЕРЖАНИЕ СОЛЕЙ В ПОЧВЕ И ВОДЕ

Содержание солей в почве и воде обычно определяют путем измерения электропроводности.

Определение проводят в водонасыщенной почвенной пасте при двойной влагоемкости (заполнение дистиллированной водой) или в растворе солей (оросительные или дренажные воды) с помощью электрода и вольтметра. В продаже имеется большое число разнообразных приборов, предназначенных для использования в лаборатории (подключение к электросети). Используются также приборы на батареях для работы в полевых условиях. Электропроводимость измеряют в сименсах (См). Электропроводимость — это обратная величина электрического сопротивления (1 См = 1/Ом).

При оценке засоленных и щелочных почв получила распространение американская классификация (US Salinity Laboratory Staff) [3.12] (табл. 3.13).

Таблица 3.13. **Оценка засоленных почв в зависимости от содержания солей по электропроводимости и солеустойчивости растений** [3.12]

Содержание солей, %	Электропроводность, мСм	Оценка засоления	Устойчивость культурных растений к засолению
<0,1	<2	Практически солей нет	Все растения устойчивы
0,1—0,3	2—4	Незначительное	Почти все
0,3—0,5	4—8	Среднее	Переносящие соли (ячмень, сахарная и кормовая свекла, хлопчатник, рис, просо, лук, финиковая пальма, сахарный тростник)
0,5—1	8—16	Сильное	Преимущественно солевыносливые (галофиты)
>1	>16	Очень сильное	Только солевыносливые (травы, разнотравье, кустарники, деревья)

Электрическая проводимость является важным критерием при:

— оценке качества оросительной воды;

— определении расхода воды в процессе вымывания солей из почвы;

— гидравлическом расчете дренажа на орошаемых засоленных землях.

3.9. ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ

Дополнительные лабораторные методы могут быть полезны при проведении предварительных изысканий и исследований, разрешении возникающих вопросов или, например, при выяснении недоста-

точной эффективности дренажных мероприятий. В таких случаях необходимо знать физические и химические свойства почвы.

3.9.1. Лабораторные исследования физических свойств почвы

Согласно стандарту ФРГ DIN 19683, в лаборатории проводят следующие анализы или определяют:

— ситовый анализ;
— седиментационный (дисперсный) анализ;
— плотность почв в естественном сложении;
— показатель pF и распределение порового объема;
— проницаемость в водонасыщенном и ненасыщенном состоянии;
— набухание почвы и ее усадку;
— стабильность структуры;
— характер образования трещин.

3.9.2. Лабораторные химические анализы почвы

В соответствии со стандартом ФРГ DIN 19684 образцы почвы, а также воды и растений анализируют с целью определения:

— органического и минерального вещества;
— гумуса (*C, N*);
— глинистых минералов;
— емкости обмена;
— pH, потребности в известковании почвы и удобрениях при мелиорации;
— микроэлементов;
— веществ, вредных для растений;
— железа.

Литература

[3.1] Baden, W.; Eggelsmann, R.: Zur Durchlässigkeit der Moorböden. Z. f. Kulturtechnik **4**, S. 226—254. Berlin-Hamburg: 1963.

[3.2] Baden, W.; Eggelsmann, R.: Über die Regelung des Wasserhaushaltes bei Moormeliorationen und die dafür notwendigen Vor- und Folgearbeiten. Wasser und Boden **10**, S. 29—36. Hamburg: 1958.

[3.3] Beers, W. F. J. van: Die Bohrlochmethode — Eine Feldvermessung der Wasserdurchlässigkeit unter dem Grundwasserspiegel. (Dt. R. Binsack) Bull. 1 D — Intern. Inst. f. Landgewinnung und Kulturtechnik. Wageningen/Niederlande: H. Veenman & Zn. 1962.

[3.4] Bracker, H.: Grünlandversuche der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. 2. Aufl. Herausg. Lehr- und Versuchsanstalt für Grünlandwirtschaft, Futterbau und Landeskultur. Husum 1971.

[3.5] Braun-Blanquet, J.: Pflanzensoziologie, 2. Aufl. Wien: Springer 1951.

[3.6] Brenner, W.; Höltl, W.: Höhenflurkarte als Hilfsmittel zur Kennzeichnung der Wasserströmung und der Meliorationsplanung.

Z. f. Kulturt. und Flurber. **18**, S. 332—338 und **19**, S. 26—32. Berlin 1977/78.

[3.7] Eggelsmann, R.: Bodenkundlich-hydrologische Feldmethoden und deren Aussagewert für Wasserwirtschaft, Bodenkultur und Landschaftspflege in Niederungsgebieten. Geol. Jb. **F 4**. S. 51—78. Hannover 1977.

[3.8] Ellenberg, H.: Zeigerpflanzen im Landwirtschafts-Bereich. Herausg. Geobotan. Institut ETH Zürich 1964.

[3.9] Feichtinger, F.: Bodenvernässung — Ursache, Merkmale und Erkennen. Bericht 15. Kulturbauämter-Tagung in Eisenstadt (Okt. 1969), S. 48—58 Herausg. Österr. Bundesmin. f. Land- u. Forstwirtschaft Wien 1970.

[3.10] Hartge, K. H.: Die physikalische Untersuchung von Böden. Stuttgart: Enke 1971.

[3.11] Heissler, V.: Kartographie. 3. Aufl. Sammlung Göschen Bd. 30/30 a. Berlin: W. de Gruyther & Co. 1968.

[3.12] Jackson, M. L.: Soil Chemical Analysis. Englewood Cliffs, N. J. (USA): Prentice-Hall, Inc. 1958.

[3.13] Kartieranleitung 2. Aufl.: Herausg. Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde der Bundesanstalt für Bodenforschung und der Geol. Ld.-Ämter. Hannover 1971.

[3.14] Khafagi, A.: Die Durchlässigkeit des Bodens in seiner natürlichen Lagerung. Schweiz. Z. f. Vermessung u. Kulturtechnik. Heft 1—4. Zürich 1944.

4. СПОСОБЫ ДРЕНИРОВАНИЯ

4.1. ТРУБЧАТЫЙ ДРЕНАЖ

4.1.1. Общие сведения о трубчатом дренаже

Трубчатый дренаж состоит из системы труб, уложенных в почву по принятому в мелиоративном строительстве способу, — так называемых всасывающих* дрен и собирателей, или коллекторов (рис. 4.1). Дренажные трубы изготовляют из обожженной глины, пластмассы (жесткого поливинилхлорида) или другого подходящего материала (см. разд. 8).

Через зазоры в стыках, прорезн- и другие отверстия избыточные почвенные воды поступают в дрены и стекают по ним к вспомогательному или главному собирателю (коллекторы первого и второго порядка). Через устья коллекторов дренажные воды поступают в водоприемник (канал, ручей и т. п.).

Свободная почвенная вода не всасывается в дрену, а течет к дрене по законам движения гидравлического потока под воздействием гидростатического давления (см. разд. 5.1).

4.1.2. Подробности о трубчатом дренаже

Все дренажные линии, ведущие в общее устье, образуют самостоятельную дренажную секцию. Осушаемая ими поверхность называется секторной. Главный собиратель (коллектор) обычно располагается на самых низких отметках осушаемого участка, например в плоской мульде. Его трасса определяет направление всасывающих дрен поперек склона, под углом к горизонталям или вдоль склона (см. рис. 7.5).

Часто открытые каналы заменяют закрытыми проводящими дренами, которые в противовес дренам других видов имеют назначение не принимать почвенную воду, а лишь отводить ее. Проводящие дрены выполняются водонепроницаемыми (на муфтовых соединениях). В этом случае следует руководствоваться водным законодательством (обоснование получения разрешения на заключение водоприемников в трубы). При этом должен обеспечиваться

---

* Термин «всасывающая дрена», принятый в мелиоративной литературе ФРГ, соответствует используемому в СССР термину «регулирующая дрена». В техиических руководствах по проектированию осушительных систем и учебной мелиоративной литературе в СССР собирателем (закрытым собирателем) часто называют дрену, снабженную дренажной засыпкой повышенной водопроницаемости, предназначенную для перехвата поверхностного стока. Здесь и далее термин «собиратель» является синонимом термина «коллектор». — **Прим. ред.**

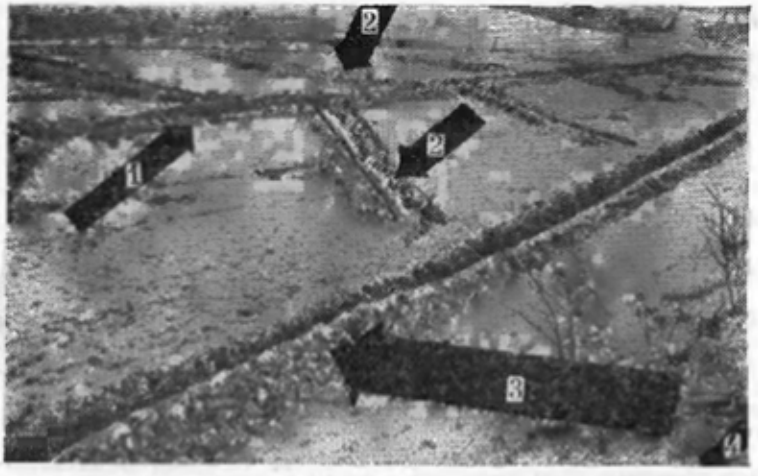


Рис. 4.1. Коллектор (*1*), всасывающая (регулирующая) дрена (*2*) и ловчая дрена (*3*). Последняя принимает грунтовый поток со склона (*4*) и отводит его [4.5].

пропуск максимальных расчетных паводковых расходов. Следует всегда учитывать то обстоятельство, что заключение водоприемника в трубу полностью разрушает существовавшую до этого экологию ручья или канала и значительно изменяет окружающий ландшафт [4.8].

Для перехвата грунтовых вод или поступающих по склону поверхностных вод устраивают ловчие дрены* (см. рис. 4.1 и 7.7). Ловчим дренам следует придавать большие сечения по сравнению с сечением обычных дрен (диаметр равен или больше 8 см), а дренажные траншеи надо заполнять водопроницаемым материалом для обеспечения просачивания воды к дренам (см. разд. 7.2). Ловчие дрены отводятся в водоприемник отдельно.

Для устройства дренажа территорий, предназначенных под инженерные сооружения, служат те же принципы, что и для устройства ловчих дрен (см. разд. 7.5).

Если площадь не нуждается в осушении дренажной системой, то устраивают выборочные дрены. Это прежде всего касается почв у выхода родников на склонах или в холмистой местности (см.

---

* Термин «ловчая дрена» используется автором для обозначения всех дренажных сооружений, направленных на перехват как грунтовых, так и поверхностных вод. Следовательно, в книге нет дифференциации, как это принято в советской литературе, перехватывающих дренажных сооружений на нагорные, служащие для отвода поверхностных вод, и собственно ловчие дрены (или каналы), предназначенные для перехвата (частичного или полного) грунтового потока. — **Прим. ред.**

разд. 7.3.4). В таких случаях большую роль играют предварительные гидрогеологические исследования (см. разд. 2.2 и 3.4). Только в результате исследований можно получить исчерпывающие сведения для проектирования (местоположение, размеры), а также для расчета экономичности выборочного дренажа.

Поочередное осушение участков применяется в тех случаях, когда возникает сомнение в целесообразности устройства систематического дренажа на всей площади.

Проектирование и расчет трубчатого дренажа подробно рассмотрены в последующих главах.

4.1.3. Применение трубчатого дренажа

Трубчатый дренаж служит преимущественно для осушения почв грунтового питания (см. рис. 1.1). Для почв, заболоченных верховодкой, трубчатый дренаж пригоден лишь в тех случаях, когда водоупор находится на глубине 50 см и более от поверхности земли (см. рис. 6.12). В почвах, заболоченных связанной водой, трубчатый дренаж применяется дополнительно к беструбчатому при подпочвенных мелиорациях, когда количество среднегодовых осадков превышает 600 мм, и для осушения понижений местности (прежде всего оснований склонов).

4.2. БЕСТРУБЧАТЫЙ (КРОТОВЫЙ) ДРЕНАЖ

4.2.1. Общие сведения

Беструбчатый дренаж, который раньше называли кротовым или земляным, — чрезвычайно экономичный способ осушения земель. Он был изобретен и впервые применен в Англии. Затем беструбчатый дренаж был усовершенствован и сейчас успешно применяется во многих странах мира.

В ФРГ этот вид дренажа до последнего времени не приобрел такого значения, как в других странах. Совершенно несправедливо его нередко рассматривают как вспомогательный вид дренажа. Иногда неоправданно отдают предпочтение менее эффективному трубчатому дренажу.

На основании положительного опыта, накопленного в ФРГ и других странах, в 1973 г. стандартом ФРГ DIN 1185 термин «кротовый дренаж» заменен на «беструбчатый дренаж». Этим же стандартом беструбчатый дренаж признан эффективным способом дренирования наряду с трубчатым.

На основании положительного опыта в ряде соседних стран (Австрия, Чехословакия, Югославия и др.) беструбчатый дренаж стал одним из признанных способов дренирования и полностью приравнен к трубчатому дренажу. На тяжелых глинистых и суглинистых почвах, а также в сильно разложившихся торфах беструбчатый дренаж значительно более экономичен и эффективен по сравнению с обычным трубчатым [4.7].

4.2.2. Подробности о беструбчатом дренаже

Беструбчатые дрены выполняются дренажным плугом на незначительной глубине и небольшом расстоянии друг от друга. Нож дренажного плуга, закрепленный в вертикальном или слегка наклонном

Рис. 4.2. Прокладка беструбчатой (кротовой, земляной) дрены; одновременно происходит рыхление почвы [4.6].

положении, с расположенным спереди рыхлителем протаскивается в почве трактором или канатной тягой. За рыхлителем следует конусообразный уширитель (рис. 4.2). При этом формируется беструбчатая (земляная, кротовая) дрена. В сильно разложившихся болотных почвах беструбчатые дрены устраивают также путем фрезерования или нарезки (разд. 9.4).

В минеральных почвах возможно совместное применение беструбчатого и трубчатого дренажа, известного под названием комбинированного или перекрестного дренажа. Этот вид дренажа состоит из трубчатых дрен, уложенных на значительном расстоянии друг от друга (30—80 м) под прямым углом, к которым устраивают беструбчатые дрены на расстоянии 2 м друг от друга. Подключают беструбчатые дрены к трубчатым посредством хорошо фильтрующего слоя из гравия, хвороста и других водопроницаемых материалов, укладываемых в дренажную траншею (рис. 4.3 и 8.12).

При рациональном использовании механизмов беструбчатые дрены могут пересекать несколько трубчатых дрен, имеющих увеличенный диаметр и уложенных в хорошо фильтрующий слой. На болотных почвах следует предусматривать один беструбчатый дренаж, потому что комбинация его с трубчатым до сих пор была невозможной. Отдельные (самостоятельные) устья беструбчатых дрен закрепляют деревянными оголовками, пластмассовыми трубами без клапанов и т. п. (см. разд. 8.7).

Диаметр уширителя при создании беструбчатых дрен должен составлять:

— на минеральных почвах 80—100 мм;

— на болотных почвах 120—200 мм (см. гл. 9).

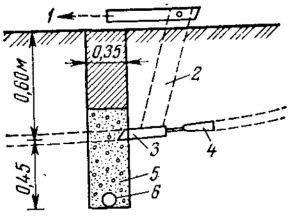


Рис. 4.3. Комбинированный дренаж [4.12]:

1 — направление тяги; *2* — нож (стальная полоса толщиной 3 см, заостренная спереди); *3* — кротователь сечением 8 см; *4* — уширитель в виде прицепной конусообразной болванки сечением 10 см; *5* — фильтрующий слой над гончарными трубами; *6* — гончарная труба.

Потребное тяговое усилие при использовании легких кротовых плугов сравнительно невелико. Достаточно иметь тягачи мощностью 38 кВт (50 л. с.) и более, которые распространены в настоящее время в сельском хозяйстве. Поэтому беструбчатый дренаж может быть выполнен силами самих сельских хозяев или мелиоративных товариществ.

Беструбчатый дренаж хорошо работает, даже если стенки земляных дрен в значительной степени обрушились в результате рыхления верхних и нижних слоев почвы (см. рис. 5.15).

4.2.3. Применение беструбчатого дренажа

Беструбчатым дренажем осушают прежде всего почвы, содержащие связанную влагу. Такой дренаж улучшает также структуру почвы.

Согласно опыту, накопленному в Баварии, на рисунке 4.4 показаны пределы состава минеральных почв, пригодных для устройства беструбчатого дренажа [4.11]. В Западной Венгрии после 1965 г. около 20 тыс. га земель с незначительным содержанием глины, согласно рисунку 4.4, заболоченных связанной водой, мелиорированы комбинированным (трубчатым и беструбчатым) дренажем [4.2, 4.17].

Болотные почвы должны иметь степень разложения торфа Н 5 и более, а минимальная плотность должна соответствовать средней плотности почвы в естественном сложении (см. разд. 7.3.1).

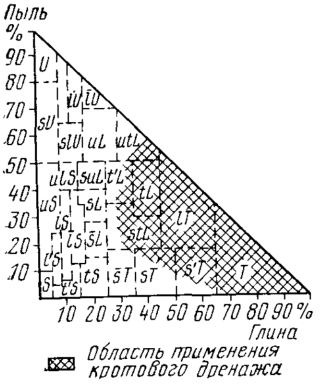


Рис. 4.4. Пределы состава минеральных почв для кротового дренажа [4.11]:

U — пыль; *sU* — пыль песчаная; *lU* — пыль глинистая; *slU* — пыль песчано-глинистая; *uL* — суглинок пылеватый; *ulL* — суглинок пылевато-глинистый; *uls* — песок пылевато-суглинистый; *sul* — суглинок песчано-пылеватый; *tL* — суглинок глинистый; *lT* — глина суглинистая; *uS* — песок пылеватый; *lS* — песок суглинистый; *sL* — суглинок песчанистый; *stL* — суглинок песчано-глинистый; *S* — песок; *tS* — песок глинистый; *sT* — глина опесчаненная; *T* — глина. Черта над буквой означает «тяжелый», штрих над буквой — «легкий».

Почвы, заболоченные верховодкой, пригодны для осушения беструбчатым дренажем только в том случае, если их свойства на глубине дренирования аналогичны свойствам почв, заболоченных связанной водой.

На почвах, заболоченных грунтовыми водами, срок службы беструбчатого дренажа снижен*.

4.3. ГЛУБОКОЕ РЫХЛЕНИЕ

4.3.1. Общие сведения

Глубокое рыхление, согласно стандарту ФРГ, DIN 1185 представляет собой обработку земельного участка рыхлящим орудием на глубину не менее 40 см без оборота пласта. Обработка механически уплотненного верхнего слоя почвы (плужной подошвы, колеи, оставляемой транспортными средствами, и т. п.) на глубину менее 40 см (рис. 4.5) не считается глубоким рыхлением. В этом случае рекомендуется применять лопаточный плуг или лопаточную борону, двухъярусный плуг (см. разд. 9.5 и 9.6) и аналогичные орудия.

Глубокое рыхление целесообразно, если почвы:

— уплотнены в результате геологических процессов и имеют плотные слои выветривания или осадочные слои;

—имеют уплотненные горизонты вследствие почвенно-генетических процессов (например, глинистые иллювиальные горизонты).

В этих почвах, преимущественно богатых пылеватыми и бедных глинистыми частицами, осадки просачиваются на глубину очень медленно. Эти почвы сильно уплотнены (см. табл. 3.2).

Такие почвы преимущественно переувлажнены. Они характеризуются незначительной долей крупных пор, проводящих воздух и способствующих быстрому дренированию (см. разд. 2.4). Рост корней в рассматриваемых почвах затруднен (см. рис. 5.17).

Если применить трубчатый дренаж, как это часто делали раньше, то корни культурных растений интенсивно пронизывают только рыхлую почвенную толщу дренажных засыпок. Растительность в этих местах гораздо пышнее, чем на остальной части поля. По интенсивности развития растений можно достаточно точно определить и нанести на карту расположение трубчатых дрен. Таким об-

---

* Целесообразность строительства беструбчатых кротовых дрен в минеральных почвах определяется не только их гранулометрическим составом, но и генетическим типом почв и их структурой. Чем водопрочнее структура и выше агрегированность почв, тем продолжительнее срок службы кротовых дрен. Для количественной оценки продолжительности действия кротовых дрен в минеральных почвах в СССР используют способ Ф. Р. Зайдельмана, позволяющий судить о сроке действия земляной дрены по водопрочности макроагрегатов размером 3—5 мм. Качественная диагностика устойчивости кротовых дрен возможна по микроагрегатному составу почв способом С. В. Астапова. Методы определения срока действия кротовых дрен в минеральных почвах освещены в литературе (Ф. Р. Зайдельман. Мелиорация заболоченных почв Нечерноземной зоны РСФСР. М., «Колос», 1981). — **Прим. ред.**

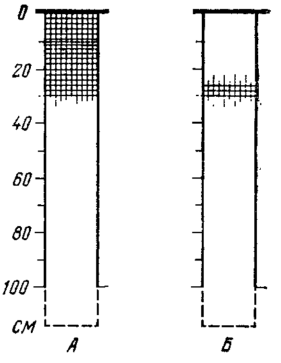


Рис. 4.5. Механическое уплотнение верхнего слоя почвы (стандарт ФРГ DIN 1185, лист. 1):

А — общее уплотнение давлением и вибрацией; *Б* — уплотнение слоя почвы и образование плужной подошвы в результате давления или скольжения. Для рыхления уплотненной почвы применяют лопаточный плуг, двухъярусный плуг или другие орудия.

разом, самн культурные растения показывают, что требуется подпочвенная мелнорацня нли дополнительный бесгрубчатый дренаж [4.3].

Способы подпочвенной мелиорации систематически исследуются с 1957 г., н в настоящее время онн разработаны в такой степени, что возможно нх широкое примененне [4.15. 4.11, 7.21].

4.3.2. Подробности о глубоком рыхлении

В результате вспашки и рыхления увеличивается доля крупных пор в почве (первичное рыхление). Вода быстрее проннкает в почву, увеличивается корнеобитаемая зона, улучшается воздушный и водный режим. Рыхлое состояние почвы стабилнзируется путем химического и биологического воздействия (вторнчное рыхление).

Глубина рыхления зависит от рода почвы и глубины ее уплотнения. Частично уплотненные слои (горизонты) также следует рыхлить, поэтому нормальная глубина рыхления составляет 60—80 см.

Расстояние между бороздами зависит от глубнны рыхления. Борозды должны перекрывать друг друга на глубине около 30 см (рис. 4.6). Поэтому при рабочей глубине 80 см рабочая ширина равна 75 см.

Для глубокого рыхления применяют орудия с одно- или многостоечными рабочими органами, с жестким или подвнжным креплением лемехов рыхлителей (см. разд. 9.5).

Размеры, форма, угол наклона и подвижность рыхлителей определяют вид и объем рыхления. Чем глубже н сильнее уплотнена почва, тем крупнее должен быть лемех рыхлителя. В рабочем положенни лемех должен иметь наклон 25—30° к горизонтальной плоскости. При небольшом наклоне лемех незначнтельно подиимает почву. Круто поставленные лемехн плохо рыхлят весь слой почвы, но особенно плохо рыхлят подпочву, а тяговое усилне при этом большое.

Потребное тяговое усилие для орудий с подвижными лемехами меньше, чем для орудий с неподвнжными. Для обработки вы-

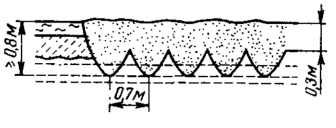


Рис. 4.6. Глубнна рыхления ⩾ ⩾0,8 м; расстоянне между бороздамн рыхления 0,7 м; глубнна взрыхленного слоя почвы 0,3 м (стандарт ФРГ DIN 1185, лист 1).

сохшей почвы рыхлителем с неподвижным лемехом требуется гусеничный трактор с двигателем мощностью более 75 кВт (более 100 л. с.).

Часто бывает необходимо известкование. Вопрос о том, следует ли проводить внесение удобрений, в том числе и на большую глубину, можно решить только после проведения агрохимического анализа (см. разд. 3.9.2). При этом следует также учитывать возможность вымывания питательных веществ из почвы (евтрофирование вод).

Успех рыхления [4.11, 4.15, 7.21, 7.27] зависит от двух условий:

— почва должна быть достаточно сухой. Только в сухой почве формируются структурные агрегаты. Лучше всего проводить рыхление почвы сразу после уборки урожая. На участке, где планируется рыхление, целесообразно высевать клеверо-злаковую смесь (биологическое осушение);

— после рыхления следует сохранять структуру почвы, т. е. проводить мелкую обработку почвы, выращивать растения с глубокой корневой системой (рапс и др.) и промежуточные культуры, применять почвообрабатывающие орудия, не разрушающие структуру почвы (лопаточная борона и др.).

4.3.3. Применение глубокого рыхления

Глубокое рыхление применяется только на плотных вязких почвах, заболоченных связанной водой, и на почвах, заболоченных верховодкой, при залегании уплотненного слоя (горизонта) на глубине 0,5 м или меньше от поверхности земли (псевдоглей, пелосоль и т. д.).

При среднегодовом количестве осадков более 600 мм и в понижениях местности (прежде всего у основания склонов) необходимо дополнительно укладывать трубчатые дрены с фильтрующим слоем или устраивать поглощающий колодец (шлюкер) (см. разд. 5.3 и 7.7). В некоторых случаях требуется комбинированный дренаж (трубчатый+бесструбчатый).

На рисунке 4.7 показаны пределы состава минеральных почв, пригодных для глубокого рыхления, согласно опыту, полученному в Баварии [4.11].

В северной части ФРГ по клима-

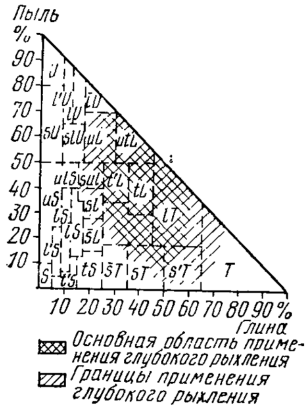


Рис. 4.7. Основная и пограничные зоны применения глубокого рыхления на минеральных почвах [4.11]:

S — песок; *uS* — песок пылеватый; *lS* — песок суглинистый; *tS* — песок глинистый; *U* — пыль; *sU* — пыль песчаная; *lU* — пыль суглинистая; *sL* — суглинок песчанистый; *uL* — суглинок пылеватый; *tL* — суглинок глинистый; *sT* — глина песчанистая; *lT* — глина суглинистая; *T* — глина. Черта над буквой означает «тяжелый», штрих над буквой — «легкий».

тическим условиям глубокое рыхление может быть использовано лишь весьма ограниченно, так как здесь необходимое высушивание почвы до границы влажности ниже скатывания в шнур достигается лишь только 1—2 раза в 10 лет* [4.13]. Поэтому в данных условиях трубчатый дренаж применяется в комбинации с кротовым (см. разд. 4.2).

4.4. ГЛУБОКАЯ ВСПАШКА

4.4.1. Общие сведения

Глубокая вспашка, согласно стандарту ФРГ DIN 1185, представляет собой разработку почвенной толщи в горизонтальном направлении на глубину минимум 60 см с оборотом пласта специально сконструированным однолемешным плугом.

В северо-западной части ФРГ в течение последних четырех десятилетий на площади свыше 180 тыс. га мелких болот и заболоченных земель, подстилаемых песком (тип почв — подзолистые и подзолисто-глеевые или перегнойно-глеевые), путем глубокой вспашки с подъемом на поверхность песка созданы смешанно-песчаные почвы (смешанно-песчаные культуры) [4.1, 9.5]. Наряду с многочисленными устойчивыми успехами в некоторых примерах отмечаются границы применения глубокой вспашки с почвенно-гидрологической точки зрения (см. разд. 5.4 и 7.8) [4.4].

В последние годы плуги для глубокой вспашки применялись в порядке опыта на различных, нуждающихся в мелиорации минеральных почвах, например на парабуроземах, однако достаточного

---

* В Советском Союзе глубокое рыхление (обычно на глубину $\geqslant$60 см) как агромелиоративный прием, направленный на ускорение внутрипочвенного стока, получило определенное распространение. Его эффективность тесно связана с особенностями физических свойств почв, приуроченных к породам различного генезиса. Если рыхление выполняют при благоприятной влажности (т. е. тогда, когда почва утрачивает способность скатываться в шнур) благоприятный агрономический и мелиоративный эффект может быть получен на почвах, приуроченных к моренным, покровным лессовидным, пермским и другим суглинистым и глинистым породам, к маломощным флювиогляциально-моренным отложениям. Вместе с тем на озерно-ледниковых породах и, особенно, на ленточных глинах положительное последействие рыхления весьма ограничено — 1, реже 2 года. Следует также иметь ввиду, что на породах первой группы в результате действия сельскохозяйственных машин происходит уплотнение верхних слоев почвы в толще 20—50 см, тогда как более глубокие горизонты — 50—80 см обычно сохраняют повышенную водопроницаемость. В связи с этим на осушенных суглинистых и глинистых почвах, приуроченных к моренным (мелкокаменистым), покровным, пермским суглинкам и глинам наиболее целесообразно сочетать редкое глубокое мелиоративное рыхление на 70—80 см (по-видимому, не чаще чем один раз в 5—6 лет) с более мелким агрономическим рыхлением (на глубину до 50 см). Последнее мероприятие должно повторяться через каждые 2—3 года после того, как верхние горизонты почвы восстанавливают свои исходные физические свойства. — **Прим. ред.**

опыта на основании многолетних испытаний, особенно на почвах типа парабуроземов, еще не накоплено [4.9].

Глубоко вспаханные подзолы пустошей уже многие годы с успехом вовлекаются в культуру, причем созданы хорошие пахотные угодья.

Глубокая вспашка рекомендуется там, где в результате смешивания различных генетических слоев (горизонтов) образуется пахотный слой с устойчивыми физическими свойствами.

4.4.2. Подробности о глубокой вспашке

При глубокой вспашке горизонтальные слои почвы поворачиваются на 110—140° и устанавливаются в наклонном положении. Это хорошо видно на различно окрашенных слоях почвенного профиля (светлый песок и темный торф) (рис. 4.8).

Глубокая мелиоративная вспашка может выполняться на глубину от 60 до 220 см. Глубина вспашки минеральных почв до сих пор не превышала 150 см [9.5].

На рисунке 4.9 показаны естественный профиль мелкого верхового болота, подстилаемого песком, и соответствующий «идеальный» профиль почвы после глубокой вспашки с основными показателями. Соотношение слоев почвы при глубокой вспашке, например торфа и песка, должно составлять с учетом плотности в естественном сложении от 2 : 1 (среднезернистый песок) до 1 : 2 (мелкозернистый песок). Глубина борозды при вспашке определяется указанными соотношениями (см. разд. 5.4 и 7.8).

Для минеральных почв соотношение слоев (горизонтов) при глубокой вспашке рассчитывается по желаемому соотношению ма-

Рис. 4.8. Профиль почвы после глубокой вспашки при смешанно-слойной песчаной культуре болота.

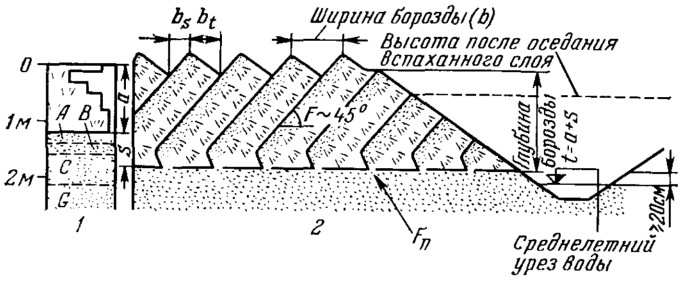


Рис. 4.9. Схема естественного профиля почвы на верховом болоте и профиля после глубокой вспашки при необходимой глубине осушения:

1 — естественный профиль; *2* — профиль глубокой вспашки.

терналов в новом пахотном слое. Согласно опытным данным, новый пахотный слой должен содержать:

— на глинистых почвах глины менее 35% (по массе);

— на пылеватых почвах глины более 20%;

— на песчано-глинистых смесях пыли менее 15%.

Мероприятиям по глубокой вспашке всегда должны предшествовать тщательные почвенно-мелиоративные исследования (см. разд. 2 и 3), при этом желательно сотрудничество почвоведов.

Имеются плуги для глубокого рыхления с жестким креплением рабочего органа, а также с гидравлическим устройством для регулирования заглубления рабочего органа в процессе работы. Ширина плужной борозды должна составлять около $^2/_3$ глубины вспашки. Глубокую вспашку производят только при сухой погоде. Распахиваемые слои должны лежать выше уровня грунтовых вод.

На торфяниках средний летний уровень стояния воды в канале должен быть не менее чем на 20 см ниже глубины плужной подошвы с учетом осадки торфа (см. разд. 7.3 и 7.8).

Потребное тяговое усилие зависит от почвы и глубины вспашки. Необходимая мощность двигателя колеблется от 75 до 300 кВт и более (100—400 л. с.).

После глубокой вспашки требуется планировка поверхности участка. Последующую обычную вспашку и боронование проводят поперек направления глубокой вспашки и обязательно при сухой погоде. Удобрения вносят в соответствии с результатами агрохимических анализов (см. разд. 3.9.2).

4.4.3. Применение глубокой вспашки

Согласно опыту, накопленному в течение десятилетий в северо-западной части ФРГ, глубокая вспашка на торфяниках рекомендуется при следующих условиях:

— мощность торфа в среднем менее 1,2 м, максимум 1,5 м;

— торф содержит мало древесины и имеет кислую реакцию;

— подпочва содержит мало глины, пыли и камней, в мелкозернистом песке частиц величиной менее 0,02 мм не более 12% по массе [4.4];

— на торфяных почвах, обогащенных известью и азотом (низинные болота), пахотный слой не должен содержать торф, чего достигают созданием песчаного покрытия [4.10].

Глубокую вспашку на минеральных почвах, по опытным данным, можно применять:

— на подзолах с ортштейном, если выпахивается на поверхность уплотненный горизонт *B*;

— на песчаных буроземах, если вследствие углубления пахотного слоя (менее 60 см) увеличивается корнеобитаемая толща и полевая влагоемкость;

— на парабуроземах с плохой водопроницаемостью иллювиальных горизонтов и склонностью к заилению и эрозии;

— на аллювиальных суглинках, подстилаемых песком.

4.4.4. Вспашка с перемешиванием

Голландская «феновая культура», начало применения которой относят еще к 16-му столетию, и площадь которой в настоящее время достигает 100 тыс. га, требует применения современных механизмов для создания достаточно мощного песчаного покрытия (от 10 до 15 см) при сравнительно малом содержании гумуса в почвенном слое.

В 1962 г. в результате проведенных опытов был создан так называемый плуг-смеситель с гидравлически регулируемой глубиной (до 1,8 м) погружения рабочего органа. При работе этого плуга может быть увеличена мощность песчаного покрытия и тем самым снижено содержание гумуса при сохранении богатого питательными веществами пахотного слоя.

По сравнению с плугом для глубокой вспашки (см. разд. 4.4 до 4.4.3) затраты на производство работ по обработке земель плугом-смесителем соответственно ниже, кроме того, отпадает необходимость в планировочных работах. С 1966 г. отмечается значительное повышение урожайности картофеля, сахарной свеклы и зерновых на землях, обработанных плугом-смесителем [4.16].

4.5. СТОИМОСТЬ ДРЕНАЖА

Описанные способы устройства дренажа различаются не только характером применения и эффективностью, но прежде всего стоимостью. Показательно соотношение стоимости различных способов дренажа на псевдоглеевых почвах возвышенности Эйфель [4.14]. Разные виды дренажа имеют следующие сроки службы:

трубчатый дренаж	30 лет
комбинированный дренаж	15—30 »
глубокое рыхление	10—15 »
глубокая вспашка (минеральные почвы) . . .	15—30 »

Поскольку последействие глубокого рыхления составляет 10 лет, это мероприятие в отличие от трубчатого дренажа, срок

службы которого 30 лет, проводят в течение трех десятилетий еще 2 раза, или всего 3 раза*.

Сравнение затрат показывает большую экономическую эффективность комбинированного (беструбчатого+трубчатого) дренажа. Она составляет от 40 до 50% по сравнению с другими способами дренажа в аналогичных условиях (в данном случае псевдоглеевые почвы, по механическому составу от пылеватых суглинков до глин).

На подстилаемых песками неглубоких торфах, преобладающих в северо-западной части ФРГ, глубокая вспашка может заменить систематический трубчатый дренаж** (см. разд. 5.6).

Глубокую вспашку маломощного торфяника, подстилаемого суглинком (*sL—T*), исходя из имеющегося отрицательного опыта, а также гидрологических данных, проводить нецелесообразно (см. разд. 5.4).

В таблице 4.1 приведены средние суммарные затраты для различных способов дренажа.

Таблица 4.1. **Средние суммарные затраты для разных способов дренажа (1980)**

Способ дренажа	Затраты, марки ФРГ на 1 га	Примечание
Трубчатый дренаж	1500 до 3000	большие расстояния между дренами
		малые
Беструбчатый дренаж	300 до 500	Без трубчатых коллекторов
Комбинированный дренаж	1800 до 3500	большие расстояния между коллекторами
		малые
Глубокое рыхление	400 до 600	Рыхление
	500	Химические мелиорации
		1,0 м
	1200 до 2600	Глубина вспашки
		2,2 м
Глубокая вспашка	1400 до 2000	Химические мелиорации (известковании)
	300 до 800	Планировка

На номограмме (рис. 4.10) показаны длина дрен на 1 га (левая шкала), расстояния между дренами и затраты на 1 м дрен (правая шкала). Расстояния между дренами и затраты на строи-

* Срок службы кротовых дрен в системах комбинированного дренажа определяется не только этой общей рекомендацией, но прежде всего той действительной устойчивостью земляных дрен, которая в каждом конкретном случае должна быть установлена аналитически и количественно (см. примечание к стр. 83) при выполнении почвенно-мелиоративных изысканий. — **Прим. ред.**

** В данном случае речь идет о глубокой вспашке торфяных почв на фоне действующей открытой сети. — **Прим. ред.**

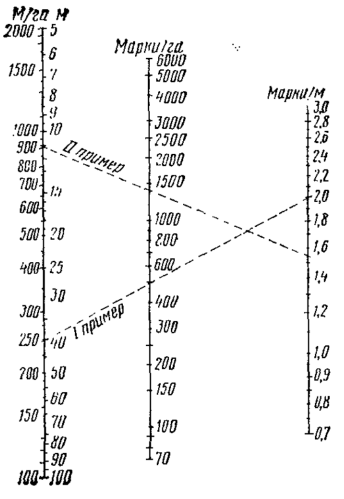


Рис. 4.10. Номограмма для определения общей протяженности дрен и затрат на их строительство.

тельство дренажа видны из средней шкалы. С помощью номограммы в большинстве случаев быстро и достаточно точно определяют искомые величины.

I пример.

Дано: расстояния между дренами $a=40$ м, затраты на устройство дренажа 2 марки ФРГ на 1 м.

Определить:

1) длину дренажа на 1 га. На левой шкале находим — 250 м;

2) стоимость дренажа на 1 га. Соединяя с помощью линейки или нити найденные на правой и левой шкалах точки, в месте пересечения средней шкалы читаем — 500 марок.

II пример.

Дано: расстояния между дренами $a=11$ м, затраты на устройство дренажа 1,55 марки на 1 м.

Определить:

1) длину дренажа на 1 га. На левой шкале находим — 910 м (точно 909 м);

2) стоимость в марках на 1 га. Соединяя найденные точки левой и правой шкал в точке сечения на средней шкале, читаем — 1410 марок (точно 1409 марок).

Литература

[4.1] Baden, W.: «Deutsche Sandmischkulturen» (Tiefpflugkulturen) nur unter entsprechenden Voraussetzungen! Wasser u. Boden **10**, 349—53. Hamburg 1958.

[4.2] Belak, et. al.: Erfahrungen und Ergebnisse komplexer Meliorationsarbeiten in Westungarn. Mitt. Landw. Universität Keszthely, Nr. 11. (Orig. Ungarn. mit. aust. dt. Zusammenfassung) Keszthely 1973.

[4.3] Brauer, E.; Kuntze, H.; Steinmetz, H.-J.: Verfahren zur Unterbodenmelioration. Arb. der DLG, Bd. 126. Frankfurt a. M. 1969.

[4.4] Eggelsmann, R.: Durchlässigkeit als bodenkundlicher Grenzwert für Tiefpflugkulturen in Moor und Anmoor. Z. f. Kulturtechnik u. Flurber. **11**, S. 18—27. Berlin 1970.

[4.5] Eylers, H.; Kuntze, H.: Entwässerung durch Dränung. 3. Aufl. AID-Informationsdienst, Heft-Nr. 124. Frankfurt a. M. 1966.

[4.6] Feichtinger, F.: Die Maulwurfdränung — eine Form der Bodenmelioration. Der. Förderungsdienst 8, Heft 10. Wien 1960.

[4.7] Feichtinger, F.; Schleifer, H.: Maulwurfdränversuch 1951—1960. Österr. Wasserwirtschaft **14**, S. 117—125. Wien 1962.

[4.8] Gäbler, H.-J.: Die Gewässer in der Kulturlandschaft. Wasser und Boden, **31**, S. 4—7, Hamburg 1979.

[4.9] Hartge, K. H. & Wohlrab, B. (Herausgeber): Physikalische Aspekte der Eingriffe in das Bodengefüge bei Meliorationsmaßnahmen. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges. 11. Göttingen 1970.
[4.10] Kuntze, H.: Meliorationsbeispiel Sandmischkultur. Landbauforschung Völkenrode. Sonderh. 24, S. 31—46. Braunschweig 1974.
[4.11] Merkblatt zur kombinierten Dränung. Bearbeiter: Bayr. Landanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau/Bayr. Landesamt für Wasserwirtschaft. München 1976.
[4.12] Ramsauer, B.: Die Maulwurfdränung. Mitt. Bd.-Vers-Inst. f. Kulturtechnik und Techn. Bodenkunde, Nr. 7. Petzenkirchen/NÖ. 1952.
[4.13] Renger, M.: Bodenkundliche Kriterien für die Auswahl von Verfahren der Tiefenbearbeitung auf meliorationsbedürftigen Standorten. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 24, S. 1—14. Braunschweig 1974.
[4.14] Rieser, A.: Bodenkundliche, wasserhaushaltliche und wirtschaftliche Probleme bei der Melioration vor allem pseudovergleyter Böden in der westl. Eifel. Diss. Bonn 1970.
[4.15] Schulte-Karring, H.: Die meliorative Bodenbewirtschaftung. Ahrweiler: R. Warlich 1970.
[4.16] Wind, G. P.; Pot, R. A.: Bodenverbesserung in den holländischen Veenkolonien. Z. f. Kulturt. u. Flurber. 17, S. 193—206. Berlin 1976.
[4.17] Toth, A.: Die Umweltwirkung der Dränung auf Waldböden in West-Ungarn. Bericht 2. Intern. Dräntagung «Dränung und Umweltschutz». Bad Zwischenahn 11. — 13. Nov. 1980.

5. ДЕЙСТВИЕ ДРЕНАЖА

Любой дренаж достаточно эффективен лишь в том случае, если имеется удовлетворительный, постоянно действующий водоприемник. Если нет естественного водоприемника, предусматривают дренажные насосные станции (см. разд. 7.1).

Водоприемники нуждаются в систематическом уходе (см. разд. 10).

5.1. ТРУБЧАТЫЙ ДРЕНАЖ

Дрены могут принимать только воду, находящуюся в свободно-подвижном состоянии (груитовые воды, верховодка), заполняющую поровое пространство, т. е. для успешного дренирования почва должна быть в достаточной степени водопроницаемой ($k_f \geqslant 6$ см/сут согласно таблице 3.9).

Движение воды в дренируемой почве для глаза незаметно. По-видимому, поэтому появлялись многочисленные теории поступления воды в виде грунтового потока к дрене. Эти теории можно обнаружить и в ряде современных изданий.

Многочисленные исследования на моделях и в натуре, проведенные в ФРГ и других странах в последние десятилетия, убедительно показали существование течения воды к дрене.

5.1.1. Линии тока и линии равного напора воды в почвах грунтового заболачивания

Теоретически установленные зависимости, определяющие закономерности движения воды в почве, играют важную роль при выведении новых формул для расчета расстояний между каналами или дренами вместо старых эмпирических.

Для описания потока грунтовых вод при ламинарном постоянном течении применим закон фильтрации Дарси. С учетом условий непрерывности грунтовой поток можно рассчитать по дифференциальному уравнению Лапласа. Существует формальное сходство движения грунтовых вод при единой водопроницаемости почвы со спокойным электрическим потоком постоянной теплопроводностью, постоянной диффузией. Закономерности движения грунтового потока были проверены многочисленными испытаниями на почвенных и аналоговых моделях.

Два испытания на моделях (в ящике с песком с фронтальной стеклянной стенкой) показали (рис. 5.1) в стационарных условиях (приток — отток) с помощью краски, распределенной по поверхности, радиальные линии грунтового потока от поверхности земли к дрене [5.14]. Эти линии отражают влияние водоиепроницаемого, расположенного под дреной слоя почвы (рис. 5.1, *II*) на ха-

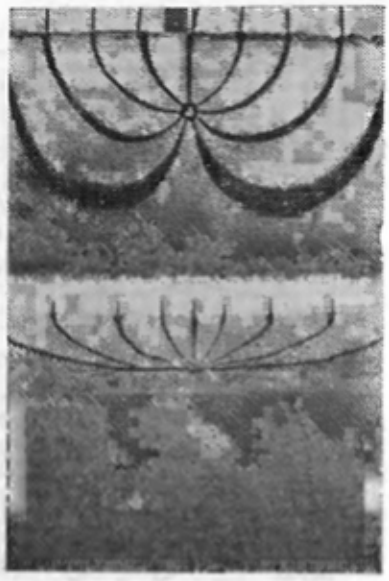


Рис. 5.1. Действие трубчатого дренажа при испытании на моделях в ящике с песком. Линии тока окрашены [5.14]:
вверху — без водонепроницаемого слоя почвы; *внизу* — водонепроницаемый слой на глубине дренирования.

рактер течения. Если такого слоя нет, то вода проходит по нижерасположенным слоям почвы под дреной (рис. 5.1, *I*). Теоретически рассчитанные линии тока графически сопоставлялись с линиями тока, полученными при испытаниях на моделях. Они оказались подобными (рис. 5.2).

При полевых испытаниях на пьезометрах из жесткого поливинилхлорида, установленных на разных расстояниях от дреи и разных глубинах, с помощью электрических мерных зондов определяют напор грунтовых вод в разные сроки.

Числовые значения оцениваются графически для каждого срока измерения и каждого разреза местности. На нижних точках пьезометров указывают напор грунтовых вод в миллиметрах, пересчитанный на условия плоскости измерения, и затем проводят линии равных напоров (линии гидродинамической сетки), соответствующие 25, 50 или 100 мм напора (градиент потенциала). В соответствии с потенциальной теорией линии тока вырисовывают путем подбора их направления, перпендикулярного к эквипотенциальным линиям.

На рисунке 5.3 представлены результаты для гончарного трубчатого дренажа в период после выпадения интенсивных осадков. Гидродинамическая сетка очень напоминает направления потоков, представленных на рисунках 5.1 и 5.2. Трехдневное понижение уровня грунтовых вод примерно на 25 см соответствует пропуск-

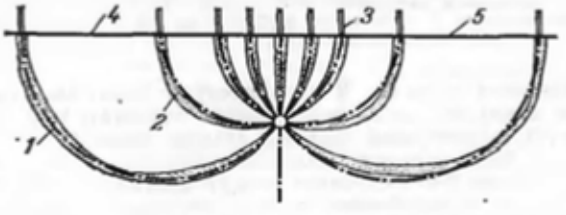


Рис. 5.2. Сравнение расчетных и окрашенных линий тока [5.14]:
1 — теоретические линии тока (круги Аполлона) для $E \to \infty$ и $H = \infty$; *2* — ленты окрашенных линий тока; *3* — сопла с красящим веществом; *4* — поверхность грунтовых вод; *5* — дневная поверхность местности.

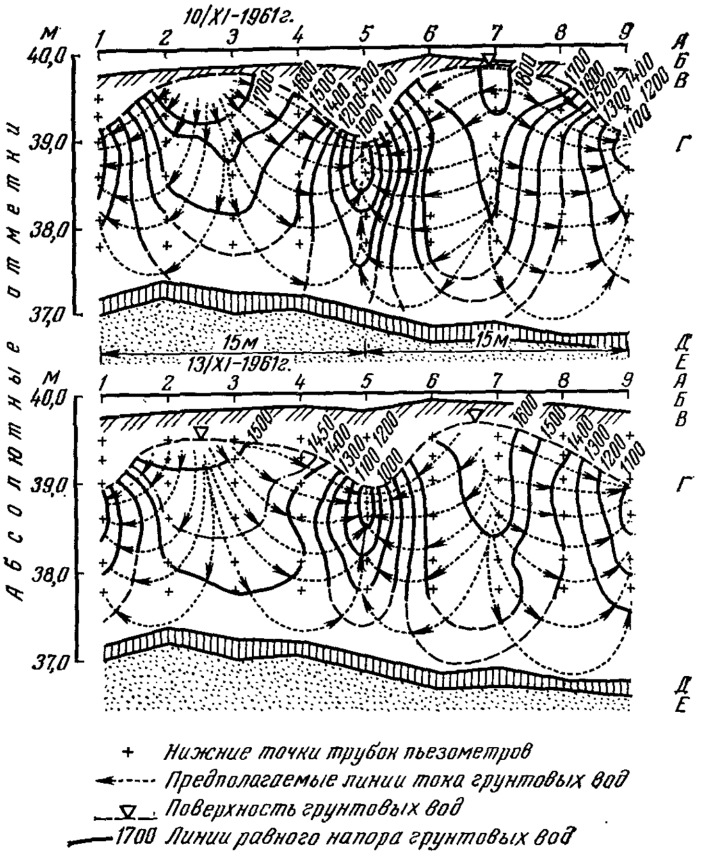


Рис. 5.3. Линии равного напора грунтовых вод и линии тока, полученные в результате пьезометрических измерений между трубчатыми дренами:

А — места проведения измерений; *Б* — плоскость проведения измерений; *В* — дневная поверхность; *Г* — гончарная трубчатая дрена; *Д* — водонепроницаемый слой; *Е* — песчаный подстилающий слой.

ной способности дренажа. В данном случае имеет место неустановившееся движение воды (отток больше притока), что характерно для каждой осушительной системы. Модуль стока (q) = 0,54 *л*/с·га. Влияние глубины залегания водонепроницаемого слоя почвы показано на рисунке 5.4. Расстояния между дренами рассчитаны (см. разд. 6.3) для установившегося тока при единой (высокой) водопроницаемости почвы, напоре грунтовых вод над дреной 0,5 м и слое стока 7 мм/сут. Для бо́льшей наглядности вертикальный масштаб рисунка увеличен в 10 раз.

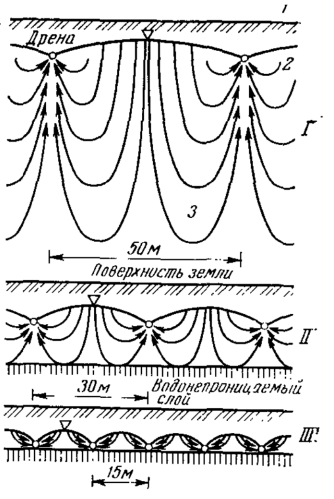


Рис. 5.4. Влияние глубины залегания водонепроницаемого слоя почвы на расстояние между дренами:

I — водонепроницаемого слоя нет; *II* — водонепроницаемый слой на глубине I м ниже дрены; *III* — водонепроницаемый слой на глубине укладки дрены; *1* — поверхность земли; *2* — зеркало грунтовых вод; *3* — линии тока грунтовых вод.

На графике I рисунка 5.4 рассмотрен случай, когда дрены лежат в мощном слое водопроницаемой почвы, например в пойменной почве песчано-гравийной террасы с высоким уровнем грунтовых вод. Водонепроницаемого слоя почвы нет, или он залегает очень глубоко (5 м и более ниже дрены). В данном случае достаточно расстояния между дренами (a) порядка 50 м.

На графике II имеется водоупор грунтовых вод на глубине 1 м ниже дрен. Расстояния между дренами равны 30 м. Если водонепроницаемый слой залегает на глубине расположения дрен (график III), для почв с верховодкой расстояния между дренами сокращаются до 15 м.

5.1.2. Почвы, переувлажненные связанной водой

В почвах, заболоченных связанной водой (плохая водопроницаемость, $k_f<6$ см/сут), трубчатые дрены могут работать только в тех случаях, когда собирающаяся на поверхности избыточная вода быстро просачивается вниз. Для этого засыпка в дренажных траншеях должна быть водопроницаемой в течение эксплуатации дренажа (рис. 5.5).

Работа дрены непосредственно зависит от водопроницаемости расположенной над ней почвы (табл. 5.1).

Таблица 5.1. **Эффективность дрен в зависимости от водопроницаемости почвы**

Водопроницаемость слоя почвы, расположенного выше дна дрен		Эффективность дрен
оценка водопроницаемости	коэффициент фильтрации, см/сут	
Очень малая	Менее 1	Малая до недостаточной
Малая	1—10	Ограниченная
Средняя	10—40	Умеренная
Хорошая	40—100	Хорошая
Очень хорошая	Более 100	Очень хорошая

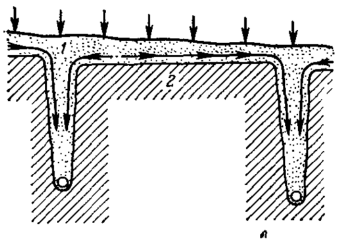


Рис. 5.5. Действие трубчатого дренажа в водопроницаемой почве [5.9]:
1 — водопроницаемый пахотный слой; *2* — водонепроницаемые горизонты.

На таких почвах одного трубчатого дренажа недостаточно; целесообразно применять беструбчатый дренаж в комбинации с трубчатым (см. разд. 4.2), особенно если, исходя из почвенно-мелиоративных условий, не требуется подпочвенная мелиорация (см. разд. 4.3 и 4.4).

Если почвы, заболоченные верховодкой или связанной водой, уже осушены малоэффективным в данном случае трубчатым дренажем, то осушение может быть усилено последующим устройством беструбчатого дренажа (см. разд. 4.2 и 5.2).

5.1.3. Поступление воды в дренажную трубу

При квалифицированном ведении дренажных работ (применение дренажных машин только на высохших почвах) можно рассчитывать на достаточную водопроницаемость засыпки дренажных траншей. Вода поступает в дренажную трубу по радиальным направлениям.

Сопротивление проникновению воды в дренажные трубы зависит от водопроницаемости почвы и размеров водовпускных отверстий труб, соответственно повышается или понижается уровень грунтовых вод у дрены (рис. 5.6).

Если при разработке дренажных траншей трубы засыпают влажной, разрыхленной фрезерным землеройным орудием почвой с монозернистой структурой, которая, согласно большому опыту [5.8, 5.9, 5.21], почти водонепроницаема, то вода, поступающая сбоку или сверху, не проникает или с трудом проникает в дренажные трубы. Эта вода обычно застаивается у стенок дренажных труб (рис. 5.7). Последнее характерно для тонкопесчаных и содержащих много пыли почв, а также для болот с сильно разложившимся торфом. Дренажные фильтры достаточно эффективны только в том случае, если они имеют большой объем. Для повышения эффективности работы всей дренажной системы необходимо траншею засыпать хорошо высушенной почвой.

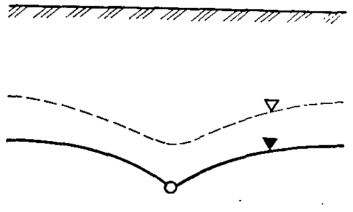


Рис. 5.6. Колебания уровня грунтовых вод в зависимости от сопротивления на вход в дренажную трубу.

Таблица 5.2. **Результаты почвенно-гидрологических полевых исследований дрен, уложенных бестраншейным дреноукладчиком и дреноукладчиком на траншеекопателе с режущим цепным рабочим органом, в пылеватых глинистых грунтах** (марши с уплотненным водонепроницаемым слоем подпочвы)

Полевые измерения	Единица измерения	Способы выполнения дренажа	
		бестраншейный	траншейный
Высота грунтовых вод в середине грядки над дреной	см	63	76
Напор грунтовых вод у дрены	»	14	26
Сопротивление напору	кг/см^2	4—6	1—2
Сопротивление сдвигу	»	Среднее — 0,5	Очень малое — 0,2—0,1
Почвенная влага в пахотном слое	*pF*	Среднее — 3,0—2,5 (влажный)	Очень малое — 2,2—1,4 (мокрый)
Консистенция пахотного слоя		Жесткий пластичный	Мягкий
Состояние пахотного слоя		Удовлетворительное	Среднее

В прежние десятилетия дренажные трубы укладывали вручную и поступление воды в дрены происходило беспрепятственно. При этом вынимаемая при разработке траншей почва в значительной степени сохраняла свою структуру.

В связи с интенсивным применением дренажных машин при неблагоприятных почвенных и погодных условиях и использовании новых типов дренажных труб и фильтров проблема притока воды к дренам стала актуальной и многократно исследовалась на моделях и в полевых условиях [5.8, 5.9, 5.25].

С 1970 г. в ФРГ получили повсеместное, все увеличивающееся распространение бестраншейные дренажные машины (см. разд. 9.3.2), которые, согласно рисунку 9.1, могут широко применяться на почвах самой разнообразной влажности в отличие от траншейных дренажных машин с режущим цепным рабочим орга-

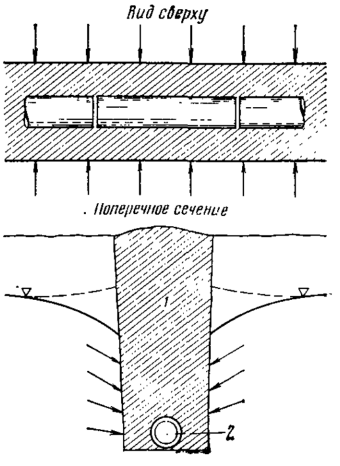


Рис. 5.7. Действие дрены при низкой водопроницаемости засыпки дренажной траншеи [5.9]:
1 — засыпка; *2* — дренажная труба.

ном. Сравнительные почвенно-гидрологические испытания проведены в полевых условиях зимой 1977/78 г. на маршах с уплотненным водонепроницаемым слоем из пылеватой глины. В 1972 г. на соседнем участке с аналогичными условиями производилась укладка дренажа машинами с режущим цепным рабочим органом и бестраншейными дренажными машинами. Результаты испытаний приведены в таблице 5.2.

На этой тяжелой и чувствительной маршевой почве трубчатый дренаж, уложенный бестраншейным способом, имеет лучшую эффективность по сравнению с дренажем, уложенным траншейной дренажной машиной с режущим цепным рабочим органом. Для окончательной оценки обоих способов укладки дренажа отсутствуют данные исследований на других почвах.

Рисунок 9.14 позволяет судить об эффективности бестраншейных дренажных машин с ножом V-образной или Y-образной формы.

Схема притока грунтовых вод к пластмассовым и гончарным дренажным трубам в зависимости от расположения входных отверстий показана на рисунке 5.8.

Водопроницаемость имеющихся в продаже дренажных труб из поливинилхлорида с гофрированными стенками зависит от перфорации труб (рис. 5.9). Чем больше суммарная площадь водовпускных отверстий дренажных труб, тем выше их водопроницаемость.

Согласно таблице 8.4, перфорированные дренажные трубы имеют перфорацию от 1,5% при узких щелях до 3,2% площади поверхности при широких щелях.

Сопротивление поступлению воды в дренажную трубу слагается из радиального сопротивления (см. рис. 6.5), которое дости-

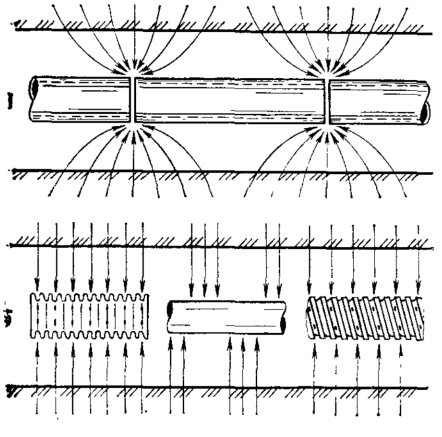


Рис. 5.8. Поступление воды в дренажную гончарную трубу *(А)* и трубу из ПВХ *(Б)*.

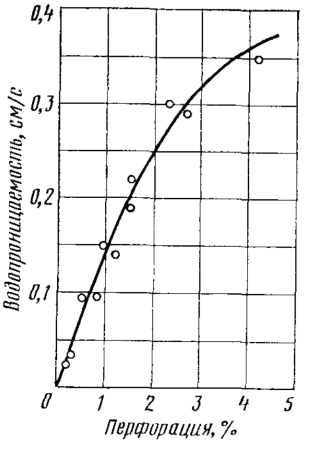


Рис. 5.9. Водопроницаемость гофрированных дренажных труб из ПВХ в зависимости от их перфорации [5.16].

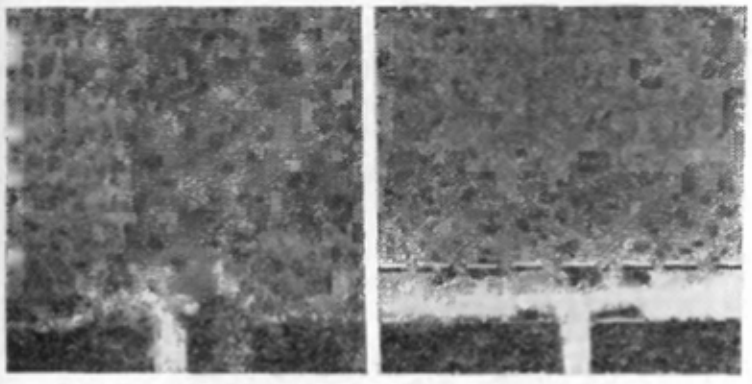


Рис. 5.10. Скопление пылеватых частиц (*светлые места на рисунке*) у стенок дренажных труб (*увеличено в 5 раз*) [5.29].

гает максимума вблизи трубы, и сопротивления самой трубы. Последнее зависит прежде всего от числа рядов щелей в ПВХ-трубах и от зазоров в стыках гончарных труб. Сопротивление на вход в значительной степени зависит от формы водовпускных отверстий. При равной суммарной водовпускной площади сопротивление тем меньше, чем чаще и равномернее расположены отверстия на поверхности стенок трубы.

Определяемая свойствами почвы область входа воды в дренажную трубу представляет собой радиальную зону с радиусом, равным 2—4 радиусам трубы.

Гончарные трубы по сравнению с пластмассовыми равного диаметра с щелевыми или перфорированными круглыми отверстиями оказывают значительно большее сопротивление на вход в них дренажных вод [5.29].

Скорость течения воды, поступающей в трубчатые дрены, возрастает вблизи водовпускных отверстий, причем по краям водовпускных отверстий сильнее, чем посередине. Поэтому в минеральных почвах с неустойчивой структурой возможно интенсивное заиление полости дрен мельчайшими частицами.

В почвах с достаточно устойчивой структурой в результате быстро проходящего первичного заиления дрен образуется вокруг или вблизи трубы естественный почвенный фильтр за счет сортировки почвенных частиц по их гранулометрическому составу (рис. 5.10, *слева*). На почвах с неустойчивой структурой (мелкий песок, пыль) накопление мелких частиц (вторичное заиление) представляет большую опасность. В данном случае рекомендуется устраивать дренажные фильтры (см. разд. 8.3).

В результате выноса из почвы мельчайших частиц сопротивление на вход воды в дренажные трубы значительно уменьшается [5.29]. Хотя вынос мелких частиц из почвы и создает в ней пустоты, проникновение этих частиц в водовпускные отверстия дренажной трубы может частично или полностью их блокировать,

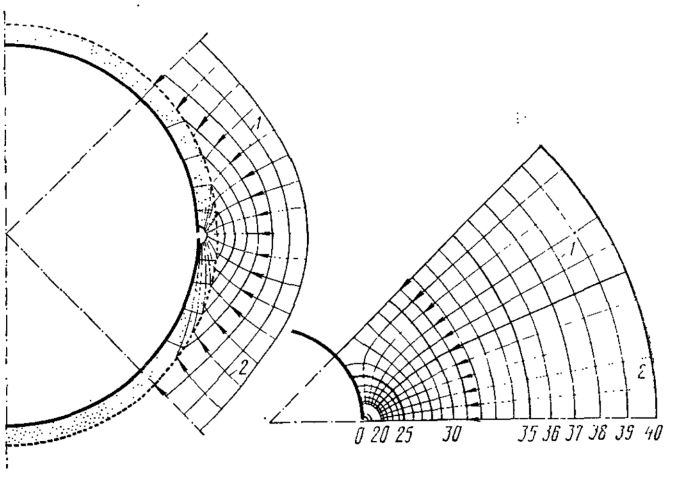


Рис. 5.11. Линия равного напора *(1)* и линии тока *(2)* воды к дренажной трубе с дренажным фильтром (*левый график*) и без фильтра *(правый график)* [5.25].

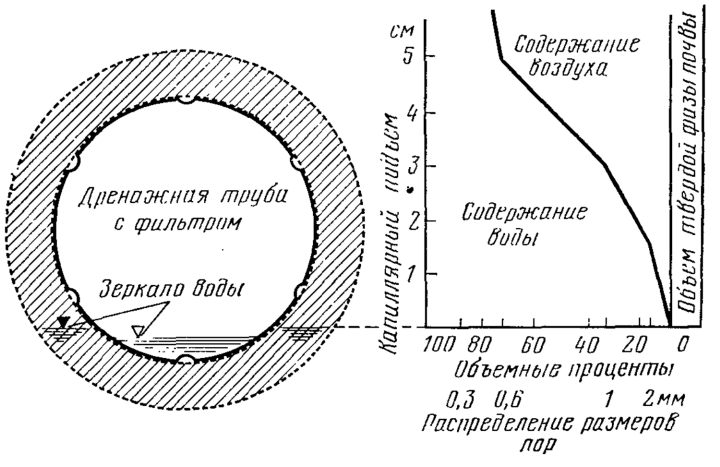


Рис. 5.12. Содержание воды и воздуха в дренажном фильтре из кокосового волокна при частичном заполнении водой дренажной трубы [5.7].

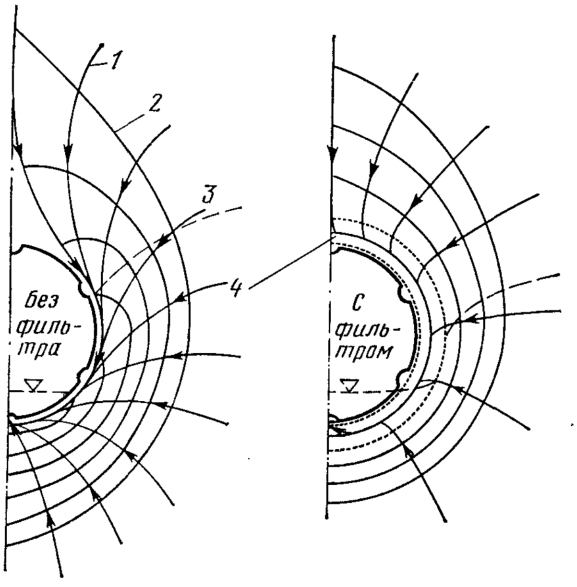


Рис. 5.13. Линии равного напора и линии тока воды при частичном заполнении дренажной трубы с дренажным фильтром и без него [5.7]:
1 — линия тока воды; *2* — линия равного напора воды; *3* — уровень грунтовых вод; *4* — фильтр.

вследствие чего возрастает сопротивление их на вход воды. Этому препятствуют дренажные фильтры (рис. 5.10, *справа*).

Расчеты показали, что при толщине фильтров более 5 мм не наблюдается значительного сокращения сопротивления на вход в дрену [5.22]. Эта величина из практических соображений не должна приниматься меньше. Дренажный фильтр имеет значительно больший суммарный объем пор по сравнению с минеральными почвами. В дренажном фильтре сокращается скорость течения и влекущая сила воды [5.7], приток воды к трубе облегчается, так как он не концентрируется, как при «голой» дренажной трубе из ПВХ, у входных отверстий площадью 10—20 см²/пог. м, а рассредоточен на поверхности пор фильтра площадью свыше 1600 см²/пог. м (рис. 5.11).

Важным является установление доли крупных пор (более 50 мкм) дренажного фильтра. У обычных дренажных фильтров эта величина во много раз больше, чем у минеральных почв (см. рис. 8.13). В ящичной модели для лабораторных исследований дрены создаются условия ее работы при частном заполнении, что соответствует наиболее частым случаям эксплуатации дренажа — свободному урезу воды в дренажном фильтре и дренажной трубе. В крупнопористом дренажном фильтре создаются условия отношения содержания воды к воздуху, отличные от аналогичных отношений в почве (рис. 5.12).

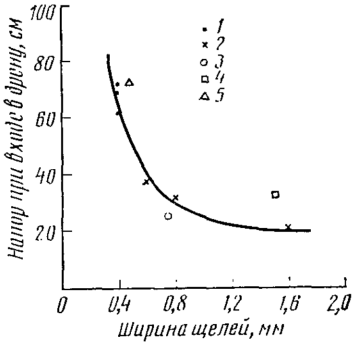


Рис. 5.14. Результаты измерения в полевых условиях сопротивления на вход в дрены при разной ширине водопропускных отверстий (щелей):

1 — пластмассовые трубы с продольными щелями; *2* — пластмассовые трубы с поперечными щелями; *3* — пластмассовые гофрированные трубы; *4* — дренажные гончарные трубы, уложенные вручную; *5* — дренажные гончарные трубы, уложенные машиной на ленточную подкладку.

Дренажные фильтры имеют значительно большую водопроницаемость по сравнению с почвой (см. разд. 2.3 и 8.3). Поэтому вода в дренажном фильтре течет к водовпускному отверстию дренажной трубы с меньшими потерями напора по сравнению с дренажной трубой без фильтра.

При работе дренажной трубы полным сечением вода в дренажный фильтр поступает интенсивнее, чем при незаполненной дренажной трубе (рис. 5.13). Вода поступает в зависимости от степени заполнения снизу или с боков трубы. При незаполненной дренажной трубе линии тока концентрируются перед водовпускными отверстиями, менее заполненными водой, благодаря чему возникают дополнительные потери напора.

Два критерия определяют эффективность работы дренажных фильтров:

— суммарный объем пор;

— распределение объема пор в почве и дренажном фильтре.

Сопротивление на вход воды при прочих равных условиях уменьшается и с увеличением диаметра дренажных труб. Однако увеличение диаметра вдвое обусловливает уменьшение сопротивления на вход лишь на 5—15% [5.20], что для практики по экономическим соображениям не имеет значения.

Измерения в полевых условиях на пьезометрах, установленных на трубчатых дренах самых разнообразных конструкций, показали значительное снижение напора в дрене с увеличением входных отверстий (рис. 5.14). Пьезометрический метод пригоден для выяснения в практических условиях причин и последствий недостаточной эффективности дренажа [5.8, 5.9].

Многочисленные новые исследования притока воды к дрене и условий ее поступления в дренажную трубу послужили основой для разработки следующих рекомендаций:

— дренажные машины с фрезерными землеройными рабочими органами, согласно стандарту ФРГ, нельзя применять на влажных почвах с неустойчивой структурой;

— сопротивление на вход воды в гофрированные дренажные трубы из ПВХ меньше, чем в гончарные трубы;

— ширина входных отверстий для поступления воды в дренажные трубы из ПВХ меньше, чем в гончарные трубы;

— ширина входных отверстий для поступления воды в дренажные трубы, согласно стандарту ФРГ, DIN 1187, должна составлять для гофрированных дренажных труб из ПВХ 0,8 мм и более, для гончарных дренажных труб (щели) 1,5 мм и более;

— вынос мелкозема из почвы уменьшает, а его проникновение в отверстия дренажных труб увеличивает сопротивление на вход воды;

— увеличение диаметра дренажных труб несущественно уменьшает сопротивление на вход в них воды;

— объемные дренажные фильтры на дренажных трубах, работающих полным сечением, повышают водопропускную способность дрен;

— в дренажном фильтре сокращается влекущая сила воды, за счет чего уменьшается опасность заиления дренажных труб.

5.2. БЕСТРУБЧАТЫЙ ДРЕНАЖ

При выполнении беструбчатого дренажа в почвах, заболоченных связанной водой, согласно правилам, т. е. при сухом состоянии почвы, одновременно происходит рыхление плотно слежавшихся слоев. Корневая система растений способствует дальнейшему процессу биологического рыхления и в некоторых случаях оструктуриванию почвы [5.3].

Частицы грунта, обрушивающиеся со свода земляной дрены на ее дно, обусловливают повышение его поверхности, поэтому кротовая дрена постепенно смещается вверх (рис. 5.15), а ее диаметр уменьшается [4.7].

В минеральных почвах сроки действия земляных дрен 5—10 лет при содержании глины более 30% и отношении глины к песку более 0,5. В Чехословакии сроки службы беструбчатого дренажа определяют по устойчивости почвенных агрегатов путем сухого или мокрого ситового анализа [5.26].

Для болотных почв принимаются значения в зависимости от естественной плотности почв (табл. 5.3).

Исследования беструбчатого (кротового) дренажа в Австрии показали его гидрологическую эффективность (рис. 5.16).

Наряду с осадками и стоком в тонких пьезометрах на глубинах 15, 35, 55 и 100 см измерялся напор воды. Замеренный в пьезометрах после выпадения интенсивных летних дождей напор отражает типичное участие застойных вод, которые обычно в плотных почвах движутся по трещинам и другим ходам к земляным дренам и по ним через коллекторы стекают в водоприемник [4.7].

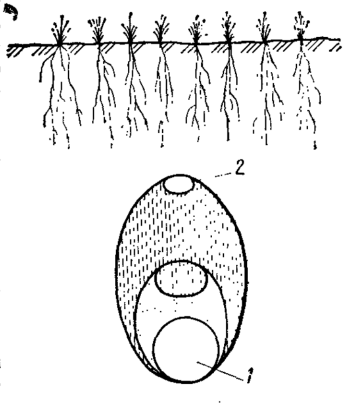


Рис. 5.15. Изменение сечения кротовой дрены вследствие переотложения почвы [4.6]:

1 — первоначальное сечение кротовой дрены; *2* — кротовая дрена через 10 лет.

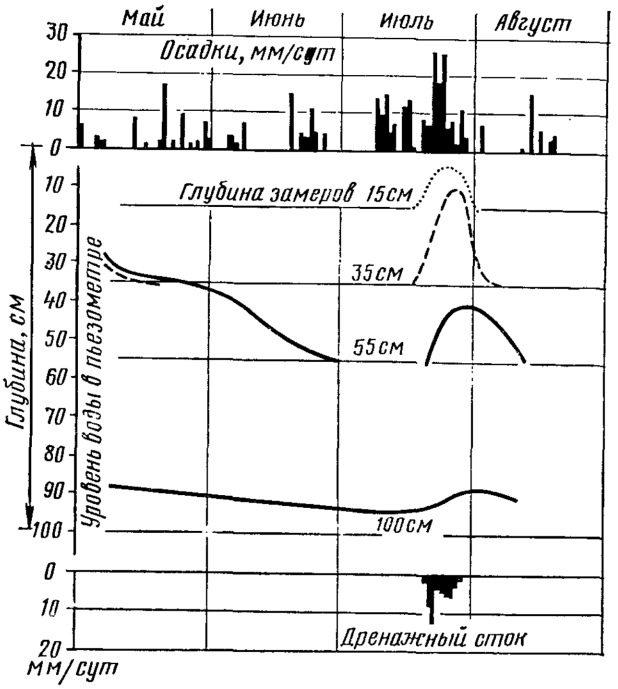


Рис. 5.16. Атмосферные осадки, верховодка и дренажный сток при комбинированном дренаже [4.7].

Подпочвенная эрозия по кротовым дренам составляла на тяжелосуглинистых псевдоглеях около 30—50 кг/га, т. е. была незначительной. Интенсивная плоскостная эрозия на поверхности почвы при уклоне 5% приостановилась в результате устройства комбинированного дренажа. На баварских опытных дренажных

Таблица 5.3. **Срок эксплуатации беструбчатого дренажа в болотных почвах** [7.3]

Относительная плотность торфа	Заключение о предварительном осушении (на местности)	Срок эксплуатации, годы
Плотный	Интенсивное многолетнее	Более 8
Сравнительно плотный	Хорошее — умеренное	5—8
Сравнительно рыхлый	Умеренное — незначительное	3—5
Рыхлый	Очень слабое	3—1
Почти плавающий	Никакого	Менее 1

полях в Оттенхофене и Эллингене получены аналогичные результаты; модуль стока в незначительной степени зависел от расстояний между трубчатыми дренами (10—80 м) с траншейными фильтрами [5.23]. Аналогичные результаты получены и в Югославии.

5.3. ГЛУБОКОЕ РЫХЛЕНИЕ

Различают две фазы рыхления плотной сухой почвы: механическое (первичное) и следующее за ним биологическое (вторичное). При этом объем пор в зоне рыхления бывает различен и зависит от положения ножа или рыхлящего лемеха, типа орудия и свойств почвы [4.15].

Рост корней в разрыхленной почве по сравнению с уплотненной более интенсивен в ширину и особенно в глубину. Это стабилизирует эффект механического рыхления (рис. 5.17). Эффект рыхления зависит также от гранулометрического состава и химических свойств почвы. При увеличении общего объема пор (*GPV*) прежде всего должен быть увеличен объем крупных пор (P_0). В результате рыхления повышается их водопоглощающая способность. Достигнутое увеличение объема крупных пор утрачивается при обводнении почвы. Устойчивый результат получают лишь при быстром отведении избыточной воды с помощью трубчатого дренажа и коагуляции почвенных коллоидов в результате интенсивного известкования. Рыхление почв с большим количеством пыли безуспешно или даже вредно, потому что уничтожаются маленькие естественные поры. На песчаных почвах глубокое рыхление не применяют* (табл. 5.4).

Таблица 5.4. **Взаимозависимость между разновидностью почвы, свойствами ее структуры и дополнительной потребностью в дренаже при глубоком рыхлении** [5,19]

Разновидность почвы	Изменение свойств структуры	Дополнительная потребность в дренаже
Песок	$(+)P_0=(+)$ *GPV*	—
Суглинок	$+P_0>+$ *GPV*	(—)
Глина	$+P_0<+$ *GPV*	+
Ил	$-P_0>-$ *GPV*	(+)

Переход некапиллярной порозности в капиллярную после глубокого рыхления происходит обычно медленно и в редких случаях внезапно, например после интенсивного выпадения атмосферных осадков, неправильной обработки почвы или проезда по ее поверхности транспортных средств в неподходящее время.

* Глубокое безотвальное рыхление песчаных почв может оказаться эффективным при близком залегании ожелезненных грунтовых вод, вызывающих образование плотных сцементированных гидроокисью железа ортзандовых или рудяковых горизонтов в поверхностных слоях профиля мощностью 0,7—0,8 м. — **Прим. ред.**

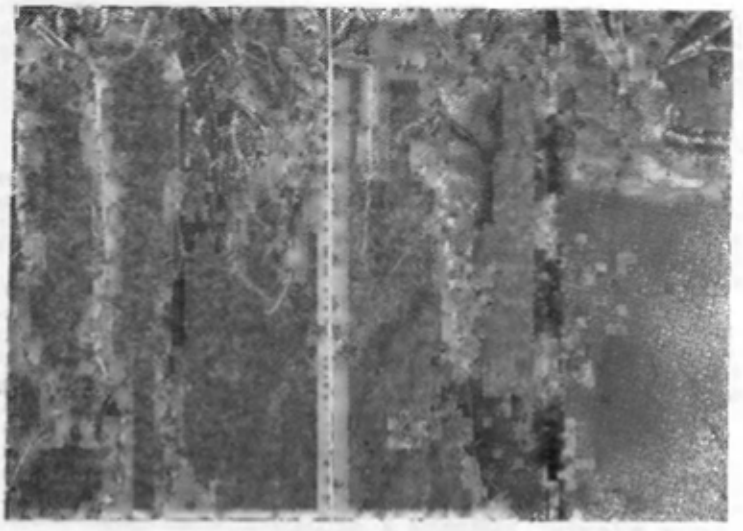


Рис. 5.17. Корневая система клевера красного и сахарной свеклы в разрыхленном и неразрыхленном псевдоглее [4.15].

При сельскохозяйственном использовании почв, в частности при интенсивном возделывании промежуточных культур и растений с глубокой корневой системой, структура сохраняется в течение 8—12 лет [4.15].

В подвергнутый глубокому рыхлению почвенный профиль атмосферные осадки просачиваются быстро и стекают по дну борозды вниз по уклону, где они перехватываются трубчатыми или ловчими дренами. Аккумулирующая способность почвы увеличивается. Культурные растения развивают более глубокую корневую систему и обеспечиваются влагой лучше, чем до рыхления.

Глубокое рыхление и беструбчатый (кротовый) дренаж характеризуются примерно одинаковым эффектом. При использовании дренажного плуга в настоящее время достигается заметное рыхление почвы. Основное различие заключается в расстоянии между бороздами рыхления (0,75 м) и земляными дренами (2—3 м) и в их осушающем действии.

При среднегодовых осадках более 600 мм требуется дополнительный дренаж. Лучшим решением в данном случае является комбинированный дренаж (трубчатый+беструбчатый).

5.4. ГЛУБОКАЯ ВСПАШКА

5.4.1. Глубокая вспашка болотных почв

Глубокая вспашка проведена на верховых и переходных болотах с незначительной глубиной торфяного слоя, а также на заболоченных землях северо-западной части ФРГ на площади более 180 тыс. га [9.5].

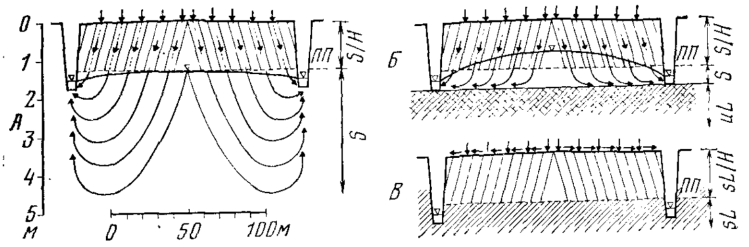


Рис. 5.18. Линии тока грунтовых вод и верховодки при глубокой вспашке [5.10]:

А — почвы грунтового питания; *Б* — почвы с верховодкой; *В* — почвы со связанной водой; *ПП* — плужная подошва; *S* — песок; *Н* — гумусированный горизонт или торф; *sL* — суглинок песчанистый; *uL* — суглинок пылеватый.

Глубокая вспашка может быть применена на мелких болотах, если подпочва имеет песчаный гранулометрический состав. В отличие от голландской феновой культуры, характеризующейся горизонтальным пескованием, такая вспашка называется немецкой смешанно-песчаной культурой. Она заключается в подъеме на поверхность песка, подстилающего торфяную толщу.

Смешанно-песчаная культура (наклонно-слоистая глубокая вспашка) (см. рис. 4.8 и 4.9) имеет следующие преимущества по сравнению с другими типами культуры болот [4.1, 4.10, 5.1, 5.10]:

— образующиеся песчаные блоки обладают дренирующим действием;

— в торфяных блоках накапливается вода;

— корни глубоко проникают в песчаные блоки;

— благодаря улучшению микроклимата увеличивается вегетационный период и уменьшается опасность ночных заморозков;

— возможность возделывания разных культур;

— хорошая водо- и воздухопроницаемость.

Самые ранние смешанно-песчаные культуры относятся к 1936—1938 гг. (государственное имение Кенигсмоор возле Тостедта, Ганновер). Эти участки, как и многие другие участки раннего освоения в бассейне р. Эмс, превратились в плодородные культурные земли. Содержание гумуса в пахотном слое вновь созданных почв такое же, как в дерновых почвах столетнего возраста [4.10]. Следовательно, смешанно-песчаную культуру торфяных болот и заболоченных минеральных почв, подстилаемых песками, можно рассматривать как установившийся тип болотных культур с длительным сроком эксплуатации.

По гидрологической эффективности в северо-западной части ФРГ [5.10] в зависимости от положения грунтовых вод и свойств минеральной подпочвы различают смешанно-песчаную культуру (рис. 5.18) при заболачивании грунтовой водой, верховодкой и связанной водой.

5.4.1.1. СМЕШАННО-ПЕСЧАНАЯ КУЛЬТУРА ПРИ ЗАБОЛАЧИВАНИИ ГРУНТОВОЙ ВОДОЙ

Это смешанно-песчаная культура верхового болота* с малой мощностью торфа, залегающего на глубоком песке, при нормальном объемном соотношении торфа и песка в зоне глубокой вспашки (от 2 : 1 до 1 : 2). В зависимости от глубины залегания и водопроницаемости песка для осушения достаточно предусмотреть внутри водосбора открытые каналы на расстоянии 80—250 м друг от друга (см. рис. 5.18, *А*).

5.4.1.2. СМЕШАННО-ПЕСЧАНАЯ КУЛЬТУРА ПРИ ЗАБОЛАЧИВАНИИ ВЕРХОВОДКОЙ

При этом типе культуры (см. рис. 5.18, *Б*) на высоте дна канала находятся пылеватые суглинки (которые могут включать также щебень или гальку), играющие роль водоупора. Над ними располагаются покрывающий слой песка и мелкий слой торфа верхового болота, которые подвергаются вспашке.

Гидрологическая эффективность культуры зависит от глубины расположения подошвы водоупора верховодки. Для осушения площадей необходим дополнительный трубчатый дренаж.

5.4.1.3. СМЕШАННО-ПЕСЧАНАЯ КУЛЬТУРА ПРИ ЗАБОЛАЧИВАНИИ СВЯЗАННОЙ ВОДОЙ

Если глубокая вспашка проводится на торфяном болоте, подстилаемом суглинками и глинами, то возникает (см. рис. 5.18, *В*) так называемый смешанно-песчаный тип культуры со связанной водой. Такие почвы обладают плохой водопроницаемостью, потому что в них нет дренирующих песчаных блоков. В результате наблюдается интенсивное переувлажнение связанной водой.

Даже очень часто уложенный трубчатый дренаж не оказывает удовлетворительного действия. Поэтому болота с неглубоким слоем торфа, подстилаемые суглинком, нецелесообразно подвергать глубокой вспашке.

Следует отметить, что применение глубокой вспашки на низинном болоте до сих пор не приносило заметного успеха.

Новейшие испытания показывают, что в результате глубокой вспашки с поверхностным пескованием почвы пригодны для выращивания растений, требующих в дальнейшем обычной вспашки, если:

— образующийся пахотный слой не содержит торфа;

— толща почвы, затронутая глубокой обработкой, находится вне пределов колебания грунтовых вод.

---

* Имеются в виду верховые (и переходные) болота, формирующиеся в зоне близкого залегания неминерализованных пресных и ультрапресных грунтовых вод. — **Прим. ред.**

5.4.2. Глубокая вспашка минеральных почв

Минеральные почвы до последнего времени подвергались глубокой вспашке только в опытном порядке. При этом были получены для разных почв, погодных и прочих условий различные результаты [4.9].

На парабуроземах, образовавшихся на лёссе и обеспечивающих урожайность порядка 50 ц/га зерновых эквивалентов, незначительное устойчивое увеличение урожайности за счет глубокой вспашки достигается не всегда. Однако глубокая вспашка может улучшить гидрологические условия почвы [4.13].

Глубокая вспашка на пойменных суглинистых почвах, залегающих на известковых песках (глубина вспашки 1,5 м) в зоне низких уровней грунтовых вод, успешно применяется на низинном болоте в Гессене [5.24]. Путем осуществления общей мелиорации (осушение +глубокая вспашка) малоценные сенокосы были превращены в высокопродуктивные пахотные земли [5.24]. В опытах с глубокой вспашкой на маршевых почвах в большинстве случаев получены отрицательные результаты [7.12].

5.5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЧВ

В прошлые десятилетия дренаж применяли с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур. В многочисленных опытах с дренажем изменчивые почвенные условия на малых участках учитывались не полностью [5.2], потому что еще не были известны современная техника проведения испытаний и статистические методы расчета ошибок. Даже новейшие данные, полученные на современных опытных дренажных полях, например в Инфельде, не были подвергнуты вариационному анализу [5.12].

В настоящее время после дренажа на первом плане стоит механизация сельскохозяйственных работ, от которой часто решающим образом зависит успех землепользования (см. разд. 1.6) [5.30]. Обычно сравнивают продуктивность угодий до мелиорации (сенокосов и пастбищ) с продуктивностью угодий после мелиорации (пахотные земли). Различия чаще всего статистически высокодостоверны.

5.5.1. Трубчатый дренаж

Согласно старым литературным данным, продуктивность дренированных пахотных земель, сенокосов и пастбищ превышает продуктивность недренированных угодий на 20—120%, а в среднем на 30—55%.

На опытном дренажном поле Инфельд (заболоченная засоленная низменность на морском побережье, маршевые почвы, тонкопесчаная пылеватая глина) за десятилетний период получено статистически высокодостоверное повышение продуктивности порядка 50% в результате дренажа (урожайность возросла с 34 до 49 ц/га зерновых эквивалентов) [5.12].

Для псевдоглея на пылеватом суглинке (Нижняя Австрия) прибавка урожая благодаря дренажу превысила 100% [5.27]. По многолетним данным, повышение урожайности на маршах за счет дре-

нажа составляло в сырые годы 40%. В сухие годы дренаж давал незначительный эффект* [7.12]

В очень влажном регионе Великобритании на дренированных площадях получали на 50% бо́льшие и обеспеченные урожаи по сравнению с недренированными площадями.

В среднем можно ожидать повышения урожаев с 1 га зерна на 5—7 ц, а карто́феля на 60 ц, корней сахарной или кормовой свеклы примерно на 100 ц, что полностью оправдывает затраты на устройство дренажа при условии его устойчивого действия в течение 15 лет и более.

5.5.2. Беструбчатый дренаж

В результате применения беструбчатого дренажа урожайность возрастает на 20—100% и более. В пятилетних опытах на четырех опытных участках прибавки урожая находились в пределах 15—39% [4.7, 5.23, 5.27, 7.24]. Затраты на устройство беструбчатого дренажа значительно ниже затрат на устройство трубчатого (см. табл. 4.1).

5.5.3. Глубокое рыхление

На суглинистых псевдоглеях, подвергнутых глубокому рыхлению, повышение урожайности составляет от 4 до 37%, а в среднем 10%. Однако при последующей неправильной обработке почвы или при недостаточном дренировании возможно снижение урожайности [4.15].

5.5.4. Глубокая вспашка

Имеются многочисленные данные по урожайности сельскохозяйственных растений при разных типах культуры болот [5.1]. На пахотных землях, созданных при смешанно-песчаной культуре верховых болот, урожайность возрастает на 30—100%, а при той же культуре низинных болот с поверхностным пескованием — на 30—80%. На сенокосах и пастбищах улучшается качество травы и повышается устойчивость угодий к выпасу скота.

---

* Кроме погодных условий, особое значение при оценке эффективности дренажа и абсолютных прибавок урожая в результате мелиорации имеет исходная степень заболоченности почв, образующих эти типы (псевдоглей, маршевые почвы и др.). В частности, для почв типа псевдоглей необходимость такого анализа была убедительно показана в условиях ФРГ в работе Arens R., Kramer F., Langner Ch. «Über die Bodenstruktur der Wasserhaushalt und Ertragsfähigkeit von Pseudogleyen und gleyartigen Braunerden». *Z. Acker- u. Pflanzenbau,* 1958, Bd. 107, H. 1. Значение такого подхода при экологической и экономической оценке эффективности дренажа в СССР освещено в литературе. (Ф. Р. Зайдельман: «Мелиорация заболоченных почв Нечерноземной зоны РСФСР». М., «Колос», 1981. — **Прим. ред.**

Сравнительные данные для глубокой вспашки при смешанно-песчаной культуре пустошей здесь не приводятся, хотя эти результаты обычно хорошие.

Глубокая вспашка минеральных почв проводилась в виде единичных опытов преимущественно на лёссовых парабуроземах, и результаты оказались противоречивыми. Максимальное повышение урожайности при такой культуре достигало 25%, но наблюдалось также и снижение ее.

На оподзоленных буроземах, подзолисто-глеевых и песчанисто-глеевых почвах на 12 полевых опытных участках было зарегистрировано повышение урожайности от 5 до 28%, а в сухие годы свыше 50% [5.13].

Успешной оказалась глубокая вспашка на суглинках, подстилаемых песками, с помощью которой малопродуктивные сенокосы и пастбища были превращены в плодородные пахотные земли.

5.6. ОТЛОЖЕНИЕ ОХРЫ В ДРЕНАХ

5.6.1. Как это происходит?

В процессе отложения охры в дренах различают химическое и биологическое окисление двухвалентного железа (Fe^{++}).

Химическое окисление протекает в три стадии [2.8]:

— окисление двухвалентных (восстановленных) соединений железа;

— выпадение в осадок нерастворимой коллоидной гидроокиси железа (охры);

— старение и дегидратация с образованием устойчивых форм окисей железа.

Если окисление происходит при высоких значениях pH, например в почве со свободной известью, то наблюдается выпадение и закрепление осадка гидроокиси железа, особенно при медленном течении воды. Стабильная окись Fe^{+++} выпадает в виде тонкой пленки, оболочки или корки, а также в виде почвенных конкреций. Чем больше кислорода и свободной извести в почве и в почвенном растворе и чем выше температура, тем интенсивнее химическое окисление двухвалентного железа.

Биологическое окисление происходит в результате жизнедеятельности железобактерий. В настоящее время известно 42 вида организмов, принадлежащих к 17 родам, которые могут окислять двухвалентное железо. Они характеризуются широким экологическим спектром и могут существовать при разных условиях.

В охре дренажного ила встречаются преимущественно железобактерии *Leptothrix ochracea* и *Gallionella ferruginea*. Их требования к местообитанию: наличие растворенных двухвалентного железа и угольной кислоты, pH в интервале 5,4—7,0, наличие кислорода в воздухе или воде, оптимальные пределы температуры от 1 до 5 °С. Биологическое окисление происходит преимущественно весной и осенью, летом преобладает химическое окисление.

Железобактерии усваивают углерод преимущественно из бикарбоната железа, содержащегося в грунтовых водах. Вследствие этого происходит выпадение гидроокиси железа (заохривание). Высвобождающаяся энергия окисления обусловливает восстановление CO_2 при хемосинтезе (так называемая автотрофия).

Под микроскопом железобактерии представляют собой нитеобразные разветвленные образования. Отдельные клетки микробов находятся под общей оболочкой, в которой инкрустировано особенно много железа.

Часто химическое и биологическое заохривание стенок труб происходит одновременно или в непрерывной последовательности.

Заохривание труб, обусловленное преимущественно свойствами почвы, на 3—5-й год существенно уменьшается. Заохривание, обусловленное грунтовыми водами, происходит постоянно, хотя с разной интенсивностью.

5.6.2. Связывание железистой охры

На эффективность дренажа сильно влияет выпадение охры в дренажных трубах. Наблюдения в процессе эксплуатации дренажа показывают, что гончарные трубы закупориваются охрой в значительно меньшей степени, чем дренажные трубы из полимерных материалов. Отличие между разными видами пластмасс оказалось бо́льшим, чем разница между видами глины, используемой для изготовления гончарных дрен [2.8].

Для пяти видов пластмасс по сравнению с обожженной гончарной глиной установлена несколько бо́льшая сцепляемость с суспензией железистой охры [2.8]. Играют роль вспомогательные материалы, такие, как эмульгаторы, стабилизаторы, вещества, придающие гладкость и скользкость поверхности, катализаторы, с одной стороны, и химические свойства поверхности труб, обусловленные экструзионным способом их производства, с другой.

Все измерения адгезии показывают, что выпадение охры следует рассматривать преимущественно как физическую проблему, потому что степень заохривания прежде всего зависит от напряжения граничных плоскостей (исследования проводятся в лабораторных и полевых условиях). Кроме того, выпадение охры зависит от параметров водовпускных отверстий дренажных труб.

5.6.3. Отложение охры в дренажных фильтрах

В противоположность широко распространенному мнению следует отметить, что, как и дрены, дренажные фильтры быстро кольматируются железистой охрой и поэтому выходят из строя. Данное явление особенно характерно для синтетических фильтрующих материалов. В связи с опасностью отложения охры следует отказаться от дренажного фильтра или же выбрать органические фильтрующие материалы, обладающие свойством регенерации своей фильтрационной способности (торф, солома и т. п.).

Пятилетние испытания дрен с фильтрами из разных материалов показали, что использование в качестве фильтра стружек практически исключает быстро возрастающее заохривание, особенно в первые годы эксплуатации дренажа [5.11]. Для почв, не имеющих водного питания за счет притока воды извне, этот срок оказывается достаточным, так как заохривание, обусловленное особенностями почвы, за этот период прекращается. Дренажный фильтр из опилок (в данном случае 90% основных стружек и 10% стружек лиственных пород деревьев) существенно сокращает сопротивление

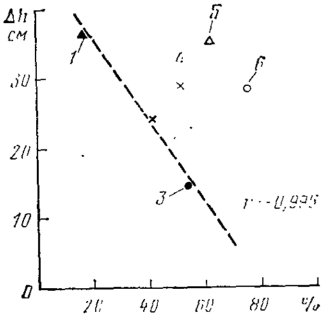


Рис. 5.19. Корреляция сопротивления на вход воды в дрену при свободных водовыпускных отверстиях дренажных труб из ПВХ [5.11]:

1 — без фильтра; *2* — солома; *3* — стружка; *4* — стекловолокно; *5* — филтан; *6* — дуб

на вход воды в дрену. В то же время при использовании других дренажных фильтров (стекловолокно, дуб) заклеенные охрой отверстия в трубе значительно повышают сопротивление на вход в нее дренажных вод (рис. 5.19). Как при дренажной трубе с полным фильтром (по всему ее периметру) «ант-ок» (см. разд. 8.4), дубильные вещества, содержащиеся в опилках, предотвращают заохривание дрен за счет возникновения комплексообразующих веществ и (или) реакции восстановления.

Дренажные воды в начальной фазе имеют сине-черную (чернильную) окраску. Они характеризуются высоким содержанием фенолов.

Биоценоз вод в данном случае находится в меньшей опасности по сравнению с использованием труб «ант-ок», на применение которых, согласно водному законодательству, надо испрашивать разрешение. Дренажные фильтры, содержащие медь, задерживают, особенно в первые годы, заохривание дрен [2.8].

5.6.4. Заохривание дрен и самоочистка

Последние исследования показали, что сила сцепления выпадающей железистой охры со стенками дренажной трубы во много раз больше силы потока, т. е. самоочистки дренажной трубы практически не происходит. Например, во всасывающих трубчатых дренах и небольших трубчатых коллекторах при частичном заполнении поперечного сечения и уклоне менее 5% не наблюдается даже частичной самоочистки дрен. На почвах, стимулирующих заохривание, следует предусматривать промывку дрен с первого года эксплуатации дренажа.

5.6.5. Современные данные о заохривании дрен

Данные о заохривании дрен сводятся к следующему [2.8]:

— заохривание дрен зависит от почвенных условий и свойств грунтовых вод, которые могут сильно колебаться в пределах одного осушаемого участка;

— опасность заохривания обычно переоценивают. Она существует обычно лишь на 5—10% площади, нуждающейся в дренаже;

— заохривание дрен преимущественно физическая, а не химическая проблема. Она зависит прежде всего от поверхностного натяжения на границе раздела фаз. Заохриваются как гончарные, так и пластмассовые трубы;

— опасность заохривания дрен может быть исключена или уменьшена путем применения органических (содержащих дубиль-

ные вещества) фильтрующих материалов, однако биоценоз водоприемников при незначительных уклонах (расходах воды) может подвергаться опасности;

— новейшие исследования показывают, что при уклоне менее 5% влекущая сила водного потока недостаточна для самоочистки дрен;

— известкование засыпки дренажной траншеи может временно связать железо, т. е. заохривание будет происходить в более поздние сроки. Существует опасность разрушения структуры почвы вследствие отложения железа в ее порах;

— устья дрен, располагаемые под водой, оказались нецелесообразными, потому что они забиваются песком, а заохривание не уменьшается;

— эффективным мероприятием является промывка дрен. Ее следует начинать сравнительно рано (в первый год эксплуатации дренажа) и периодически повторять. Проведение промывки дренажа требует больших затрат времени, работы и средств. В областях с повышенной опасностью отложения охры следует предусматривать устройство одиночных ловчих дрен (см. разд. 7.2.6 и 10.4.3).

5.7. ИСПЫТАНИЯ ДРЕН

Практик должен быть знаком с основами исследовательской работы, чтобы быстро оценить достоинства нововведений, рекомендаций или новых материалов, предлагаемых, например, промышленностью. Раньше требовались годы, чтобы сделать заключение о рентабельности нововведения. Часто нужно было собирать сведения из разных мест, различающихся топографией, почвенным покровом, свойствами воды, способами выполнения дренажных работ, характером сельскохозяйственного использования земли.

Новые дренажные материалы и методы устройства дренажа необходимо тщательно испытывать и проверять перед началом работ в широком масштабе. Испытания можно проводить в лаборатории, дренажном ящике или в полевых условиях.

5.7.1. Лабораторные испытания

Новый дренажный материал (трубы, фильтры и т. п.) должен сначала пройти испытания в лаборатории для оценки его химических и физических свойств. Способы испытания дренажных труб изложены в стандартах ФРГ DIN 1180 (для гончарных труб) и DIN 1187 (для труб из ПВХ). В значительной мере стандартные способы испытания материалов для фильтрации разработаны рядом культуртехнических институтов. Обычно определяют:

— сжимаемость;
— устойчивость к физико-химическим факторам;
— порозность(распределение объема пор);
— массу;
— объем;
— водопроницаемость (под нагрузками и без них).

Кроме того, исследуются:

— гидравлические свойства;
— фильтруемость (в почве и с почвой длительное время).

Последние две характеристики изучают путем постановок опытов в дренажном ящике.

5.7.2. Дренажный лоток

Гидравлические параметры (уклон, диаметр, шероховатость, отложение наносов, расход воды) дренажной линии исследуют в ящичных дренажных лотках с минимальной длиной 10 м.

5.7.3. Дренажный ящик

В дренажном ящике исследуют взаимосвязь между водой, почвой, фильтром и дренажной трубой. Чаще всего определяют водоприемную способность разных видов дренажных труб с учетом величины зазоров в стыках или размеров водовпускных щелей, водоприемную способность сухой, влажной или мокрой засыпки траншей дренажных труб без фильтров и с самыми разнообразными фильтрами.

Испытания в дренажных ящиках могут быть кратковременными (от нескольких часов до нескольких дней) или длительными (несколько месяцев, с бессточными перерывами) [5.18, 5.28].

Условия, создаваемые в дренажном ящике, должны в значительной мере приближаться к естественным условиям на местности или в дренажных каналах. Важно то, что многие факторы (например, почва, напор, приток, отток) могут быть постоянными, а испытуемые факторы, например трубы или дренажные фильтры, могут варьировать.

Вообще же испытания дрен в дренажных ящиках производятся преимущественно на почвах с высокой водопроницаемостью (песок), которые в естественных условиях зачастую вовсе не нуждаются в трубчатом дренаже.

5.7.4. Полевые испытания дренажа

Окончательное заключение о различных методах дренажа или материалах можно дать только после проведения полевых испытаний, которые продолжаются многие годы (до 20 лет). О виде и объеме закладки опытов, а также о их проведении см. литературу [5.2, 5.5, 5.9, 5.12, 5.25].

Эти поля должны предварительно быть подвергнуты тщательным почвенным и гидрологическим исследованиям с нанесением данных на специальные карты.

Только тщательно заложенные и правильно проведенные опыты на дренажных полях дают надежные результаты. При полевых испытаниях окружающие условия (почвы, грунтовые воды, сельскохозяйственное использование) для всех вариантов должны быть одинаковыми. Вариантами полевого испытания могут быть расстояния между дренами, глубина их укладки, уклон, длина, способ их изготовления, вид дренажных труб и фильтров.

Важную роль играет измерительное оборудование для постоянного учета стока, уровня грунтовых вод, осадков, почвенной влаги и т. п. [1.11, Vol. III].

Из сказанного нетрудно заключить, что затраты на проведение испытаний возрастают в том же порядке, в каком были рассмотрены способы испытания.

Литература

[5.1] Baden, W.; Eggelsmann, R. Janner, A.: Wachstumsvoraussetzungen und Leistung verschiedener Moorkulturtypen Nordwestdeutschland. Mitt. Arb. Moor-Versuchsstation — 8. Ber. S. 54—98. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1960.

[5.2] Bellin, K.: Entwicklung und Probleme des Dränversuches unter besonderer Berücksichtigung des Ertragsversuches. Diss. Hannover 1964.

[5.3] Blümel, F.: Bodengefügeveränderung durch Maulwurfdränung. Österr. Wasserwirtschaft 8, S. 313—319. Wien 1956.

[5.4] Breitenöder, M. & Zanker, K.: Der Entzug des in Mineralböden eingedrungenen Niederschlagswassers durch die Dränung. KfK-Schr. Reihe, Heft 8. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1959.

[5.5] Briechle, D.: Die Dränung von Grundwasserböden. KWK-Heft 24, S. 1—98. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1975.

[5.6] Burghardt, W.: Porositätsmerkmale und Eigenschaften einiger Dränfilter. Wasser u. Boden **28**, S. 35—38, Hamburg 1976.

[5.7] Burghardt, W.: Zur Theorie und Methodik der Untersuchung der Dränfilterwirkung. Proc. Intern. Conf. on the Use of Fabrics in Geotechnics. S. 183—188. Paris 1976.

[5.8] Cavelaars, J. C.: Problems of water entry into plastic and other drain pipes. Agr. Eng. Symp. Silsoe/Bedford U. K. Paper-No. 5/E/45. 1967.

[5.9] Eggelsmann, R.: Akute Dränprobleme. Wasser und Boden **21**. S. 1—8. Hamburg 1969.

[5.10] Eggelsmann, R.: Hydrologie der Tiefpflugkulturen in Moor und Anmoor. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **14**. S. 166—177. Berlin 1973.

[5.11] Eggelsmann, R.; Scheffer, F.: Dränfilter gegen Verockerung — Ergebnisse des Feldversuches Calhorn. Wasser u. Boden **30**. S. 8—10. Hamburg 1978.

[5.12] Eylers, H.: Neue Bemessungsverfahren für den Dränentwurf und ihre Überprüfung im Feldversuch. Diss. Hannover 1968.

[5.13] Foerster, P.: Ergebnisse des Tiefpflügens in Sandböden Norddeutschlands. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 24, S. 47—67. Braunschweig 1974.

[5.14] Gustavson, Y.: Die Strömungsverhältnisse im gedränten Boden. Acta Agric. Suecana II. 1. Stockholm 1946.

[5.15] Karge, H. U.; Peters, H.: Aufgrabung von Kunststoffdränrohren. Wasser u. Boden **30**, S. 268—270. Hamburg 1978.

[5.16] Klotz, D.: Durchlässigkeitsuntersuchungen an gewellten Kunststoff-Dränrohren. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **14**, S. 40—54. Berlin 1973.

[5.17] Kopp, E.: Die Aussage bodengenetischer Kriterien zur Frage der Funktion und der Erhaltungsdauer der meliorativen Untergrundlokkerung in Pseudogleyen. Z. f. Kulturtechnik u. Flurber. **13**, S. 272—278. Berlin 1972.

[5.18] Kowald, R.: Die Strömungsverhältnisse an Tondränrohren und ihre Beeinflussung durch Rohrart, Stoßfugenweite und Filter. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **11**, S. 151—161. Berlin 1970.

[5.19] Kuntze, H.: Tiefkultur u. Bedarfsdränung. Kali-Briefe Fachgebiet 1, S. 1—4. Hannover 1967.

[5.20] Luthin, J. N. & Haig, A.: Some factors affecting flow into drainpipes. Hilgardia **41**, No. 10. Berkeley/California 1972.

[5.21] Mann, G.: Untersuchungen über den Einfluß der Eintrittsöffnungen und des Verfüllbodens auf die Dränfunktion. Diss. Kiel 1970.

[5.22] Nieuwenhuis, G. J. A.; Wesseling, J.: Effect of Perforation and Filter Material on Entrance Resistance of Plastic Drain Pipes. Agric. Water Management **2**, S. 1—9. Amsterdam 1979.
[5.23] Schuch, M.; Jordan, F.: Die Meliorations- und Dränversuche in Ottenhofen und Ellingen. Bayr. Landw. Jb. **48**, S. 948—959, **49**, S. 872—892. München 1971, 1972.
[5.24] Seibel, H.: Unterbodenmelioration durch Tiefpflügen, dargestellt am Beispiel der Gemarkung Heppenheim. Z. f. Kulturtechnik u. Flurber. **13**, S. 341—353. Berlin 1972.
[5.25] Someren, C. L. van; Naarding, W. H.: Enkele in 1963 verkregen resultaten op twee drainageproefvelden in de Provincie Drenthe. Medel. No. 59 Cultuurtechn. Dienst Utrecht 1965.
[5.26] Souček, O.: Hydropedologische Untersuchung für Maulwurfdränagen. Věd. Práce Vyzkumného Ústavu Melioraci Praze (Tschech. mit dt. Zus.). Praha 1967.
[5.27] Trappel, A.: Der Wasserhaushalt in gedränten, schweren Böden. Österr. Wasserwirtschaft **7**, Heft 4. Wien 1955.
[5.28] Wesseling, J.; Homma, F.: Hydraulic restistances of drain pipes. Inst. for Land and Water Management Research, Techn. Bull. 50 u. 51. Wageningen 1967.
[5.29] Widmoser, P.: Einige Folgerungen aus der Theorie der Zuströmung zu Dränrohren. Wasser u. Boden **24**, S. 34—40. Hamburg 1972.
[5.30] Bokermann, R.: Eine Methode zur Berechnung der kostensparenden Auswirkungen von Dränungen auf Ackerland. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **21**. S. 44—54. Berlin 1980.

6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Главная цель трубчатого дренажа заключается в отведении избыточной воды зимой и весной, а также воды сильных дождей в летний период для того, чтобы верхние слои почвы можно было своевременно обрабатывать.

6.1. МОДУЛЬ СТОКА

Модуль дренажного стока (q, л/с·км^2 или л/с·га) — это та часть атмосферных осадков*, которая протекает или должна протечь через дрены сразу или через некоторое время после выпадения осадков. Модуль стока зависит и от места.

Сток с определенной водосборной площади (F), поступающий в коллектор или канал, обозначают буквой Q и выражают в л/с или м^3/с. Согласно стандартам ФРГ DIN 4047 и 4049,

$$Q = q \cdot F.$$

1 мм осадков = 1 л/м^2 = 10 м^3/га = 1000 м^3/км^2.

Модули стока, применяемые для расчетов дренажа, должны соответствовать местным климатическим и гидрологическим условиям согласно стандарту ФРГ DIN 1185.

Для ФРГ по десятилетним замерам атмосферных осадков (с 1956—1957 по 1965—1966 гг.) был определен расчетный модуль стока q [6.3]. Подсчеты проводились на основе корреляции между замеренным стоком и атмосферными осадками для различных ландшафтно-климатических зон морского побережья Северогерманской низменности, Средневысоких гор и предгорий Альп (r = =0,93 для зимнего полугодия). Средние и экстремальные значения замеров стока приведены в таблице 6.1.

Исходя из того что в сутках 86 400 с, имеем:

1 мм/сут = 0,116 л/с·га;

1 л/с·га = 8,64 мм/сут.

В стандарте ФРГ DIN 1185 (лист 2) приведены данные стока, рассчитанные по среднегодовым осадкам (табл. 6.2).

В обеих таблицах приведены значения стока для ровных безуклонных площадей. Приток воды с водосбора необходимо всегда учитывать.

* Это определение модуля дренажного стока справедливо только для территорий, почвы которых характеризуются поверхностным заболачиванием. При грунтовом заболачивании значения модуля дренажного стока определяются не только атмосферными (и склоновыми), но и грунтовыми водами, поступающими в дренажную систему. — **Прим. ред.**

Таблица 6.1. **Расчетный сток для мелиоративных систем различных климатических зон ФРГ** [6.3]

Местность	Слой стока, мм/сут	
	среднее значение	пределы колебаний
Прибрежная зона	10	8—12
Северогерманская низменность	12	8—14
Средневысокие горы	14—16	8—24
Предгорья Альп, Шварцвальд	18—24	14—34

Таблица 6.2. **Модули стока для гидравлического расчета диаметров труб коллекторов и расстояния между дренами на почвах грунтового питания** (по стандарту ФРГ DIN 1185, лист 2)

Среднегодовое количество осадков, мм	Модуль стока коллектора (q), л/с·га	Слой дренажного стока, мм/сут
<600	0,8	7
600—1000	1,0	9
>1000	2,0	17

6.2. РАЗМЕРЫ КОЛЛЕКТОРНЫХ ТРУБ

Процессы течения воды в трубопроводах можно рассчитывать по эмпирическим и теоретическим формулам. Из эмпирических формул известна прежде всего степенная формула, применяемая на практике. Эта формула была предложена 200 лет назад Шези и затем усовершенствована Маннингом, Штриклером и Гауклером.

Теоретические формулы с точки зрения физики безупречны. Разработанные Дарси — Вейсбахом формулы были усовершенствованы для практического применения Пуазейлем, Прандтлем и Колебруком [6.5].

6.2.1. Теоретическая формула течения

Внутренние диаметры дренажных труб, работающих полным сечением, согласно стандарту ФРГ DIN 1185 (лист 2), рассчитываются по формуле Прандтля — Колебрука. В соответствии с литературными источниками [6.6, 6.9]

$$v = -2{,}0 \lg \left[\frac{2{,}51\nu}{D\sqrt{2gDI}} + \frac{k}{3{,}71D} \right] \sqrt{2gDI}.$$

При $Q = F \cdot v$ для круглого поперечного сечения трубы имеем

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \left\{ -2{,}0 \lg \left[\frac{2{,}51\nu}{D\sqrt{2gDI}} + \frac{k}{3{,}71D} \right] \sqrt{2gDI} \right\},$$

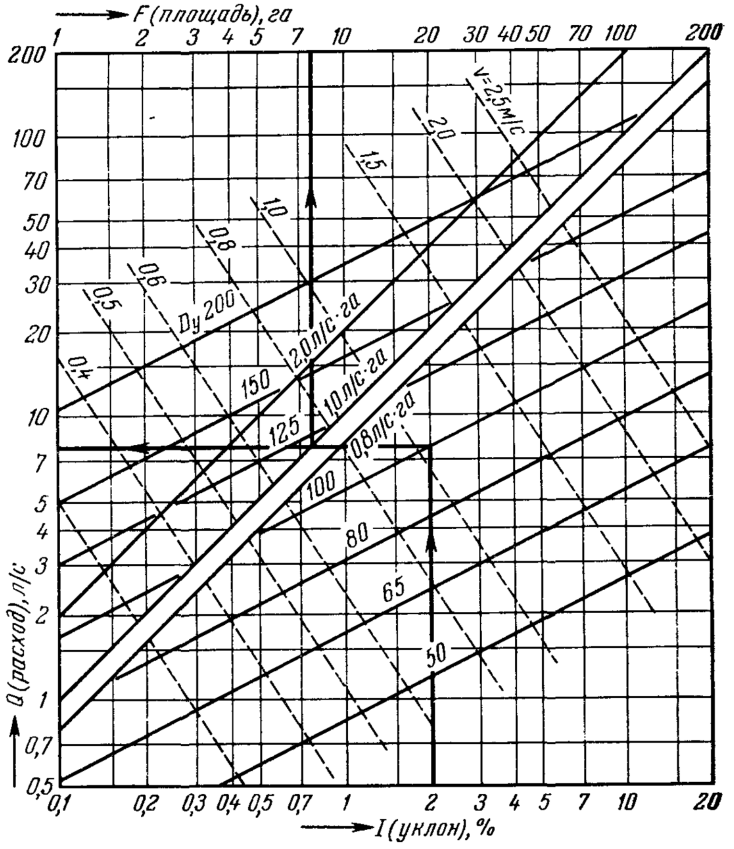


Рис. 6.1. Номограмма для определения внутреннего диаметра дрен, скорости воды и расходов. Дренажные трубы гончарные (k_b=0,7 мм), D_y — внутренний диаметр.

где v — средняя скорость течения; D — диаметр трубы; I — уклон; g — ускорение свободного падения; ν — кинематическая вязкость, см²/с; k — коэффициент шероховатости; Q — объем стока.

В результате многочисленных исследований на моделях, выполненных по поручению Куратория по мелиоративному строительству Институтом по гидротехническому строительству (Ляйхтвайсс) при Техническом университете в Брауншвейге [6.5] и кафедрой мелиорации Бонского университета, были определены коэффициенты шероховатости для вышеприведенных формул.

Стандартом ФРГ DIN 1185 (лист 2), установлено для:

гончарных (керамических) труб . .	k_b=0,77 мм
гофрированных труб из ПВХ . . .	k_b=2,0 мм
гладких труб из ПВХ	k_b=0,1 мм

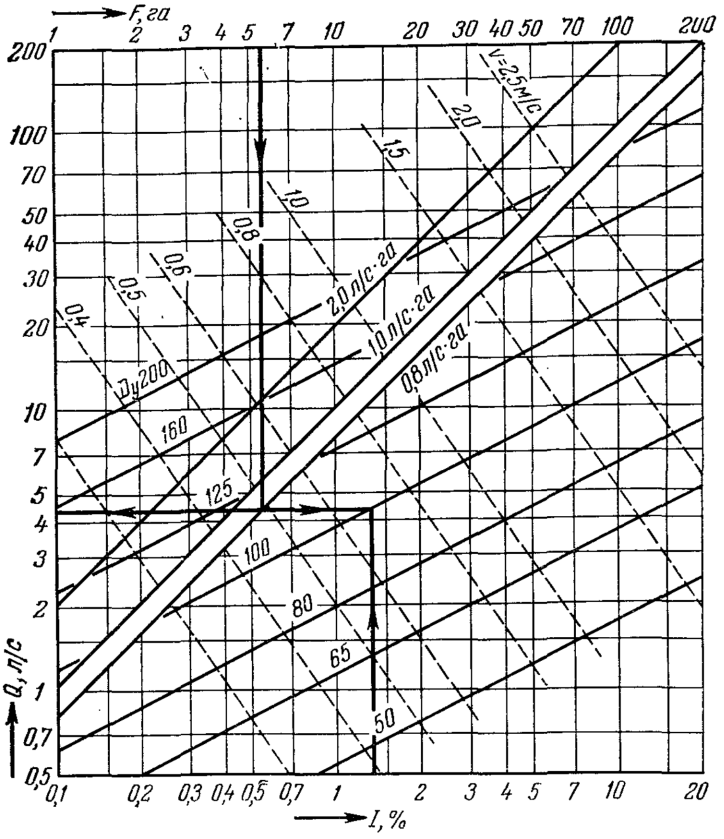


Рис. 6.2. То же, что на рисунке 6.1., но трубы гофрированные из ПВХ ($k_н$=2 мм).

С учетом этих коэффициентов составлены три номограммы для гидравлического расчета внутренних диаметров труб, скорости воды и расходов:

— гончарные дренажные трубы — рисунок 6.1;

— гофрированные дренажные трубы из ПВХ — рисунок 6.2;

— гладкие дренажные трубы из ПВХ — рисунок 6.3.

При составлении номограмм за основу были приняты фактические внутренние диаметры дрен на участке наблюдений.

На рисунках 6.1—6.3 эти размеры пересчитаны согласно стандартам ФРГ DIN 1180 и 1187.

Пример использования номограмм (расчет коллектора).

Дано: q=1 л/с·га, I=2%, внутренний диаметр гончарной дрены 100 мм.

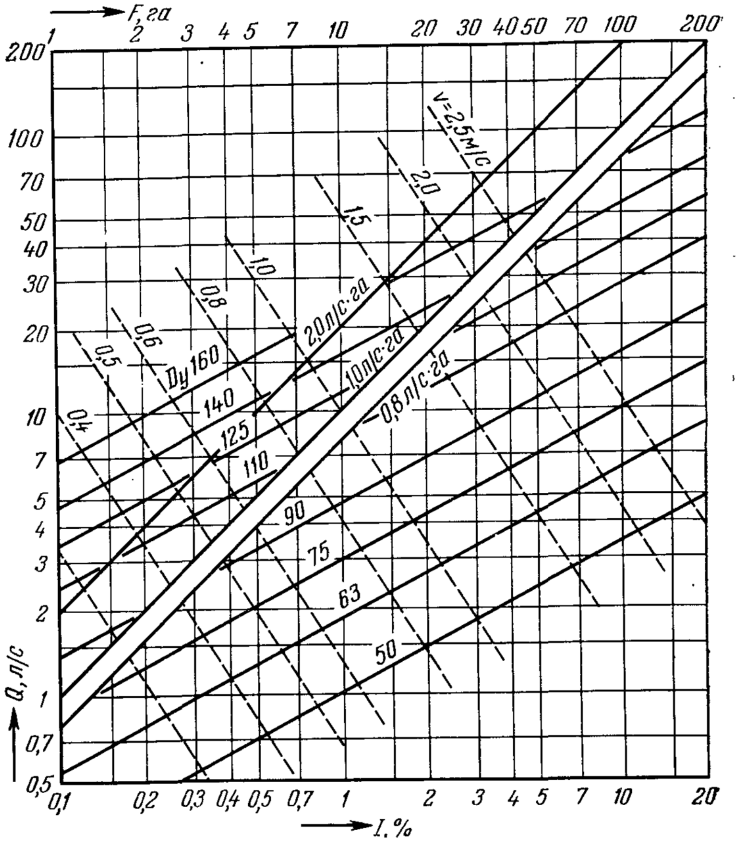


Рис. 6.3. То же, что на рисунке 6.1., но трубы гладкие из ПВХ (k_b=0,1 мм).

Определить: F (га), Q (л/с) и v (м/с).

Согласно номограмме (см. рис. 6.1), F=7,8 га, Q=7,8 л/с и v=1,05 м/с.

II пример (расчет коллектора).

Дано: q=0,8 л/с·га, I=1,4%, F=5,6 га.

Определить: внутренний диаметр гофрированной трубы из ПВХ, Q(л/с) и v(м/с).

Согласно номограмме (см. рис. 6.2), внутренний диаметр трубы равен 100 мм, Q=4,4 л/с и v=0,69 м/с.

Аналогично может быть использована третья номограмма (см. рис. 6.3).

Следует учитывать, что при использовании гофрированных дренажных труб из ПВХ, согласно стандарту ФРГ DIN 1187, фактический внутренний диаметр значительно отклоняется от принятых раз-

меров в свету. Если сравнить между собой гидравлическую производительность разных видов труб, то для гофрированных труб из ПВХ значения будут на 25—35% меньше, чем для гончарных труб [6.5].

Применяемые с 1975 г. гофрированные трубы из ПВХ с гладкой внутренней поверхностью могут на основании гидравлических исследований рассчитываться по номограмме для гончарных труб (рис. 6.1 и 8.11).

6.2.2. Степенная формула

В Руководстве по проектированию дренажа (восьмое издание) внутренние сечения дренажных труб рассчитываются по формуле Гауклера — Маннинга — Штриклера:

$$v = k_s R^{2/3} I^{1/2} \text{ м/с},$$

где v — скорость воды, м/с; k — коэффициент шероховатости или коэффициент скорости; R — гидравлический радиус, м; I — уклон зеркала воды, соответствующий уклону дна.

Для дренажных труб современного производства может быть принят единый коэффициент шероховатости $k_s = 75$ при условии их работы полным сечением [7.23]. Отсюда следует, что

$$v = 1{,}38 d^{2/3} I^{1/2} \text{ м/с};$$

$$Q = 0{,}1085 d^{8/3} I^{1/2} \text{ л/с},$$

где Q — количество воды, л/с; d — диаметр трубы, см.

Гидравлический расчет внутренних диаметров дренажных труб возможен по приведенной формуле с помощью логарифмической линейки, чего нельзя сказать о формуле Прандтля — Колебрука.

6.2.3. Расчет труб, работающих неполным сечением

Трубопроводы, работающие неполным сечением, обычно рассчитываются по кривым заполнения, причем значения неполного заполнения относят к водопропускной способности трубы, работающей полным сечением. Характер кривых заполнения зависит от диаметра, уклона и шероховатости труб, а также от воздуха, движущегося в частично заполненной трубе. Однако еще не удавалось выразить эти физические зависимости математически.

Кривые заполнения (рис. 6.4) рассчитаны по Торману и соответствуют канализационным водоводам [6.6]. Буквы t и v означают частичное и полное заполнение труб соответственно.

Пример. При работе трубы полным сечением $Q = 4{,}5$ л/с, $v = 0{,}38$ м/с. Определить Q_t и v_t при частичном заполнении $h/d = 0{,}4$ (40%).

На рисунке 6.4 находим:

$$Q_t = 0{,}33 Q_v = 0{,}33 \cdot 4{,}5 = 1{,}5 \text{ л/с};$$

$$v_t = 0{,}89 v_t = 0{,}89 \cdot 0{,}38 = 0{,}34 \text{ м/с}.$$

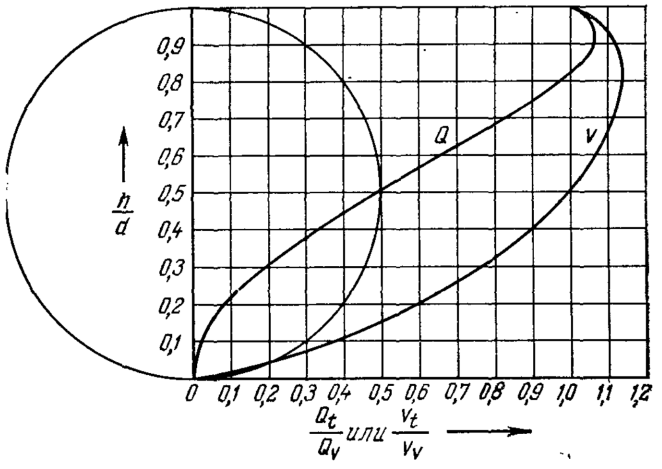


Рис. 6.4. Кривые заполнения для круглых поперечных сечений труб [6.6].

6.3. РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ДРЕНАМИ В ПОЧВАХ, ЗАБОЛОЧЕННЫХ ГРУНТОВЫМИ ВОДАМИ

Расстояния между дренами в настоящее время повсеместно сравнительно точно рассчитывают на основе теоретических представлений о течении воды. Последнее происходит чаще всего по законам стационарного (равномерного) движения (приток — отток) [1.11, 1.12, 5.14, 6.1, 6.4, 6.8].

В исключительных случаях целесообразно рассчитывать расстояние между дренами по законам неравномерного течения, например для орошаемых территорий при понижающемся зеркале грунтовых вод.

Здесь стандартом ФРГ DIN 1185 (лист 2) рекомендуются способы, которые оправдали себя на практике при определении расстояний между дренами на почвах грунтового питания. При расчетах необходимо учитывать причину переувлажнения почвы (напорные грунтовые воды, верховодка, орошение), с одной стороны, и водопроницаемость почвы, с другой.

Подробно освещается определение расстояний между осушительными каналами и дренами по критериям осушения и гидрологии почв с помощью номограмм. Приведены подробные сведения для практических работников в области дренажа [6.1], а также многочисленные примеры. Они применимы только для достаточно водопроницаемых (коэффициент фильтрации $k_f \geqslant 0{,}06$ м/сут) однослойных или двухслойных почв грунтового питания (см. разд. 3.4). Следует также особо учитывать данные, приведенные в таблице 5.1.

На сложенных торфами болотах в результате осушения происходит осадка торфа и снижается водопроницаемость, что необ-

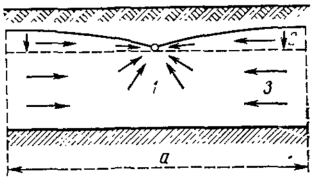


Рис. 6.5. Вертикальные, горизонтальные и радиальные компоненты течения в водопроницаемой почве над водонепроницаемым слоем [6.1]:
1 — радиальное течение; *2* — вертикальное течение; *3* — горизонтальное течение.

ходимо учитывать при определении расстояний между дренами (см. разд. 7.3).

Грунтовой поток между параллельными дренами (см. рис. 5.1—5.3) может быть с достаточным приближением дифференцирован на вертикальные, горизонтальные и радиальные составляющие (рис. 6.5) с соответствующими сопротивлениями течению.

Радиальное сопротивление течению возникает в результате сближения линий тока возле дренажной трубы (см. разд. 5.1). Так как вертикальное сопротивление обычно незначительно, то расстояния между дренами определяются преимущественно горизонтальным и радиальным сопротивлениями течению.

Величины горизонтального и радиального сопротивлений зависят от расположения водонепроницаемого слоя по отношению к дренам (см. рис. 5.4).

6.3.1. Формула Хугхаудта

Следует различать три случая.

1. Если дрены лежат непосредственно на водонепроницаемом слое или чуть выше этого слоя, то преобладает горизонтальное сопротивление, а радиальное сопротивление незначительно и им можно пренебречь.

2. Если водонепроницаемый слой находится на большой глубине (более $^1/_4$ расстояния между дренами), то радиальное сопротивление оказывает большое влияние, а горизонтальным сопротивлением можно пренебречь.

Формулы расстояний между дренами для обоих случаев, а также составленная по ним номограмма просты.

3. Если глубина залегания водонепроницаемого слоя ниже дна дрены составляет менее $^1/_4$ расстояния между дренами, то радиальное сопротивление нельзя не учитывать. При учете только горизонтального сопротивления расчетные расстояния между дренами могут оказаться слишком большими.

Для всех трех случаев Хугхаудт [6.1] дает практическое решение с помощью следующей формулы (рис. 6.6):

$$a^2 = \frac{8k_{f_2}dh}{s} + \frac{4k_{f_1}h^2}{s},$$

где a — расстояние между дренами, м; k_{f_1} — коэффициент фильтрации слоя почвы, расположенного выше дрены, м/сут; k_{f_2} — коэффициент фильтрации слоя, расположенного ниже дрены, м/сут (см. разд. 3.5); d — фактор, м [эквивалентная толщина водоносного слоя почвы ниже оси дренажной трубы в зависимости от a (табл. 6.3).

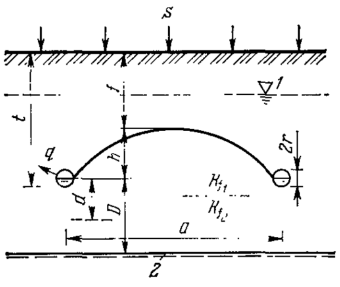


Рис. 6.6. Схема к формуле расчета расстояний между дренами [6.1]:

1 — естественный уровень грунтовых вод; *2* — водонепроницаемый слой.

Фактор d приведен в номограмме (см. рис. 6.7)]; D — расстояние от дрены до водоупорного слоя, м; h — допустимая высота зеркала грунтовых вод над дреной, м; t — глубина заложения дрены, м; f — допустимая глубина зеркала грунтовых вод от поверхности, м (обычно 0,5 м); s — максимальное количество отводимой воды атмосферных осадков, м/сут (см. разд. 6.1); r — эффективный внешний радиус дренажной трубы, м.

Первая часть формулы соответствует режиму грунтового потока на участке ниже дрены, вторая — режиму грунтового потока на участке выше дрены. Расстояния между дренами могут быть определены двумя способами:

— аналитическим (методом приближения в процессе подбора и сравнения) с помощью таблицы 6.3 (I и II примеры);

— графическим с помощью номограммы* (см. рис. 6.7) (III и IV примеры).

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 надо округлять, соответственно увеличивая или уменьшая их.

I пример.

Дано: $k_{f_1}=k_{f_2}=1{,}11$ м/сут; $D=1$ м; $h=0{,}3$ м; $S=0{,}007$ м/сут; $r=0{,}1$ м.

$$a=\sqrt{\frac{8\cdot 1{,}11\cdot d\cdot 0{,}3+4\cdot 1{,}11\cdot 0{,}09}{0{,}007}}.$$

1-й ход подбора. Согласно оценке, $a=15$ м. По таблице 6.3 $d=0{,}86$ м.

Подставив в формулу числовое значение фактора d, получаем

$$15=\sqrt{\frac{8\cdot 1{,}11\cdot 0{,}86\cdot 0{,}3+4\cdot 1{,}11\cdot 0{,}09}{0{,}007}},$$

$$15\text{ м}\neq 19{,}6\text{ м}.$$

* В руководстве используются два условных обозначения максимального количества осадков, сбрасываемых осушительной системой: s — это слой воды (мм/сут), подлежащий удалению, а q — слой воды (мм/сут), срабатываемый дренажем. Это следует иметь в виду при использовании номограммы и анализе примеров расчета междренных расстояний по формуле Хугхаудта. В таблице к рисунку 6.7 сверху приведены абсолютные значения стока в мм/сут, а в нижней графе даны соответствующие этому слою значения модуля дренажного стока в л/с·га. — **Прим. ред.**

Таблица 6.3. **Фактор d (м) для расчета расстояний между дренами без номограммы** [6.1]

D, м	Фактор d для расстояний 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	0,6	0,65	0,69	0,71	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76
1	0,67	0,75	0,80	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,96	0,96
1,25	0,7	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	1,38	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

Расстояния между дренами, согласно оценке, были слишком малыми.

2-й ход подбора. Согласно оценке, $a=20$ м, $d=0{,}89$ м.

$$20=\sqrt{\frac{8\cdot 1{,}11\cdot 0{,}89\cdot 0{,}3+4\cdot 1{,}11\cdot 0{,}09}{0{,}007}},$$

$$20\text{ м}=20\text{ м}.$$

Следовательно, расстояние между дренами будет 20 м.

II пример.

Дано: $k_{f_1}=0{,}38$ м/сут; $k_{f_2}=1{,}48$ м/сут; $D=2{,}4$ м; $h=0{,}5$ м; $s=0{,}007$ м/сут; $r=0{,}1$ м.

$$a=\sqrt{\frac{8\cdot 1{,}48\cdot d\cdot 0{,}5+4\cdot 0{,}38\cdot 0{,}25}{0{,}007}}.$$

$$45\text{ м}\neq 41{,}6\text{ м}.$$

1-й ход подбора. Согласно оценке, $a=45$ м. По таблице 6.3 $d=1{,}99$ м. Подставив в формулу значение d, имеем

$$45=\sqrt{\frac{8\cdot 1{,}48\cdot 1{,}99\cdot 0{,}5+4\cdot 0{,}38\cdot 0{,}25}{0{,}007}},$$

$$45\text{ м}\neq 41{,}6\text{ м}.$$

Расстояния между дренами, согласно оценке, были слишком большими.

2-й ход подбора. Согласно оценке, $a=41$ м. По таблице 6.3 $d=1{,}94$ м. Подставляем фактор d:

$$41=\sqrt{\frac{8\cdot 1{,}48\cdot 1{,}94\cdot 0{,}5+4\cdot 0{,}38\cdot 0{,}25}{0{,}007}},$$

$$41\text{ м}\approx 41{,}25\text{ м}.$$

Расстояние между дренами составляет ≈ 41 м.

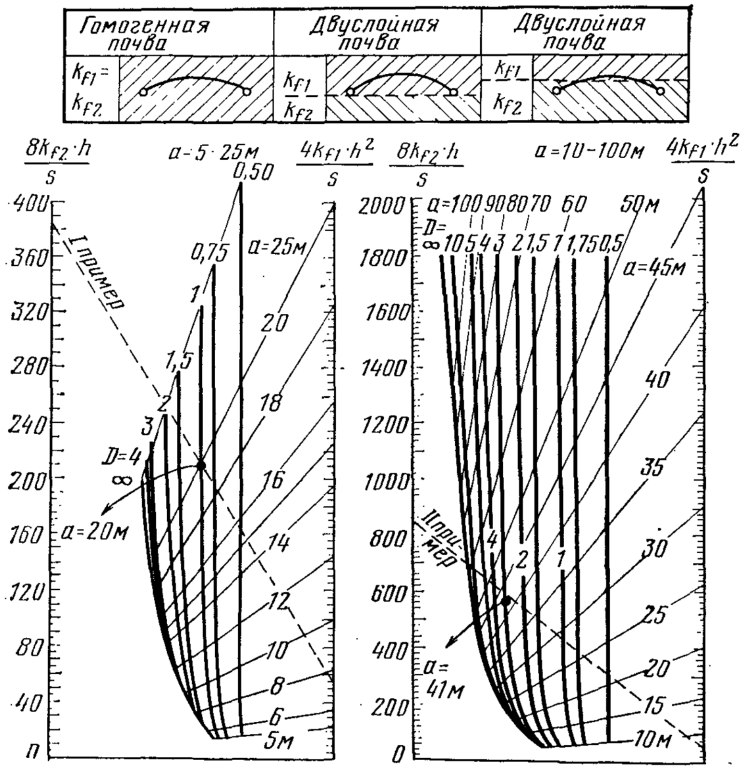


Рис. 6.7. Номограмма для определения расстояний между дренами на почвах, заболоченных грунтовыми водами [6.1].

III пример.

Дано: $k_{f_1}=k_{f_2}=1{,}11$ м/сут; $D=1{,}0$ м; $h=0{,}3$ м; $s=0{,}007$ м/сут;

$$\frac{8h}{s}=345.$$

По таблице к рисунку 6.7

$$\frac{4h^2}{s}=50.$$

$$k_{f_2}\frac{8h}{s}=1{,}11\cdot 345=383;$$

$$k_{f_1}\frac{4h^2}{s}=1{,}11\cdot 52=57.$$

На левой и правой шкале левой номограммы рисунка 6.7 находим точки, соответствующие обоим значениям, и соединяем их с помощью линейки или натянутой нитки. В точке пересечения с кривой $D=1$ м получаем значение a.

Расстояние между дренами $a=20$ м (аналогично I примеру).

IV пример.

Дано: $k_{f_1}=0{,}38$ м/сут; $k_{f_2}=1{,}48$ м/сут; $D=2{,}4$ м; $h=0{,}5$ м; $s=0{,}007$ м/сут.

По таблице к рисунку 6 7

$$\frac{8h}{s}=570;$$

$$\frac{4h^2}{s}=145.$$

$$k_{f_2}\frac{8h}{s}=1{,}48\cdot 570=843;$$

$$k_{f_1}\frac{4h^2}{s}=0{,}38\cdot 145=55.$$

Вспомогательные величины к номограмме определения расстояний между дренами:

факторы $\frac{8h}{s}$ и $\frac{4h^2}{s}$

для s в м/сут

0,005		0,007		0,009		0,010		0,017	
или для q в л/с·га									
0,6		0,8		1		1,2		2	

h, м	$\frac{8h}{s}$	$\frac{4h^2}{s}$	$\frac{8h}{s}$	$\frac{4h^2}{s}$	$\frac{8h}{s}$	$\frac{4h^2}{s}$	$\frac{8h}{s}$	$\frac{4h^2}{s}$	$\frac{8h}{s}$	$\frac{4h^2}{s}$
0,1	160	10	115	6	90	5	80	4	45	3
0,2	320	32	230	23	180	20	160	16	90	10
0,3	480	70	345	50	270	40	240	36	140	20
0,4	640	128	455	92	360	70	320	64	185	35
0,5	800	200	570	145	446	110	400	100	230	60
0,6	960	290	685	205	535	160	480	145	280	85
0,7	1120	390	800	280	620	215	560	195	325	115
0,8	1280	510	920	365	710	295	640	255	370	150
0,9	1140	650	1030	465	800	370	720	325	415	190
1	1600	800	1140	570	890	455	800	400	460	230
1,1	1760	970	1260	690	980	535	880	485	510	280
1,2	1920	1150	1370	820	1060	640	960	575	555	330

Соединив точки обеих шкал правой номограммы (см. рис. 6.7) с кривой D, получим расстояние между дренами a, равное 41 м (аналогично II примеру).

С помощью номограммы (см. рис. 6.7) можно довольно точно определить расстояние между дренами. Кроме того, такое определение характеризуется двумя преимуществами:

— быстротой расчета;

— быстрой оценкой относительной эффективности тех факторов, которые влияют на расстояния между дренами.

Следовательно, на практике нужно пользоваться только номограммой.

6.3.2. Формула Эрнста

Если в двухслойной почве трубчатый дренаж уложен в верхнем слое (рис. 6.8, *г*), то для определения междренных расстояний применяется только формула Эрнста.

Для этого случая, редко встречающегося на практике, следует руководствоваться источником [6.1].

Примечание. Положение водонепроницаемого слоя D и значение K_{f_2} существенно влияют на расстояния между дренами, а водопроницаемость слоя почвы, расположенного выше дрены, оказывает незначительное влияние на расстояния между дренами. Поэтому достаточно оценки плотных горизонтов. Однако в других случаях (когда D и K_{f_2} малы, а h и K_{f_1} велики) показатель K_{f_1} имеет большое значение.

Если измеренные в поле значения K сильно колеблются (особенно если они случайны и не фиксируются по почвенно-гидрологическим разностям при картировании), то возникает вопрос: в каких пределах и каким образом колеблющиеся значения K_f могут быть усреднены? Для определенного объекта дренажа с постоянными значениями q и h расстояния между дренами должны быть получены с помощью комбинаций K_{f_1}, K_{f_2} и D. Средние значения K_{f_2} соответствуют средним показателям только в тех случаях, когда практически нет разницы между соответствующими значениями K_{f_1} и D.

Установить расстояние между дренами для каждого пункта дренируемой территории нетрудно, потому что $8\,h/q$ и h^2/q являются постоянными величинами и можно использовать счетную линейку и номограмму.

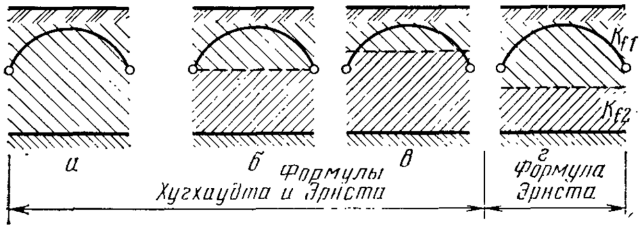


Рис. 6.8. Расположение дрен относительно поверхности соприкосновения двух слоев почвы [6.1]:

а — гомогенная почва; *б—г* — двуслойная почва; для почв *а—в* пригодны формулы Хугхаудта и Эрнста, для почвы *г* — формула Эрнста.

Результирующие значения a можно усреднять группами. В большинстве случаев получают различные расстояния между дренами в рамках одного проекта. На основании опыта строительства и эксплуатации дренажа рекомендуется на одном участке (поле) придерживаться единого расстояния между дренами.

6.4. РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ДРЕНАМИ В ПОЧВАХ, ЗАБОЛОЧЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОДАМИ

Для почв, заболоченных поверхностными водами (верховодкой) (см. разд. 3.4.3), с водонепроницаемым слоем, расположенным выше нормальной глубины заложения дрен, действительна диаграмма на рисунке 6.9 [3.19]. В данном случае расстояния между дренами зависят прежде всего от водопроницаемости слоя, расположенного над водоупором, и от глубины залегания водоупора. Кривые получены для следующих условий:

— максимальная допустимая глубина зеркала застойных вод 0,3 м от поверхности земли;

— хорошая водопроницаемость в пределах дренажных траншей и дренажных труб;

— модуль стока 5 мм/сут.

При уклоне местности более 2% и поперечном дренировании расстояния между дренами могут быть увеличены на 20—40%.

Пример.

Дано: $k_{f_1}=0{,}9$ м/сут, $t_s=0{,}7$ м.

Согласно рисунку 6.9, расстояние между дренами $a=10{,}7$ м. Принятое расстояние $a=11$ м.

Если водонепроницаемый слой, обусловливающий верховодку, лежит ближе 0,5 м от поверхности земли, то трубчатый дренаж малоэффективен или вовсе неэффективен (см. рис. 5.5). В данном случае, если позволяют почвенные условия, следует предусмотреть беструбчатый или комбинированный дренаж (см. разд. 4.2 и 5.2) или же применить подпочвенные мелиорации (см. разд. 4.3 и 4.4).

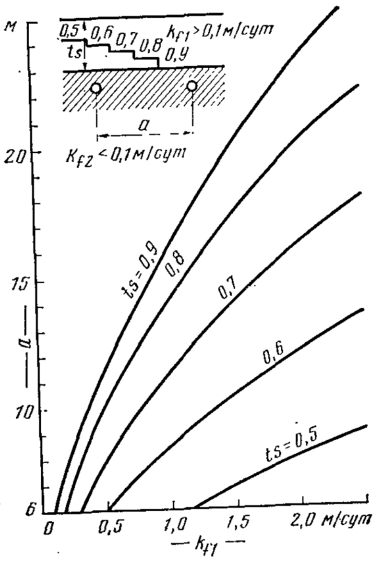


Рис. 6.9. Номограмма для определения расстояния между дренами в почвах, заболоченных верховодкой, в зависимости от водопроницаемости и глубины залегания водоупора (ts — расстояние от водоупора до дневной поверхности) [3.19].

6.5. РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ДРЕНАМИ В ПОЧВАХ, ЗАБОЛОЧЕННЫХ СВЯЗАННОЙ ВОДОЙ

В плохо проницаемой почве, заболоченной связанной водой (см. разд. 3.4.4), беструбчатые дрены недостаточно устойчивы, а подпочвенные мелиорации (глубокое рыхление, глубокая вспашка) не дают желаемого результата. В данном случае расстояния между трубчатыми дренами следует определять, согласно стандарту ФРГ DIN 1185 (лист 2), по результатам анализов гранулометрического состава после предварительной обработки почвенных проб в воде (рис. 6.10). Согласно последним данным почвоведения, это справедливо лишь в том случае, если размер частиц после обработки проб в воде определяется согласно стандарту ФРГ DIN 19683.

Пример.

Дано: пылеватые частицы (<0,02 мм) составляют 58% по массе.

Согласно рисунку 6.10, расстояние между дренами $a=9{,}3$ м для $t=1{,}0$ м. Принятое расстояние $a=9$ м.

При слоистой почве рекомендуется рассчитывать расстояния между дренами по формуле:

$$a=\frac{a_1h_1+a_2h_2+a_3h_3+\cdots}{h_1+h_2+h_3+\cdots},$$

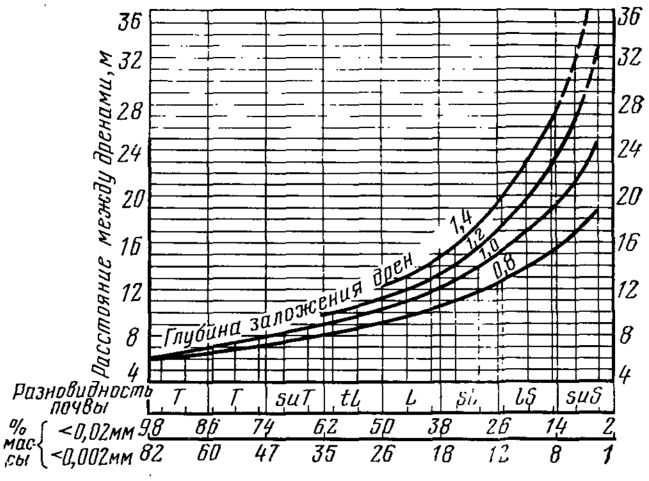


Рис. 6.10. Номограмма для определения расстояния между дренами для почв, заболоченных связанной водой. Увеличение расстояний между дренами возможно при быстром улучшении структуры почвы и уклоне поверхности более 2% [1.6]:

T — глина; *suT* — песчанисто-пылеватая глина; *tL* — суглинок глинистый; *L* — суглинок средний; *sL* — суглинок песчанистый; *lS* — песок суглинистый; *suS* — песок песчано-пылеватый.

где h_1, h_2, h_3 — толщина соответствующих слоев; a_1, a_2, a_3 — соответствующие расстояния между дренами.

6.6. РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ДРЕНАМИ В ПОЧВАХ, ЗАБОЛОЧЕННЫХ НАПОРНЫМИ ГРУНТОВЫМИ ВОДАМИ

Напорные грунтовые воды гораздо чаще, чем считалось до последнего времени, являются причиной переувлажнения, а во многих областях и засоления почвы (см. разд. 3.4.2).

Заболачивание почв напорными грунтовыми водами в северо-западной части ФРГ исследовалось с учетом опыта, накопленного в США [6.7].

При определении расстояний между дренами различают следующие виды увлажнения почвы напорными водами:

— одновременный приток поверхностных и напорных грунтовых вод (рис. 6.11, *вверху*);

— если приток напорных вод не учитывается или учитывается недостаточно, то линии тока грунтовых вод могут достигать поверхности участка (рис. 6.11, *в середине*);

— только приток напорных грунтовых вод (рис. 6.11, *внизу*).

Критические расстояния между дренами при напорных грунтовых водах в небольшой степени зависят от водопроницаемости почвы и определяются прежде всего:

— глубиной заложения дренажа;

— мощностью покрывающего слоя;

— высотой напора над поверхностью местности.

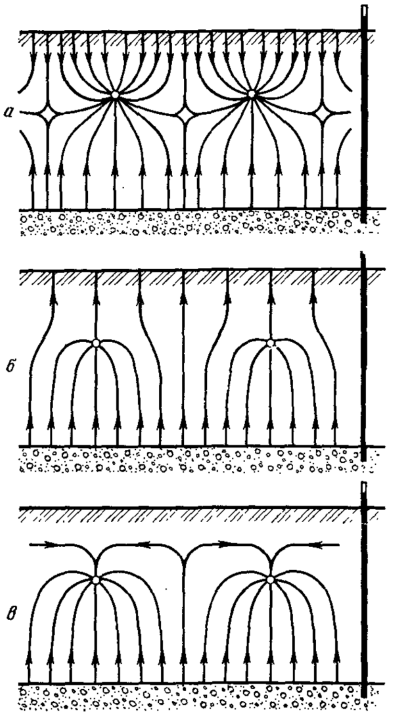


Рис. 6.11. Линии тока вод в почвах с напорными грунтовыми и поверхностными водами [6.7]:

а — дренаж соответствует гидрологическим условиям; *б* — расстояния между дренами слишком велики; *в* — дренаж без притока поверхностных вод.

6.6.1. Напорные воды без воды осадков

Для гомогенной почвы с притоком напорных грунтовых вод без воды осадков расстояния между дренами можно определить по методике Муската. Диаграмма, составленная с помощью ЭВМ (рис. 6.12), действительна для эффективного дренажного радиуса 0,1 м.

Пример.

Дано: $D=10$ м; $hd=1$ м; $t=0{,}6$ м.

Согласно рисунку 6.12, расстояние между дренами $a=7{,}5$ м.

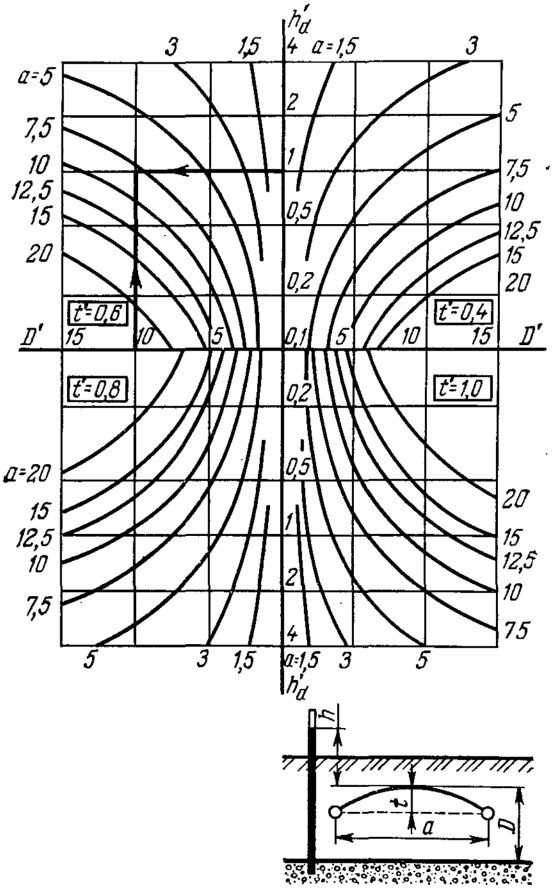


Рис. 6.12. Номограмма для определения расстояний между дренами при напорных грунтовых водах без учета атмосферных осадков [6.7].

6.6.2. Напорные воды с водой осадков

Для гомогенной почвы с притоком напорных грунтовых вод с водой осадков расстояния между дренами могут быть установлены по методике Хинесли с помощью номограммы для практического применения (рис. 6.13). Однако предварительно должна быть рассчитана вспомогательная величина g (рис. 6.13, *внизу*) по формуле:

$$g = 1 - \frac{t}{h + \frac{i}{k_f} \cdot D} i,$$

где t — максимальный допустимый и желательный уровень грунтовых вод над дреной, м; h — напор грунтовых вод над дреной, м; i — измеренные осадки, м/сут; k — водопроницаемость покровного слоя, м/сут; D — расстояние от дрены до подошвы покровного слоя, м. Измеренные осадки i соответствуют измеренному стоку (см. табл. 6.1 и 6.2).

Пример.

Дано: $i = 15$ мм/сут; $k = 0{,}5$ м/сут; $i/k = 0{,}03$;

$t' = 0{,}6$ м; $h' = 0{,}8$ м; $D = 3{,}2$ м, следовательно $g = 1 - 0{,}6/(0{,}8 + 0{,}03 \cdot 3{,}2) = 0{,}33$.

Согласно рисунку 6.13, расстояние между дренами $a = 5$ м.

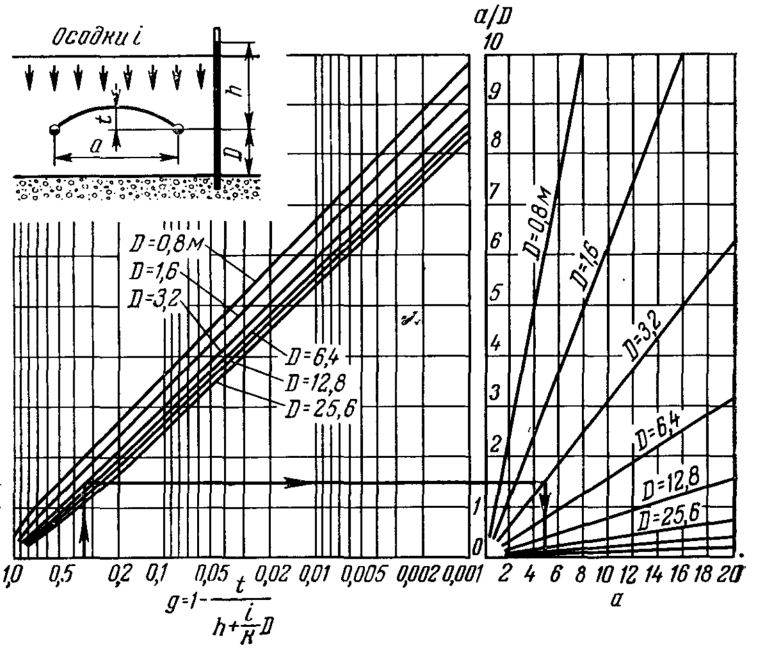


Рис. 6.13. Номограмма для определения расстояний между дренами в почвах, заболоченных напорными грунтовыми водами и водами атмосферных осадков [6.7].

Примечание. Диаграмма (см. рис. 6.13) с вспомогательной величиной g может быть применена также при расчете расстояния между дренами в слоистой почве, если осушаемый слой имеет меньшую водопроницаемость, чем лежащая под ним часть покровного слоя [6.7].

Если дренируемый слой более водопроницаем, чем расположенная под ним часть покровного слоя, доля напорных грунтовых вод в общем дренажном стоке значительно меньше, чем в гомогенной почве. Для этого случая еще нет точного способа расчета расстояний между дренами.

Если k_1 — коэффициент фильтрации дренируемого слоя, а k_2 — коэффициент фильтрации нижней части слоя, перекрывающего грунтовые воды, то при отношении $k_1 : k_2 \geqslant 1000$ можно пренебречь притоком напорных грунтовых вод. Покровный слой можно считать практически водонепроницаемым, а расстояние между дренами определять, как рекомендовано в разделе 6.6.1.

6.7. РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ДРЕНАМИ ПРИ ОРОШЕНИИ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

В засушливых и полузасушливых областях при опасности засоления почв часто возникает потребность в значительном расходе инфильтрационной воды в течение короткого промежутка времени для промывки почв. Сразу после промывки поднимается зеркало грунтовых вод, которое затем постепенно понижается. Расстоиние между дренами при этом нельзя рассчитывать, как на участке с равномерным грунтовым потоком. Следует скорее рассматривать необходнмое понижение грунтовых вод за период, исчисляемый днями, т. е. понижение от h_0 до h_t за период t (см. разд. 7.3.5).

6.7.1. Водонепроницаемый слой на большой глубине

Согласно рисунку 6.14, может быть применена формула Гловер-Думма [6.1]:

$$a = \sqrt{\frac{10 k_f D t}{V \ln\left(1{,}16 \frac{h_0}{h_t}\right)}}.$$

Эта формула не содержит фактора q (модуля стока). Если, напрнмер, слой в 20 мм воды должен стечь за 10 суток, то требуемое понижение уровня грунтовых вод должно соответствовать расходу воды, поступающей из крупных почвенных пор на участке между дренами. Оно обозначено в вышеприведенной формуле буквой V (дренируемые поры, объем

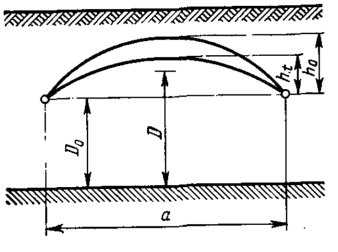


Рис. 6.14. Понижающееся зеркало грунтовых вод илн переменный сток [6.1].

пор с несвязанной влагой) и определяется по коэффициенту фильтрации $V=\sqrt{k_f}$. Коэффициент фильтрации определяют в сантиметрах за сутки, а V — в объемных процентах.

Например, $k=60$ см/сут, а $V=7{,}7\%$ к объему, или $V=0{,}077$.

Пример.

Дано: $k=0{,}60$ м/сут, отсюда $V=0{,}007$; $D_0=8$ м; $D=8{,}3$ м. Так как $D_0>2$ м, следует учитывать радиальное сопротивление.

По таблице 6.3 представляем d вместо D (подбор согласно разделу 6.3.1, 1 пример).

$d=3{,}0$ м; $h_0=1{,}2$ м; $h_t=0{,}4$ м; $t=8$ сут.

Определить:

$$a=\sqrt{\frac{10\cdot 0{,}6\cdot 8\cdot 3{,}0}{0{,}077\cdot 2{,}3\lg\left(1{,}16\dfrac{1{,}2}{0{,}4}\right)}}=37{,}5\text{ м}.$$

Принимаем $a=38$ м.

Уравнение может быть решено с помощью счетной линейки.

6.7.2. Дрены на водонепроницаемом слое

Согласно рисунку 6.15, расстояние между дренами может быть определено, как на участке нестационарного течения [6.1] по формуле:

$$a=\sqrt{\frac{4{,}5\cdot tk_f h_0 h_t}{V(h_0-h_t)}}.$$

Пример.

Дано: $t=6$ сут; $k_f=0{,}75$ м/сут; $h_0=0{,}8$ м; $h_t=0{,}2$ м; $V=\sqrt{k_f}=\sqrt{75}=8{,}6\%$ объема $=0{,}086$.

Определить:

$$a=\sqrt{\frac{4{,}5\cdot 6\cdot 0{,}75\cdot 0{,}8\cdot 0{,}2}{0{,}086\,(0{,}8-0{,}2)}}=7{,}9\text{ м}.$$

Принимаем $a=8$ м.

6.8. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ОСУШЕНИЯ

Для определения продолжительности процесса осушения (нестационарный процесс дренажа) может быть использован рисунок 6.16 [6.2].

Пример.

Дано: $k_{f_1}=k_{f_2}=1$ м/сут; $q=1$ л/с·га; $D=1$ м; $h_0=0{,}5$ м (при глубине заложения дрен 1 м).

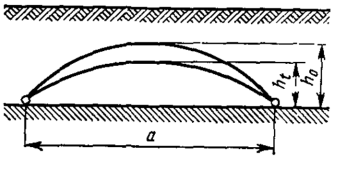


Рис. 6.15. Понижающееся зеркало грунтовых вод при залегании дрены на водонепроницаемом слое почвы [6.1].

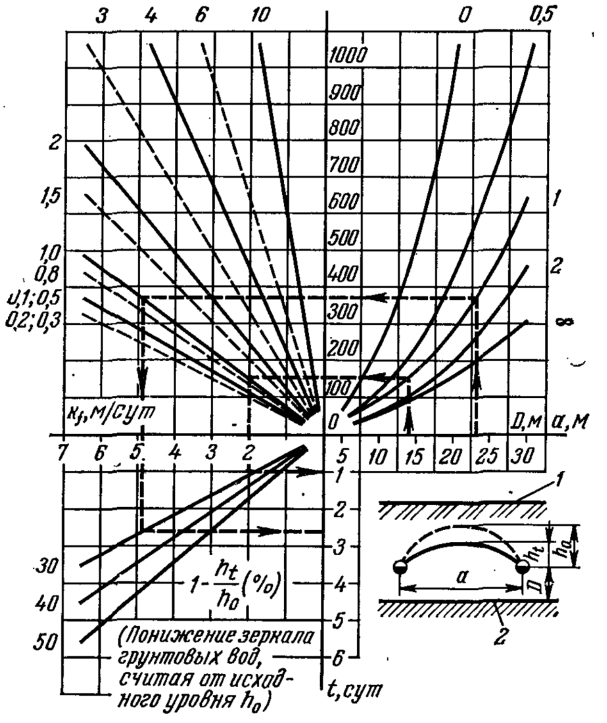


Рис. 6.16. Номограмма для определения продолжительности осушения [6.2]:

1 — отметка дневной поверхности; *2* — водонепроницаемый слой.

Определить продолжительность понижения уровня грунтовых вод до h_t при $a=23$ м или при а$=14$ м.

Согласно рисунку 6.16, получаем:

для $a=23$ м $\quad t \approx 2{,}5$ сут;

для $a=14$ м $\quad t \approx 1{,}0$ сут.

Примечание. Следует учесть, что приближенная (аппроксимирующая) функция $\mu/k=f(k)$ для $k=0{,}25$ м/сут является максимумом. Во втором квадранте номограммы значения функции для $0{,}2 \leqslant k \leqslant 0{,}3$ м/сут или для $k=$ 0,1 и 0,5 м/сут равны. При средних расстояниях между дренами получающейся разницей во времени для равных понижений уровня можно пренебречь.

Литература

[6.1] Beers, W. F. J. van: Einige Nomogramme für die Berechnung von Drän- und Grabenabständen. (Dt. Bearbeitung R. Eggelsmann). Hamburg: Paul Parey 1969.

[6.2] Briechle, D.: Vorschläge zur Bemessung von Dränungen in Grundwasserböden. Z. f. Kulturtechnik u. Flurber. **11**, S. 1—10. Berlin 1970.

[6.3] Briechle, D.: Ermittlung von Bemessungsabflüssen in Meliorationsanlagen. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **13**, S. 177—186. Berlin 1972.

[6.4] Busch, K.-F.: Ein Beitrag zu Fragen der Dränentfernung und Dräntiefen bei Mineralböden. Z. f. Landeskultur. **4**, S. 107—149. Berlin 1963.

[6.5] Karge, H.; Garbrecht, G.: Fließformeln für Dränrohre. Bericht-Nr. 221. Leichtweiß-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig 1972.

[6.6] Kirschmer, O.: Tabellen zur Berechnung von Entwässerungsleitungen nach Prandtl-Colebrook. Heidelberg: Straßenbau, Chemie und Technik Verlag GmbH 1966.

[6.7] Lange, G.: Untersuchungen über Bodenvernässungen durch gespanntes Grundwasser. Diss. Hannover 1970.

[6.8] Luthin, J. N.: Drainage Engineering. New York-London-Sydney: John Wiley & Sons, Inc. 1965.

[6.9] Ueker, K. J.: Tabellen zur hydraulischen Berechnung von Steinzeugrohren. Herausg. Fachverband der Steinzeugindustrie e. V. Frechen b. Köln 1972.

7. ПРОЕКТ ДРЕНАЖА (ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ)

Перед началом разработкн проекта дренажа по данным почвенно-гидрологическнх исследованнй местности (см. разд. 3) намечают способы дренирования (см. разд. 4). Для технической разработки проекта дренажа требуются:

— топографическая карта в масштабе 1 : 25 000;

— ситуацнонный план с высотнымн ординатамн и горизонталямн (для заболоченной территории необходимы горизонтали минерального дна торфяного болота, (см. разд. 3.2);

— результаты почвенных исследований (см. разд. 3.3);

— результаты почвенно-гидрологическнх исследований (см. разд. 3.4).

Необходимо стремиться к тому, чтобы предварительные изыскания и исследования на местности, а также разработка проектных материалов проводилнсь одним лицом. Если это невозможно, то автор проекта обязательно должен составнть себе представление о характере осушаемой территории путем ее обхода. Во время изучения террнтории автор проекта ставит перед собой вопрос: почему та нлн иная часть поверхностн оказалась избыточно увлажненной? (см. табл. 3.1).

Ответ на поставленный вопрос поможет выяснить причины и последствия переувлажнения почв, что чрезвычайно важно для правильного выбора способа осушения.

Дренаж земельных участков должен выполняться только с помощью соответствующнх механизмов (за исключением дренажа нженерных сооружений).

7.1. ВОДОПРИЕМНИКИ

Только при налнчин удовлетворительного водопрнемника обеспечивается эффективное действие дренажа. В данной книге мы можем лишь коснуться проблемы водопрнемника.

Устройство новых водопрнемников илн изменение старых часто связано с нарушением водного баланса в пределах водосборной площадн. Проведенне таких мероприятий входнт в компетенцню местных водохозяйственных органов илн других учреждений районного, городского или нного подчинения. При этом необходимо действовать в соответствии с законамн и предписаниями по охране окружающей среды, уходу за ландшафтом, использованию земельных площадей и т. д.

Не разрешаетси пронзводить работы, связанные с нарушением режима влажных территорий, находящихся под особой охраной. Ширина необходимой водоохранной зоны, исходя из гидрологических условий, может быть определена по эмпирнческой формуле в

зависимости от водопроницаемости почвы и проектного заглубления водоприемника или коллектора:

$$l = 200 \cdot h \cdot k_f,$$

где l — ширина водоохранной зоны, м; h — проектируемое заглубление, м; k_f — водопроницаемость почвы, м/сут.

Регулирование водотоков и строительство осушительных насосных станций перекачки дренажных вод относятся к области сельскохозяйственной гидротехники.

7.1.1. Естественные водоприемники

В соответствии со стандартом ФРГ DIN 1185 (лист 2) водоприемники (ручьи, каналы) должны иметь достаточную глубину, чтобы дренажные устья располагались выше среднелетнего уровня воды и не менее 20 см от дна водоприемника. На участках глубокой вспашки среднелетний урез воды в каналах должен быть не менее чем на 20 см ниже плужной подошвы (см. рис. 4.9).

Если состояние водоприемников в естественных условиях не удовлетворяет требованиям запроектированных осушительных мероприятий, то следует установить (см. разд. 3.2), нельзя ли путем частичного регулирования с учетом ожидаемой осадки торфа на болотах (см. разд. 7.3.1) достигнуть достаточной глубины канала.

Поперечные сечения водоприемника должны обеспечивать пропуск воды при наиболее часто повторяющихся высоких уровнях. Если к водоприемнику примыкают сенокосы и пастбища, средние летние воды должны проходить при заполнении водоприемника до бровок. Для водосборной площади менее 2 км² гидравлические расчеты пропускной способности водоприемников можно не проводить, если их ширина по дну $s = 0{,}5$ м, глубина $t = 1{,}4$ м и заложение откосов 1 : 1 или положе.

Экология ручья или канала по возможности не должна нарушаться [4.8]. Исходя из этих условий, регулирование водоприемников должно производиться «близко к природе». Следовательно:

— при низком и среднем расходах воды в водоприемниках должен поддерживаться минимальный уровень воды (глубиной 25 см), что может обеспечиваться устройством донных порогов;

— водоток должен быть озеленен так, чтобы водная поверхность его находилась в тени. Например, посадками ольхи черной у основания откосов, вследствие чего следует ожидать резкого сокращения эксплуатационных расходов [7.5].

Важно, чтобы паводковые воды, а также воды интенсивных летних осадков стекали, не причиняя вреда. Это особенно важно, когда открытые каналы-водоприемники заменены на закрытые приемные трубчатые дрены (водоводы).

7.1.2. Дренажная насосная станция

Если потребная глубина водоприемника не может быть достигнута его регулированием или связана с чрезмерно высокими капиталовложениями, то следует выяснить возможности устройства насосной станции перекачки дренажных вод (рис. 7.1). При этом необ-

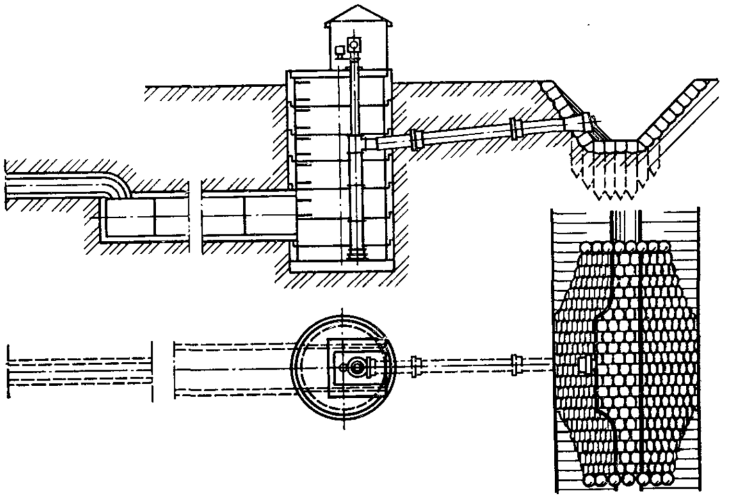


Рис. 7.1. Насосная станция перекачки дренажных вод с вертикальным насосом и электродвигателем.

ходимо тщательно исследовать геогидрологические условия дренируемой территории (см. разд. 3.4), потому что производительность насосов, а также эксплуатационные затраты в дальнейшем (прежде всего затраты на электроэнергию) зависят от поступления воды, в частности, с соседних водосборов (табл. 7.1).

Таблица 7.1. **Стоимость эксплуатации автоматической насосной станции перекачки дренажных вод с электродвигателями в зависимости от доли воды, поступающей с соседних водосборов**

Затраты на эксплуатацию насосной станции, марки ФРГ на 1 га	Количество воды, поступающей с соседних водосборов
Меньше 5	Нет
6—7	Мало
8—10	Умеренно
12—17	Много
Больше 20	Очень много

Указания по проектированию насосных станций перекачки дренажных вод имеются в стандарте ФРГ DIN 1184. В нем рассматриваются насосные станции перекачки дренажных вод со сравнительно небольших площадей осушения, например менее 100 га, с трубчатой подводящей линией (рис. 7.2 и 7.3). При бо́льших площадях осушения подводящий канал к насосной станции выполняется открытым. По экономическим соображениям и для надежно-

Рис. 7.2. Насосная станция перекачки дренажных вод для водосбора около 50 га.

Рис. 7.3. Насосные станции перекачки дренажных вод для водосбора около 400 га; *справа* — водовыпускное сооружение.

Рис. 7.4. Насосная станция перекачки дренажных вод с ветродвигателем для водосбора около 20 га; высота мачты около 7 м, высота водоподачи менее 0,6 м.

сти иасосиую станцию оборудуют двумя или бо́льшим числом насосиых агрегатов разной производительности.

Для дренируемых площадей, на которые извне поступает небольшое количество воды, модуль стока (q, л/с·га) берут по опытным даиным (см. табл. 6.2) (северо-западная часть ФРГ) и устанавливают параметры насосной станции. Для пропуска крупных паводков можно предусмотреть открытый канал или закрытый водовод с перекрывающим устройством. В нормальных случаях достаточно манометрической высоты подачи дренажных вод порядка 2—3 м. Важнейшие показатели насосных станций перекачки дреиажных вод приведены в таблице 7.2 [7.30]. В затраты на строительство насосных станций не включают расходы на подведение электроэнергии, которые могут колебаться в очень широких пределах.

Насосные станции перекачки дренажных вод с вертикальными лопастными насосами имеют несложную конструкцию, надежны в эксплуатации, характеризуются длительным сроком службы, работают полностью автоматически при незначительных эксплуатациоиных затратах.

На очень малых дреиируемых площадях (менее 25 га), занятых сенокосами и пастбищами, в изобилующей ветрами Голландии и северо-западной части ФРГ при высоте водоподачи менее 1 м успешно применяются полностью автоматические медленнодействующие водяные насосы с ветроприводом (высота башни ветрового пропеллера 3—7 м). Эти сооружения очень прочны и иадежны в эксплуатации и почти не требуют эксплуатациоиных затрат (рис. 7.4).

7.2. ТРУБЧАТЫЙ ДРЕНАЖ (ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ)

7.2.1. Дренажная система

Все дренажные линии, которые отводят воду в общее устье, образуют самостоятельную дренажную систему. Ее граиицами обычно служат местные водоразделы, дороги, изгороди и водоприемники; границы определиют заранее.

Таблица 7.2. **Мощиость насосных станций перекачки дренажиых вод и затраты на их строительство. Манометрическая высота водоподачи 2—3 м, иезначительиое поступление воды с соседних водосборов**

Сечение иапорной трубы, мм	100	175	200	250	300	370
Максимальный перекачиваемый расход воды, л/с	23	55	80	120	200	300
Мощность двигателя, кВт	2		3	4	6	11
Затраты на строительство, марки ФРГ на 1 га (без учета стоимости подключения к электросети)	410	350	290	240	200	170

Размеры самостоятельной дренажной системы обычно обусловливаются внутренним диаметром коллекторов. Для малого числа крупных самостоятельных дренажных систем на осушаемой территории характерно небольшое число устьевых участков, которые часто повреждаются. Однако при нарушении свободного стока в коллекторах нарушается осушение сравнительно большой площади.

Дренажные устья, согласно стандарту ФРГ DIN 1185, нельзя располагать выше мостов, водоспускных сооружений и плотин (в связи с возможным возникновением подпора), а также вдоль береговой полосы, подверженной опасности обрушения или заиления наносами. Дно дренажного устья должно располагаться выше среднелетнего уровня воды и не менее чем на 20 см выше дна водоприемника. Дренажные устья, подверженные опасности повреждения, тщательно защищают путем отмостки откосов и дна или другими способами.

7.2.2. Коллекторы

Коллекторы проводят по наиболее низким участкам местности. Однако следует избегать слишком больших глубин при пересечении гребней двускатной поверхности, а также изменений направления трассы коллекторов под большими углами. В точках излома трассы следует предусматривать контрольные шахты (см. разд. 8.8), как и при впадении многих коллекторов второго порядка или при длине коллекторов более 500 м (на торфяных болотах более 400 м).

Основы проектирования коллекторов представлены в таблице 7.3.

Глубина дрен — расстояние от дна дренажной траншеи до поверхности земли. Слой почвы над коллектором должен быть не менее 0,8 м, в исключительных случаях допускается 0,7 м, но требуется обоснование. При возможном проведении подпочвенной мелиорации следует учитывать рабочую глубину коллекторов.

Наибольшая длина коллектора определяется его максимальным внутренним диаметром (см. табл. 7.3). Наибольшие диаметры имеют трубы с муфтовыми соединениями. Через 200—300 м устраивают контрольные колодцы, в которые впадают коллекторы второго порядка.

Следует избегать пересечения коллекторов с дорогами, водоприемниками, лесополосами и живыми изгородями. Если это невозможно, то на участках пересечения закладывают проверенные на прочность керамические, бетонные, пластмассовые трубы.

В случае необходимости трубы могут укладываться на деревянные брусья или на бетонные опоры.

В местах пересечения с железной дорогой, линией проводной связи или водопроводом коллекторы можно строить только после получения письменного разрешения соответствующего учреждения.

При опасности поверхностной эрозии, например в узком глубоком разрезе местности, целесообразно укладывать параллельно два коллектора на расстоянии, равном расстоянию между дренами.

Если максимальная скорость течения в коллекторе превышает значения, приведенные в таблице 7.3, и существует опасность вымывания почвы, предусматривают шахтные перепады (см. разд. 8.9).

Таблица 7.3. **Основы проектирования коллекторов**
(по стандарту ФРГ DIN 1185, лист 2)

Показатели	Условное обозначение	Единица измерения	Трубчатый и беструбчатый дренажи	
			минеральная почва	торфяная почва
Минимальный уклон:				
плывун и пыль	I_{min}	%	0,45	—
почва, содержащая большое количество железа	I_{min}	%	0,3	0,3
пылеватый суглинок	I_{min}	%	0,25	—
песчаный суглинок	I_{min}	%	0,2	—
тяжелый суглинок или глина	I_{min}	%	0,15	—
торфяная болотная почва, содержащая в незначительных количествах железо	I_{min}	%	—	0,15
маршевая почва	I_{min}	%	0,05	—
Желательный (оптимальный) уклон	I_{opt}	%	4	0,4
Максимальный уклон	I_{max}	%	8	4
Наибольшая скорость воды при незакрепленных стыках	v_{max}	м/с	1,5	1
Наибольшая длина без колодцев:	l_{max}	м	500	400
при опасности занесения песком	l_{max}	м	100	—
при опасности выпадения охры, особенно в области маршей	l_{max}	м	Равна расстоянию между дренами*	—**
Минимальный условный проход (внутренний диаметр):				
для трубчатого дренажа		мм	65	65
для беструбчатого дренажа		мм	80	—
Максимальный условный проход*3		мм	150	150
Минимальный слой покрытия		м	0,8	0,8
Минимальная площадь отверстий для поступления воды*4:				
гончарная труба		см²/м	8	8
пластмассовая труба		см²/м	8	8

* В местах впадения дрен в коллекторы устраивать дренажные колодцы.
** Устраивать не трубчатые коллекторы, а беструбчатые дрены.
*3 При большем условном проходе применять бетонные и керамические трубы с муфтами.
*4 Поскольку желательно всасывающее действие дрен.

7.2.3. Всасывающие дрены

При уклоне местности более 0,5% всасывающая дрена проектируется по длине, поперек или под небольшим углом к наибольшему склону (так называемый поперечный дренаж). Продольный дренаж в направлении наибольшего уклона стандартом ФРГ DIN 1185 разрешается строить только в исключительных случаях (рис. 7.5).

Поскольку воды текут на местности перпендикулярно к горизонталям, дрены, расположенные поперечно к направлению потоков воды, улавливают поверхностные и подземные воды. Действие дрен, расположенных вдоль линий тока воды, обычно ограниченно. Кроме того, в рыхлом заполнении дренажных траншей возможна глубинная эрозия.

Верхние концы всасывающих дрен выводятся к расположенным поперек дренам до половины междренного расстояния ($a/2$) или до трети междренного расстояния при косом расположении всасывающих дрен. Для пограничных (окаймляющих) дрен, проходящих параллельно границам осушаемого участка, необходимо проектировать половинное междренное расстояние. Для дрен, проходящих параллельно глубоким каналам, полное расстояние между дренами считается от откоса канала. Расстояние от пограничных камней должно составлять не менее 1 м.

Основы проектирования всасывающего дренажа приведены в таблице 7.4.

Глубину дренажа определяют с учетом свойств почв, климатических условий, а также возделываемых сельскохозяйственных культур. Необходимо учитывать также возможные изменения производственного и другого характера (о болотах см. в разд. 7.3.1).

На минеральных почвах рекомендуется [7.31]:

— очень мелкое заложение всасывающего дренажа ($\leqslant$0,7 м) на малых участках с плохими водоприемниками, а также на пылеватых почвах, плывунном песке, если он врезан в более глубокий пласт;

— мелкое заложение всасывающего дренажа (0,8—0,9 м) на слабоводопроницаемых почвах (заболоченных связанной влагой), пылеватых почвах, плывунном песке, если он врезан в более глубокий пласт, и на слабоводопроницаемых почвах, заболоченных поверхностными застойными водами;

— среднее по глубине заложение всасывающих дрен (1,0—1,2 м) на почвах со средней водопроницаемостью;

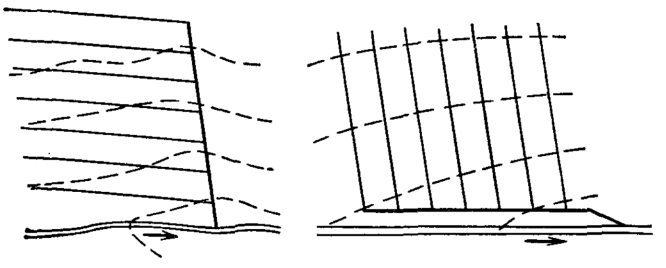


Рис. 7.5. Расположение дренажа вдоль и поперек горизонталей.

Таблица 7.4. **Основы проектирования всасывающего дренажа** (согласно стандарту ФРГ DIN 1185, лист 2)

Показатели	Условное обозначение	Единица измерения	Трубчатый дренаж		Беструбчатый дренаж*	
			минеральные почвы	болотные почвы	минеральные почвы	болотные почвы
Минимальный уклон	I_{min}	%	0,3**	0,3**	0,1*3	0,1*3
Желаемый уклон	I_{opt}	%	1—3	0,3—0,5	1	0,3—0,5
Максимальный уклон	I_{max}	%	8	1	3	1
Наибольшая длина:						
поперечного дренажа	l_{max}	м	200	150	100	120
продольного дренажа и при опасности заиления	l_{max}	м	150	150	100	120
на маршевых почвах	l_{max}	м	150	—	—	—
Минимальный внутренний диаметр		мм	50	50	80	—
Диаметр уширителя кротового плуга		мм	—	—	100	120—200
Глубина дренажа:						
малопроницаемая почва	t	м	0,8—1	0,9	0,5—0,6	0,9*4
проницаемая почва	t	м	1—1,2	1,2	—	1,3
край грядки на маршевой почве	t	м	0,7	—	—	—
середина грядки на маршевой почве	t	м	1,1	—	—	—
Специальные культуры	В зависимости от глубины корневой системы					
Минимальные площади отверстий для поступления воды:						
гончарная труба	—	см²/м	8	8	—	—
пластмассовая труба	—	см²/м	8	8	—	—

* Также для щелевого дренажа.
** Допустимо при искусственном уклоне до 0,1%, но не в почвах, содержащих много железа и пылеватых частиц.
*3 При длине до 20 м в виде исключения допустим также нулевой уклон.
*4 С учетом ожидаемой осадки торфа.

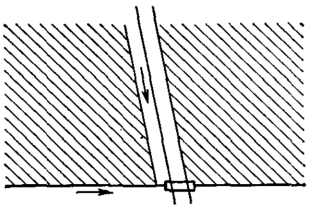


Рис. 7.6. Проведение всасывающих дрен при дорожном и другом строительстве.

— глубокое заложение всасывающего дренажа на богатых питательными веществами и известью мощных почвах, на участках, где водопроницаемые слои врезаны в более глубокий пласт, при возделывании растений с глубокой корневой системой (люцерна, свекла, рапс и др.);

— очень глубокое заложение всасывающего дренажа (1,5—1,8 м) при возделывании хмеля.

Длина всасывающих дрен, согласно стандарту ФРГ DIN 1185, не должна превышать 200 м при поперечном дренаже минеральных почв и 150 м при продольном дренаже минеральных почв и торфяных болот.

Пересечение всасывающих дрен с водоприемниками, дорогами и т. п. не допускается. Если же пересечение неизбежно, то устраивают коллекторы второго порядка (рис. 7.6).

Всасывающие дрены обычно впадают в коллектор сверху (исключение допускается только при опасности выпадения охры) (см. разд. 5.6). В местах впадения дрен следует применять фасонные детали (коленчатые и дырчатые трубы). Необходимо избегать острых углов.

Если коллектор расположен значительно ниже всасывающей дрены, следует предусматривать параллельный коллектор второго порядка на высоте всасывающей дрены.

Минимальный внутренний диаметр всасывающей дрены при трубчатом дренаже составляет около 50 мм.

Следует придерживаться уклона всасывающей дрены не менее 0,3%.

На торфяных болотах и при создании искусственного уклона возможно заглубление дрены.

7.2.4. Родники, источники и воды соседних водосборов

Родники, источники, а также воды соседних водосборов затрудняют работу дренажной системы. На краевых участках долин необходимо постоянно следить за напорными грунтовыми водами (см. разд. 2.2 и 3.3.4), потому что от них зависит расстояние между дренами (см. разд. 6.6).

Воду родников и источников необходимо перехватывать (рис 7.7).

Дренажные траншеи следует заполнять фильтрующим материалом. Источники и родники, согласно стандарту ФРГ DIN 1185, надо отводить, если:

— поступление воды велико;

— вода поступает круглый год;

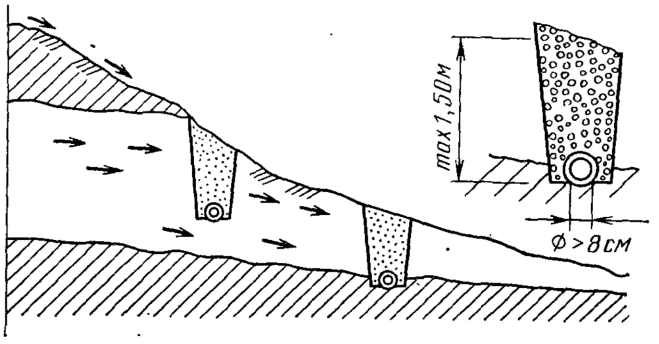


Рис. 7.7. Расположение ловчих дрен для вод, поступающих с внешних водосборных площадей (стандарт ФРГ DIN 1185, лист 1).

— вода содержит много железа (см. табл. 3.12) и существует опасность отложения охры.

Воду, поступающую в виде поверхностного или подземного стока с прилегающих к дренируемому участку площадей, необходимо перехватывать ловчими дренами, уложенными поперек потока. Часто требуется несколько ловчих дрен, причем их обычно устраивают до проведения собственно дренажных мероприятий (см. рис. 7.7).

7.2.5. Поверхностные понижения (мульды)

Поверхностные понижения (мульды) обычно переувлажняются за счет атмосферных осадков. Если такие участки невозможно или трудно осушить открытыми каналами, то требуются особый трубчатый дренаж или поглощающие колодцы (шлюкеры). На пашне такой способ осушения применяется в исключительных случаях в связи с опасностью заиления дрен.

Поглощающий колодец представляет собой каменный и гравийный фильтр (рис. 7.8). На пашне мощность пахотного слоя почвы должна быть не менее 30 см.

В связи с опасностью заиления поглощающие колодцы подключают к коллекторам короткими параллельными дренами (см. рис. 7.8, *вверху*).

В траншее вокруг коротких всасывающих дрен может быть предусмотрена засыпка фильтрующим материалом или укладка пористых плит из фильтрующего материала стиропора (см. разд. 8.6).

Ниже поглощающего колодца или ниже дрен с фильтрующими материалами на коллекторе должен быть контрольный колодец.

7.2.6. Нарушения дренажного стока

Дренажный сток может быть нарушен в коллекторах и всасывающих дренах вследствие отложения мелкозернистого песка, ила, пылеватых частиц, гидроокиси железа, размножения бактерий, водо-

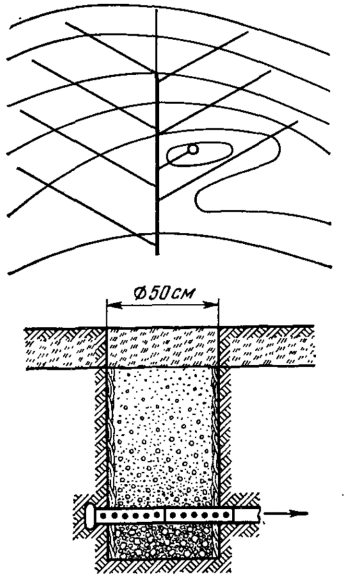


Рис. 7.8. Осушение поверхностных мульд шлюкерами и дополнительными коллекторами [7.10].

рослей, грибов или проникновения корней растений. Если такая опасность заранее известна, то, согласно стандарту ФРГ DIN 1185, предусматривают маленькие дренажные системы с длиной всасывающих дрен не более 150 м и с устьями дрен на уровне дна коллектора. Чтобы в дрены не попадали песок и ил, применяют специальные дренажные фильтры (см. разд. 8.3) или уменьшают глубину заложения всасывающих дрен (см. разд. 7.2.3). Причины заохривания рассмотрены в разделе 5.6.

Самоочистка дренажных труб от отложившегося ила, согласно рисунку 6.4, может ожидаться при работе трубы полузаполненным сечением, т. е. при уклоне большем, чем 1% (см. табл. 7.3 и 7.4).

Водоросли проникают в коллектор обычно примерно на 10 м от устья в системах, приуроченных к низменностям и болотам, и могут быть легко устранены.

Фильтрационные воды из силосохранилищ не должны попадать в дренажные системы.

Подобные фильтрационные воды обычно бывают весьма богаты углеводами и органическими соединениями азота. Если эти соединения попадают с фильтрационными водами в дрены и коллекторы, то вместе с содержащимися в фильтрационных водах водорослями, грибами и бактериями они способствуют созданию микробной системы, часто образующей характерный рыхлый грязный слой так называемых «грибов сточных вод». Дренажные трубы заполняются лохматыми слизистыми и плавучими отложениями от белого до желтого цвета, при заохривании — коричневого цвета, издающими запах сероводорода.

Эти отложения могут полностью закупорить дрены и перекрыть дренажный сток.

Было установлено, что под необлицованной траншеей с силосом из ботвы сахарной свеклы, хранившимся всего лишь год, в последующее полугодие зимой закупорка дрен, несмотря на успешные промывки, наступила сиова [7.16].

Следовательно, надо считаться с многолетним действием закупорки дрен, так как микроорганизмы в почве над дренажными трубами существуют многие годы и, таким образом, сохраняется опасность закупорки дрен и нарушения стока.

Также особо большие количества бесподстилочного навоза, получаемого в хозяйстве (например, из мест массового содержания животных), могут привести к нарушениям стока в дренажных системах, как показывает следующий случай.

Трактор с бочкой бесподстилочного навоза увяз на дренированном поле, и бочка была опорожнена на месте. Уже через несколько недель дренажная система вышла из строя. Раскопанные дрены оказались заполненными отложениями, описанными выше.

Проникновение корней растений в дрены можно в значительной степени предотвратить путем засыпки траншей шлаком, содержащим серный колчедан. Коллекторы, несущие воду в сухой почве, особенно подвержены опасности зарастания корнями сорняков. В них рекомендуется тщательно уплотнять стыки.

Последующие промывки облегчаются при частом расположении контрольных колодцев или отдельных дрен (см. разд. 10.4).

7.3. ОСОБЕННОСТИ ТРУБЧАТОГО ДРЕНАЖА (ТОРФЯНОЕ БОЛОТО, МАРШИ, ВИНОГРАДНИКИ, ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ)

7.3.1. Дренаж на торфяном болоте

Известно, что осушенное торфяное болото подвержено осадке (см. разд. 3.2). Торф в отличие от минеральных почв не обладает устойчивой структурой. Все торфа имеют неустойчивую волокнисто-губчатую структуру, объем пор которой составляет 97—80%. Поры почти полностью заполнены водой (см. рис. 2.10).

В процессе осушения болота изменяется структура торфа. Его крупные поры освобождаются от воды и уменьшаются. В результате затрудняется движение воды и воздуха в торфе (рис. 7.9).

В процессе осушения, растянувшемся на многие десятилетия, из торфяного участка грунтового питания образуются торфяные почвы, увлажняемые верховодкой и связанной водой.

Динамика почвы, вызванная осушением болота, практически почти не прекращается. Это явление давно известно как осадка болота.

Таблица 7.5. **Состояние болота после предварительного осушения, плотность слежавшегося слоя торфа и другие параметры** [7.25]

Оценка осушения в натуре	Относительная плотность слежавшегося слоя торфа	Объем сухого вещества, %	Фактор a	Формула осадки торфа
Не произошло	Почти плавающий	<3	4,0	$S=0{,}32T+0{,}26$
Очень незначительное	Рыхлый	3—5	2,85	$S=0{,}23T+0{,}18$
Незначительное — умеренное	В значительной степени рыхлый	5—7,5	2,0	$S=0{,}16T+0{,}13$
Умеренное — хорошее	В значительной степени плотный	7,5—12	1,4	$S=0{,}11T+0{,}10$
Интенсивное и длительное	Плотный	>12	1,0	$S=0{,}08T+0{,}07$

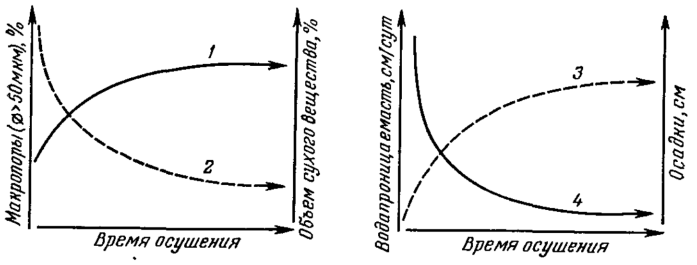


Рис. 7.9. Влияние осушения торфяного болота на структуру, осадку и водопроницаемость торфа [7.3]:

1 — объем сухого вещества; *2* — быстродренируемые поры диаметром более 50 мкм; *3* — осадка торфа; *4* — водопроницаемость (коэффициент фильтрации).

Ожидаемую осадку болота при осушении на нормальную глубину рассчитывают по эмпирической формуле Халлакорпи — Зегеберга (рис. 7.10) [7.25].

$$S = a(0{,}080T + 0{,}066),$$

где S — осадка торфа, м; T — мощность торфа, м; a — фактор плотности слежавшегося слоя торфа, который определяется аналитически на основе объема сухого вещества (см. разд. 3.9.1).

При повторном осушении болота поверхность его оседает еще на 10—30 см [7.9].

В таблице 7.5 приведены параметры осушения торфяного болота.

В болотных профилях со слоистыми торфами и переменной относительной поверхностью отдельных слоев осадку определяют постепенно. В связи с тем что в основу эмпирической формулы положены данные замеров осадки поверхности, осадку глубоких слоев торфа определяют в виде разницы осадки поверхности и осадки вышележащего слоя. Ход расчета иллюстрируется примером с использованием графика (см. рис. 7.10). Сумма осадок слоев представляет собой общую осадку поверхности болота.

0—1,5 м (относительно плотный слой торфа)

$$S = 0{,}11 \cdot 1{,}5 + 0{,}10 = 0{,}27 \text{ м};$$

1,5—3,0 м (относительно рыхлый слой торфа)

$$S = (0{,}16 \cdot 3{,}0 + 0{,}13) - (0{,}16 \cdot 1{,}5 + 0{,}13) = 0{,}24 \text{ м};$$

3,0—5,0 м (рыхлый слой торфа)

$$S = (0{,}23 \cdot 5{,}0 + 0{,}18) - (0{,}23 \cdot 3{,}0 + 0{,}18) = 0{,}46 \text{ м}.$$

Суммарная осадка = 0,97 м

Фактические значения осадки поверхности могут отклоняться от расчетных на ±25%. Осадка болота S определяется для глубины заложения дренажа 1,1 м. Отклонения пропорциональны следующему соотношению:

$$S' = S \frac{1{,}1 \pm b}{1{,}1}.$$

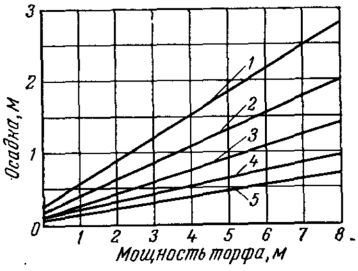


Рис. 7.10. Номограмма эмпирической формулы осадки торфа [7.25]:

1 — почти плавающий; *2* — рыхлый; *3* — довольно рыхлый; *4* — довольно плотный; *5* — плотный.

Дальнейшее понижение поверхности торфяного болота в результате выемки торфа, планировки поверхности, корчевки и т. д. следует учитывать отдельно [7.3]. При использовании осушенного торфяника в качестве пахотного угодья происходит дальнейшее понижение поверхности вследствие окисления торфа на 1—2 см в среднеевропейских условиях и на 5—12 см в год в субтропическом и тропическом поясах [7.4].

На глубоких болотах дают осадку все слои торфа (рис. 7.11). Осадка торфа над дреной больше, чем под ней. В результате уменьшается глубина дренажа, что следует учитывать при проектировании (табл. 7.6).

Если слежавшийся торф рыхлый, то из-за просадок нельзя применять трубчатый дренаж. Дренаж на торфяных болотах следует проектировать по рельефу минерального дна (см. рис. 3.2 и 3.3). Коллекторы надо проводить по низким отметкам минерального дна, где возможны наибольшие осадки торфа. При осадке поверхности болота более чем на 0,5 м целесообразно проектировать отдельные дрены с открытыми коллекторами (каналами).

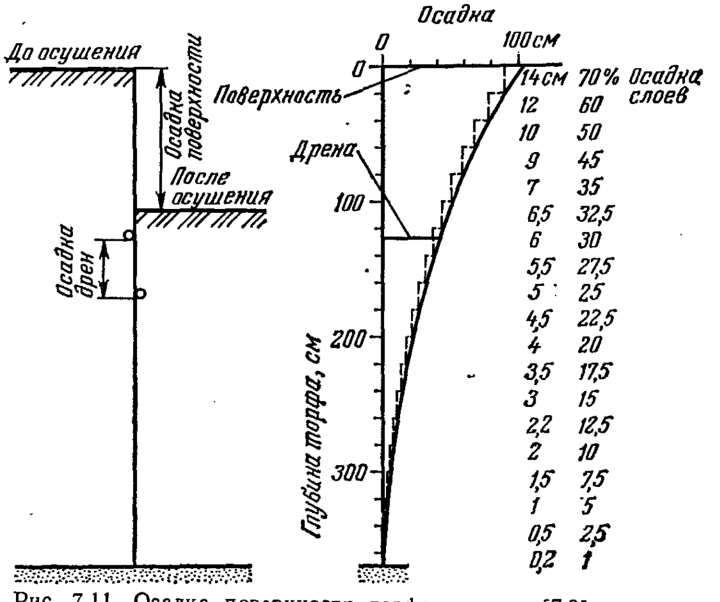


Рис. 7.11. Осадка поверхности торфа и дрен [7.3].

Таблица 7.6. **Увеличение глубины закладки дрен или каналов на болотах в зависимости от последующего уплотнения торфяной толщи, %** [7.3]

Относительная плотность слежавшегося слоя торфа	Требуемая глубина дна после осадки торфа, 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 применяется					

Глубина дренажа на торфяных болотах после осадки должна составлять:

— при сильноводопроницаемых торфах 1,2 м;

— при слабоводопроницаемых торфах 0,9—1,0 м.

Следует учитывать поправки согласно таблице 7.6. Разница в использовании не принимается во внимание (кроме глубокой вспашки, см. разд. 4.4 и 7.8.2).

Трубчатый дренаж в связи с затратами рекомендуется лишь только на достаточно водопроницаемых торфах ($k_f \geqslant 0{,}06$ м/сут). Такие болота возникают в результате грунтового заболачивания. Расстояния между дренами (см. разд. 6.3) могут быть рассчитаны, но для этого необходимо определить водопроницаемость после ожидаемой осадки торфа (см. рис. 7.9).

Расстояния между дренами (рис. 7.12) могут быть определены для верхового и низинного болот в зависимости от степени разло-

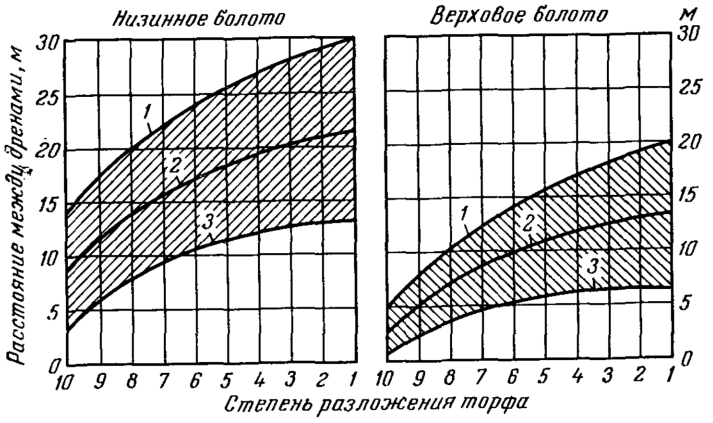


Рис. 7.12. Номограмма для определения расстояния между дренами на болотах северо-западной части ФРГ в зависимости от интенсивности предварительного осушения:

1 — слабое предварительное осушение; *2* — среднее значение; *3* — сильное предварительное осушение.

жения и предварительного осушения. Установленные расстояния между дренами пригодны для среднегодовых осадков порядка 700 мм. На каждые 100 мм осадков расстояния между дренами соответственно уменьшают или увеличивают на 1 м. Чем мощнее иаходящийся ниже дна дрены водопроницаемый слой торфа ($D>0{,}5$ м) и чем больше древесных остатков в торфе (буковый торф), тем больше расстояиие между дренами. Размеры и объем предварительного осушеиия могут быть оценены для местных условий по продолжительиости, глубине и интенсивности дренажа.

Примеры.

1. Низинное болото, предварительиое осушеиие умеренное.

Дано: степень разложения торфа в среднем Н 5—6.

Определить расстояние между дренами.

Согласно рисунку 7.12 (*левый*), первоначальное расстояние между дренами (*а*) равно 17 м, а после осадки торфа — 11 м.

2. Верховое болото, предварительное осушение интенсивное.

Дано: степень разложении торфа в среднем Н 2—3.

Определить расстояние между дренами.

Из рисунка 7.12 (*правый*) видио, что расстояние между дренами равио 19 м. Примерно через два десятилетия оно сокращается до 12,5 м, и окончательное его значение составляет 6—7 м. Здесь рекомендуется беструбчатый дренаж (см. табл. 5.1 и 5.3 и рис. 7.20), уложеиный бестраншейным способом. На болотах с сильно разложившимися торфами преобладает переувлажнение за счет верховодок и связаииой воды. На таких болотах рекомеидуется беструбчатый (кротовый) дренаж с отдельиыми устьями для каждой дреиы (см. разд. 4.2, табл. 5.7 и 5.3 и рис. 7.20).

Чтобы относительно тяжелые гончарные трубы не смещались на болотиых почвах, применяют, например, соединительные муфты. Для относительно легких дренажных труб из полимеров, в частности из ПВХ, подобиые муфты не требуются (табл. 7.7). Однако в некоторых случаях такие трубы следует закреплять, чтобы они не всплывали.

На мелких верховых болотах с песчаиыми основаниями вместо трубчатого дренажа рекомендуется проводить глубокую вспашку (см. разд. 4.4).

Таблица 7.7. Плотность дренажных труб и их давление на дно траншей в сравнении с соответствующими показателями для торфа

Материал	Плотность, г/см³	Давление на дно траншеи, г/см²
Гончариая дренажная труба	1,7	15
Дренажная труба из ПВХ	1,3	3
Торф (сырой)	1,0	1

На вторично уплотненных вследствие осадки торфа осушеиных болотах, которые, иесмотря на хорошо выполнеииый трубчатый дренаж, подвержены влиянию времеиных верховодок, рекомендуется проводить щелевание с интервалами 2—4 м в поперечном направлении к дренам. Таким путем может быть устранено скопление избыточной влаги [7.13].

7.3.2. Дренаж маршевых почв

Для дренажа маршевых почв существуют особые правила, согласно которым необходимы анализ и обобщение практического опыта, а также учет результатов почвенно-мелиоративных исследований.

По геологическим и географическим условиям различают следующие разновидности маршей:

— марши, расположенные на морском побережье и питаемые соленой морской водой;

— марши, питаемые как соленой морской, так и пресной водой (марши, питаемые солоноватой водой);

— марши с уплотненным слоем подпочвы, питаемые солоноватой водой;

— марши речных побережий.

Кроме того, существует почвенно-генетическое подразделение маршей на соленые, известковые, илистые и марши с уплотненным слоем подпочвы [7.12].

Марши используются в сельском хозяйстве Северо-Западной Европы многие столетия. В зависимости от местных условий на них располагают частую сеть мелких осушительных каналов или же устраивают сравнительно глубокие осушительные каналы между широкими выпуклыми грядами.

Согласно стандарту ФРГ DIN 1185, при дренаже и последующих мероприятиях следует обращать пристальное внимание на естественное и искусственное переслаивание почвы.

В связи с неудовлетворительно расположенными на безуклонной местности водоприемниками, опасностью заиления дрен и закупорки их охрой, а также по причине близкого расположения осушительных каналов целесообразны только единичные (выборочные) дрены. Возможен систематический трубчатый дренаж с закрытыми трубчатыми коллекторами и дренажными насосными станциями перекачки дренажных вод, если позволяют гидравлические условия [7.17].

Они себя оправдывают, несмотря на высокую стоимость строительства, так как снижают затраты на эксплуатацию дренажной сети и уменьшают потери земли за счет канав.

Расстояния между дренами часто определяются принятыми в данной местности или в конкретных условиях расстояниями между мелкими осушительными каналами или между грядами. При мелких каналах дрены проводят с одной стороны, при глубоких межгрядовых каналах — с обеих сторон. При глубине дренажа 1 м принимают следующие средние расстояния между дренами (a) [7.12]:

приморские марши — 10—20 м;

марши со смешанным водным питанием солоноватой водой — 8—15 м;

речные марши — 8—20 м.

Марши со смешанным питанием и водонепроницаемой подпочвой характеризуются верховодками. Трубчатый дренаж на таких маршах неэффективен, а возможность применения беструбчатого (кротового) дренажа в настоящее время изучается (см. разд. 4.2 и 5.2).

Глубина дрены на начальном участке должна быть достаточной также после частичного выравнивания гряд и заполнения межгрядовых каналов илом и оползшим грунтом. Средняя глубина дрен

свыше 1 м более благоприятна по сравнению с мелким заложением дрен, размещенных на близком расстоянии друг от друга. Такая схема непригодна только для маршевого болота, лежащего на водонепроницаемом минеральном основании, а также при бестраншейной укладке трубчатого дренажа. В этих случаях следует руководствоваться таблицей 5.1.

При опасности заиления дрен и отложения в них охры следует ограничивать их длину (не более 100 м), а минимальный уклон принимать 0,3%, исходя из условий работы дренажного фильтра (см. разд. 5.1.3 и 8.3).

При систематическом трубчатом дренаже уклон коллекторов может быть ограничен до 0,05%. Дренажные колодцы диаметром 0,5 м, выполняемые в засыпке траншей, размещают на расстоянии менее 70 м друг от друга. В устьях коллекторов, впадающих в трубчатые водоприемники, предусматривают контрольные колодцы (см. рис. 8.26).

После укладки трубчатого дренажа поверхность почвы разравнивают. При этом необходимо обеспечить сток поверхностных вод, скапливающихся в местных понижениях рельефа над трассами засыпанных мелких каналов. При выравнивании поверхности следует сохранить верхний гумусовый слой почвы, поэтому планировку надо проводить лишь при высохшей почве. Постепенное выравнивание гряд в ходе пахотного землепользования лучше планировки в один прием [7.12].

При глубине дренирования более 1 м дрены часто проходят через почвенные слои с высокой и очень высокой водопроницаемостью, на которых допускаются большие расстояния между дренами (см. разд. 6.3). При проектировании дренажа следует руководствоваться таблицей 5.1.

Структура маршевых почв может быть улучшена известкованием и внесением фосфорных удобрений, что подтверждается анализами физических и химических свойств почв (см. разд. 3.9).

7.3.3. Дренаж виноградников

Виноградники по климатическим условиям обычно закладывают на склонах. Если склоны круче 10%, то на них могут быть выходы родников, грунтовых вод, мочажины. При плоском рельефе поверхности почвы наблюдается верховодка или связанная вода.

Согласно стандарту ФРГ DIN 1185 (лист 1), всегда следует устанавливать причину переувлажнения почвы (см. разд. 2 и 3). Для этого необходимо:

— устанавливать геологическое строение (простирание и падение слоев);

— наблюдать за источниками и пластовыми водами после снеготаяния или длительного периода дождей;

— проводить почвенную съемку (виды и типы почв, структура почв).

Воды источников и пластовые воды перехватывают ловчими дренами или поглощающими колодцами (шлюкерами, см. разд. 7.2.4). При этом не всегда могут быть учтены особенности последующего использования участка.

Дороги на виноградниках надо осушать с верхней стороны склона коллектором диаметром не менее 80 мм с фильтрующим

слоем. Глубина коллектора составляет 0,8—1,0 м (до отметки основания дороги).

На участках до посадки растений дренаж выполняется поперек и наискось. Если же на виноградниках в виде исключения требуется продольный дренаж, то на расстояниях, равных трехкратным междренным расстояниям, устраивают ловчие дрены (см. разд. 7.2.4).

Максимальная скорость течения берется из таблицы 7.3, максимальный уклон — из таблицы 7.4, причем эти величины не должны превышаться. Должна предупреждаться возможность возникновения линейной эрозии (см. разд. 7.2).

При водопроницаемом основании коллекторы выполняют из труб с уплотненными стыками, для того чтобы воспрепятствовать просачиванию и утечке из них воды.

На почвах с верховодкой и связанной водой дополнительно к поперечному дренажу рекомендуется проводить подпочвенные мелиорации (см. разд. 4.3 и 5.3). Дренажные траншеи до плужной подошвы надо заполнять фильтрующим материалом.

Оптимальная глубина всасывающих дрен 1,0—1,2 м. Врастание корней винограда в дрены, которого ранее опасались, сейчас, согласно стандарту ФРГ DIN 1185 (лист 1), не наблюдается.

Расстояние между дренами определяют по рекомендациям, изложенным в разделе 6.3.

7.3.4. Дренаж в оползневых районах

В районах, подверженных оползням, как например в зоне флишевых и молассовых отложений в Северных Альпах, оседают большие участки местности и наблюдаются глубокие 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 [7.8].

Выходы родников и места избыточного увлажнения могут быть осушены выборочными и ловчими дренами (см. рис. 4.1 и 7.7).

Согласно опыту, накопленному в Австрии и Швейцарии, в таких районах целесообразно устраивать каменный или фашинный дренаж (см. рис. 9.16).

В данном случае рекомендуется предусматривать устройство водопроницаемой фильтрующей засыпки траншей (см. рис. 8.12, *d*). В зонах флишевых и молассовых отложений следует применять только беструбчатый дренаж [7.18]. Почвенные мелиорации имеют своей целью предотвращение возникновения дикого неуправляемого режима стока и как следствие разрушения ландшафта на больших площадях. Дренаж в данных случаях служит в основном не сельскому хозяйству, а целям сохранения ландшафта и почвенного покрова в его пределах. На местности с большими уклонами поверхности при выпадении интенсивных осадков возникает опасность, связанная с ливневыми паводками, для предотвращения которой следует предусматривать регулирование поверхностных водотоков.

7.3.5. Дренаж засоленных почв

Для засушливых и полузасушливых областей орошения, согласно обширному опыту, собранному ФАО — ЮНЕСКО, необходимость дреиажа возиикает только при количестве среднегодовых осадков менее 500 мм.

Объем осушеиия определяется, с одной стороны, величиной расходов инфильтрующей воды (I) по формуле водного баланса (см. разд. 2.1): $I+N=V+A+(R-B)$. Величиина стока, с другой стороны, зависит от содержаиия солей в оросительной воде и почве (см. разд. 2.3.4 и 3.8), солевыносливости культурных растений (см. табл. 3.13) и коэффициеита иифильтрации k_l (табл. 7.8).

Таблица 7.8. **Средиие величины компонентов формулы, служащей для расчета годовых промывных норм для вымыва солей из почвы** [7.7]

Символ		Размерность	Песок	Суглинок	Глина
k_l	Коэффициеит инфильтрации	—	0,8	0,6	0,3
ET	Эвапотранспирация	дм/ар	9	9	9
N	Осадки	дм/ар	3	3	3
EC_t	Переменная электрическая проводимость почвы	мСи/см	4	4	4
EC_i	Электрическая проводимость в иифильтрациоиной воде	мСи/см	2	2	2
P	Потребная промывиая иорма	дм/ар	2,5	3,3	6,6
I	Потребная норма иифильтрации	дм/ар	8,5	9,3	12,6
	Естественный дренаж (+/или дополнительный)	дм/ар	0	+2	—3
A	Сток	дм/ар	2,5	3,3	6,6
A_z	Дополиительный сток	дм/ар	2,5	1,3	9,6

Среднее значение промывной нормы получено для песчаной почвы P=2,5 дм/ар=250 мм/ар; для глинистой почвы P=6,6 или 9,6 дм/ар=660 или 960 мм/ар. Дальнейшие подробности могут быть получены из источиików [7.7] или [7.33].

При высоких промывных нормах для вымыва солей (по-английски Percolation-P) следует учитывать, что особенно иа связиых почвах значительная часть просачивающейся воды может бесполезно стекать через трещины на поверхности почвы, образующиеся в результате ее высыхания, различные расселины, а также через относительио крупиые почвенные поры.

Для среднегодового балаиса солей высота промывной нормы рассчитывается по следующей формуле [7.7]:

$$P=\frac{EC_i\cdot(ET-N)}{k_l\cdot(2EC_t-EC_i)},$$

где P — промывиая норма, дм/ар; EC_i — электрическая проводимость иифильтрациоиной воды; EC_t — переменная электрическая

проводимость почвы (см. табл. 3.13); k_i — коэффициент инфильтрации почвы; ET — эвапотранспирация, дм/ар [7.22, 7.28, 7.33]; N — осадки, дм/ар.

Таблица 7.8 содержит важнейшие данные для трех видов почв, служащие для расчета среднегодовых промывных норм.

Критическая глубина грунтовых вод в областях орошения (малая опасность засоления) зависит от капиллярности почвы и содержания солей в грунтовых водах (табл. 7.9). В ряде областей критическая глубина грунтовых вод превышает 10 м.

По данным положительного и отрицательного опыта, накопленного в течение многих десятилетий в США и СССР, трубчатый дренаж в засушливых зонах орошения следует закладывать на глубину 1,8—3,0 м при расстояниях между дренами 80—150 м. Глубина осушительных каналов в данном случае превышает 4 м [7.7] при условии достаточной водопроницаемости почвы (см. табл. 5.1).

Таблица 7.9. Критическая глубина грунтовых вод для орошаемых суглинистых почв средней водопроницаемости в зависимости от содержания солей в грунтовых водах

Критическая глубина грунтовых вод, м	Содержание солей в грунтовых водах, г/л
1,0	0,1
1,5	1,5
2,5	2—3
3,0	3—10
3,5	20—30

В слоистой почве и почвах с малой водопроницаемостью (k_f<16 см/ сут) глубина дренажа принимается 1,2—1,6 м, и соответственно сокращаются расстояния между дренами (см. разд. 6.4). При этих условиях имеется больше вероятности того, что инфильтрующаяся в почву вода действительно просочится к дренам.

О дренаже, культивировании и орошении засоленных почв в Испании недавно подробно сообщалось в литературе [7.1]. Об экономических проблемах при рассолении почв смотри источник [7.6].

При дренаже в полузасушливых и засушливых районах орошения необходимо проводить тщательные почвенные исследования, чтобы выяснить действующую в пределах местообитания систему взаимного влияния факторов: почва — климат — растение — человек. Необходимо постоянно контролировать содержание солей в почве (EC), поливной воде и воде, отводимой с орошаемого участка дренажными коллекторами (солевой баланс) для предотвращения засоления [7.7, 7.28, 7.33].

7.3.6. Дренирование отвалов городского мусора

Федеральный закон 1972 г. об удалении мусора регулирует складирование отбросов на центральных отвалах. Так как состав материалов отбросов может сильно колебаться, а тем самым и уплотнение складируемого материала, то по имеющемуся опыту следует считаться с образованием временных или длительных расходов фильтрационных вод. При протекании через толщу отвалов мусора эти воды обогащаются такими содержащимися в нем ма-

териалами, как биохимически легко или трудно выделяемые углеводороды, цветные металлы и соли [7.26]. Если они попадают в грунтовые воды, то могут явиться причиной их значительного загрязнения. Если же фильтрационные воды скапливаются над водонепроницаемым слоем подошвы отвала, то в нем создаются анаэробные условия. Последнему надо воспрепятствовать, так как образующиеся в анаэробных условиях метан и сероводород затрудняют процесс дальнейшей рекультивации. Для упорядочения эксплуатации отвалов городского мусора необходимо устраивать дренаж их оснований, обычно выполняемый над уплотненным дном отвала (из глины, извести, асфальта или слоев пластмассовой пленки) в виде выстилки из гравия или шлака толщиной не менее 30 см. Внутренний диаметр дрен должен быть не менее 80 мм. При расчете диаметров дренажных коллекторов и расстояний между дренами расчетные расходы следует увеличивать на 50%, все остальные расчеты производить согласно разделам 6.1—6.3.

Поступающие на участок воды должны надежно перехватываться и отводиться ловчими дренами (см. рис. 7.7).

Имеющиеся в продаже гофрированные трубы из ПВХ пригодны для отвалов высотой до 12 м [7.32]. При большей высоте отсыпки отвалов необходимы дренажные трубы с возможно большими входными отверстиями (см. разд. 8.7). Дренажные трубы должны быть устойчивы к воздействию давления, температуры более 70 °С и растворителей всех видов, а также масел. Трубы должны покрываться эластичным материалом, например толстыми кокосовыми матами. Дренажный слой должен выполняться из гравия достаточно крупных размеров (более 80 мм) с гладкой поверхностью, чтобы не происходило его закупорки; при просадках дренажный слой образует свод [7.35].

Устье коллектора выводится в контрольную шахту под уровень воды, для того чтобы в дренажную систему не мог проникнуть воздух, который может вызвать взрывоопасную ситуацию (метан+кислород); кроме того, велика опасность возникновения заохривания дрен. Выполнение необходимых промывок дренажа с применением специального промывочного устройства показано на рисунке 7.25. О дальнейшем отводе дренажных вод с площадки отвала городского мусора решают органы водного надзора.

7.3.7. Дренирование площадей намыва

На территории Северогерманской равнины после 1970 г. и в будущем развертываются дорожное строительство и другие строительные работы, в процессе которых закладываются площади намыва, служащие для укладки разработанного органического и минерального грунта, непригодного к транспортировке на дальние расстояния. Для рекультивации отложения разработанного грунта, обычно имеющие мощность от 0,8 до 1,5 м, должны быть осушены. Возникающая в процессе осушения вентиляция окисляет отложения, придает им коричневый цвет, причем они дозревают до «почвы» с образованием горизонтов окисления и восстановления.

Чем больше связанных почвенных частиц (глина, пыль), а также торфа отлагается на полях намыва, тем дольше, технически труднее и дороже обходится необходимое осушение намытого участка. Причиной этого прежде всего является то, что обычные дре-

нажные машины и экскаваторы не могут передвигаться по поверхности намытого участка, намытый грунт неустойчив прежде всего в откосах и стенках и вынутые профили осушительных каналов зачастую быстро заплывают. Поэтому необходимые осушительные каналы второго порядка могут заглубляться лишь постепенно, в процессе осушения.

При отвоевании земли у моря на побережье Северного моря ФРГ и в нидерландских польдерах залива Ийсельмер применяют экскаваторы-амфибии (частично плавучие) с фрезерными рабочими органами для подводной разработки грунта. С их помощью прокладывается сравнительно частая сеть каналов внутри участка, сначала на расстоянии 24 м, а затем 12 м. Глубина каналов вначале составляет лишь около 25 см, причем из них образуются мульдообразные желобы. В зависимости от погодных условий каналы заглубляются постепенно до 60 см. Окончательная глубина каналов внутренней осушительной сети 1,0—1,2 м достигается не ранее чем через один-два года.

Окончательной формой осушения внутренних территорий является трубчатый дренаж, который, однако, вследствие высокой опасности заохривания дрен (см. разд. 5.6) применяется лишь после достижения почвой достаточной зрелости, а именно после приобретения ею коричневой окраски до глубины закладки дрен. Расстояния между дренами можно определить, руководствуясь разделами 6.4 или 6.5.

7.3.8. Агротерм (подогрев почвы)

Под названием агротерм подразумевается система трубопроводов, в которой осуществляется круговорот воды, не имеющей связи с почвенной влагой. Так как система трубопроводов прокладывается дренажными машинами, то ниже приводится описание этого способа подогрева почвы.

Агротерм представляет собой полезную и экономящую воду альтернативу обычному способу охлаждения водой из естественных источников, так называемый мокрый способ охлаждения, на производственных предприятиях (электростанциях, сахарных, нефтеперегонных и других заводах). Способ подогрева почвы испытывался с 1974 г. на трех участках с различными почвами и растительностью в Рейнской области и на одном участке в Баварии в рамках специальной программы исследований и развития [7.19]. Для подогрева почвы были заложены опытные поля площадью от 3 до 7 га. В Рейнской области использовались трубы из полиэтилена, обычно используемые в водоснабжении, внутренним диаметром 65 мм, которые, согласно стандарту ФРГ DIN 8074175, поставляются длиной более 500 м. Система труб укладывалась на глубину около 1 м на расстоянии 75 см друг от друга. Отдельные трубы подключались к кольцевым трубопроводам. С учетом морфологии местности трубы по возможности укладывались с естественным уклоном, в основном параллельно поверхности земли, но при необходимости также с искусственным уклоном. Подача теплой воды осуществлялась против уклона. Первые трехлетние результаты испытаний показали на отопляемых площадях сокращенное содержание влаги в почве, вследствие чего была возможна более ранняя и более поздняя обработка почвы по сравнению

с участками без подогрева [7.19], что соответствует осушению. О применении агротерма на почвах грунтового питания еще не имеется опытных данных.

7.4. ТРУБЧАТЫЙ ДРЕНАЖ ПРИ ЛАНДШАФТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

К созданию ландшафтов путем проведения агролесомелиоративных работ, согласно стандарту ФРГ DIN 18915 (листы/1—3), относится закладка садово-парковых насаждений. Оформление ландшафта и уход за ним должны осуществляться после завершения всех видов строительных работ [7.15].

Ниже рассматривается дренаж садов, парков, лесопитомников, спортивных площадок, площадок для игр и отдыха, полевых взлетных площадок, кемпингов, число которых постоянно растет, а также кладбищ. Под перечисленные объекты часто отводятся увлажненные участки. Перед проектированием дренажа необходимо выяснить причины переувлажнения почвы и его последствия (см. разд. 2 и 3). При оформлении ландшафтов может быть использован многолетний опыт дренажа сельскохозяйственных земель (см. разд. 4.6).

7.4.1. Сады, парки, лесопитомники

Для определения диаметров труб коллекторов за основу может быть принят расчетный сток (см. разд. 6.1). При особенно высоких нагрузках на единицу площади диаметры труб могут быть увеличены на 25%. Расстояния между дренами принимают согласно рекомендациям, содержащимся в разделах 6.3 и 6.6.

Если садовые насаждения и лесопитомники оборудованы противозаморозковыми дождевальными установками, то расстояния между дренами могут быть сокращены.

Рекомендуются следующие ориентировочные дождевальные нормы: минимальная норма дождевания 4 мм/ч в течение 7 или 8 ночных часов три дня подряд, что составляет от 28 до 32 мм/сут дополнительного дождя. Расстояния между дренами рассчитываются согласно разделам 6.3.1 или 6.7.

Расположение всасывающих дрен и особенно коллекторов, вода по которым часто проходит и в засушливые периоды, надо проектировать таким образом, чтобы глубоко проникающие корни кустарников и деревьев не нарушали работу дренажа (см. разд. 7.2.4). 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 поперечные всасывающие дрены. Отрезки коллекторов, проходящие рядом с отдельными крупными деревьями, необходимо тщательно герметизировать.

Глубина закладки дрен должна составлять 1,2 м и более (см. разд. 7.2).

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. При укладке гончарных дренажных труб рекомендуется для предотвращения проникновения в них корней погружать концы труб в антисептик для древесины карболинеум (см. разд. 7.2.6).

7.4.2. Площадки для игр, отдыха и проведения свободного времени

При определении внутренних диаметров коллекторов и расстояний между дренами следует увеличивать расчетный сток в зависимости от ожидаемых нагрузок на единицу площади на 25 и даже на 50%, так как здесь поверхностные и грунтовые воды должны стекать быстро, чтобы обеспечить непрерывное пользование площадками (см. также гл. 6).

Площадки для игр и т. п. обычно имеют дерновый слой, который создают и поддерживают разными способами. Глубина дренажа составляет 0,9—1,1 м (см. разд. 7.2). Строительство дренажа описано в главах 8 и 9. Очень важно тщательно засыпать траншеи. В почвах, заболоченных верховодкой и связанной влагой (см. разд. 3.4), необходимо заполнять дренажные траншеи водопроницаемым материалом (гравий, крупнозернистый песок и т. п.) (рис. 8.12, *г*).

7.4.3. Спортивные площадки

Работы по устройству и осушению спортивных площадок предусмотрены стандартом ФРГ DIN 18035. Кроме того, может быть использован источник [7.15]. Дренаж спортивных площадок должен обеспечить их использование в течение длительного срока, а также сохранение способности их поверхности выдерживать в течение всего периода эксплуатации допустимые расчетные нагрузки, сохранение дернового покрова и т. п.

При трубчатом дренаже спортивных площадок (рис. 7.13) достаточны следующие диаметры дренажных труб:

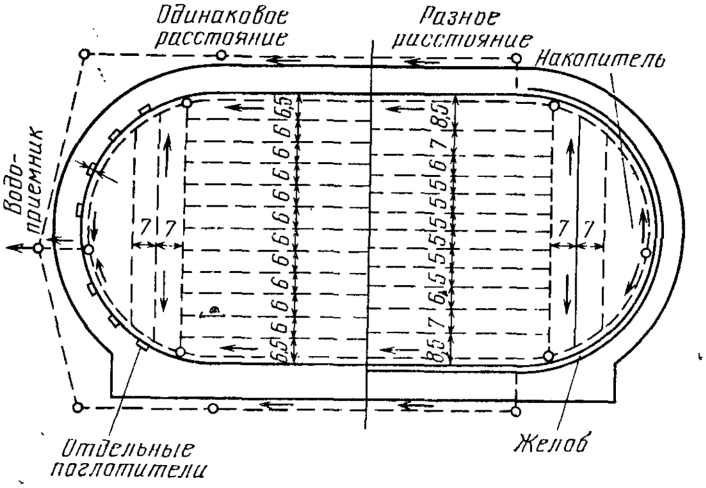


Рис. 7.13. Дренаж спортивных площадок (стандарт ФРГ DIN 18035).

— всасывающие дрены — 50 или 65 мм;
— коллекторы — 80 или 100 мм (для кольцевого дренажа).

Участок коллектора, отводящий воду, и расстояния между дренами рассчитывают по увеличенному вдвое дренажному стоку, потому что интенсивные ливневые осадки должны быстро отводиться дренажной сетью (см. разд. 6.1). При этом надо учитывать водопроницаемость покрытия площадок (дерновый слой, хрящ, гравий или другое твердое покрытие).

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 или создавать под основанием площадки плоский, так называемый ковровый дренаж (разд. 8.6).

Спортивное поле обычно осушают систематически сквозными всасывающими дренами с уклоном в обе стороны (коллекторы также с обеих сторон) или выборочными дренами по потребности (~~рис. 7.13, справа~~). 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 ~~до~~ 0,1%, остальные параметры принимают согласно ~~рекомендациям,~~ изложенным в разделе 7.2. Подключают ~~всасывающие~~ дрены к коллектору обычно за пределами спортивного поля.

Строительство дренажа описано в главах 8 и 9.

7.4.4. Спортивные аэродромы

Диаметры труб коллекторов и расстояния между дренами определяют по удвоенному расчетному стоку (см. гл. 6).

Осушение площадей с твердым покрытием, предназначенных для хранения оборудования и материалов, передвижения транспортных средств и посадки самолетов, осуществляется по общим правилам водоотвода и канализации [7.14].

Если твердое покрытие должно быть уложено на почвы грунтового питания, то при необходимости устройства систематического дренажа перед началом работ площади исследуют на прочность и устойчивость к деформациям.

При больших площадях подъем грунтовых вод под твердым покрытием может вызвать подъем пузырьков воздуха и поднятие покрытия.

Так как позднее непосредственный приток осадков прекратится, то дренаж должен проектироваться по нормальному расчетному стоку.

Проектные и строительные работы описаны в разделе 6.7.2 и главах 8 и 9.

7.4.5. Кладбища

На кладбищах места захоронения должны быть пригодны для повторного использования в среднем через 30 лет. Поэтому необходимо создать условия для так называемого сухого разложения. При систематическом поступлении воздуха создаются условия для суще-

ствования аэробных бактерий и непрерывного окисления, препятствующего гниению [7.11].

Совершенно непригодны переувлажненные почвы, где гробы длительное время находятся в зоне грунтовых вод. При затоплении не происходит разложение, потому что образующийся трупный воск способствует консервации.

Кладбища на участках с почвами грунтового питания, а также с верховодкой нуждаются в улучшении водного режима почв с помощью трубчатого дренажа. При этом необходимо отводить также воду, поступающую с соседних территорий. На кладбищах с глинистыми и пылеватыми почвами, заболоченными связанной водой, даже очень частый трубчатый дренаж с фильтрующей засыпкой траншеи обладает лишь условной эффективностью.

При копке могил грунт рыхлится на длительное время и при этом лучше вентилируется, что повышает эффективность дренажа.

Для определения диаметров коллекторов и расстояний между дренами на кладбищах расчетный сток надо увеличивать на 50% (см. разд. 6.1).

На существующих кладбищах коллекторы и всасывающие дрены обычно приурочивают к дорогам и рядам могил, причем коллекторы располагают вдоль главных магистралей, а дрены — вдоль второстепенных дорог или тропинок. Рекомендуется частая закладка контрольных колодцев.

Глубина закладки дрен должна превышать на 0,6—0,8 м глубину дна могил. Последняя колеблется от 1,6 до 2,5 м и в среднем равна 2 м. Зеркало грунтовых вод между дренами должно быть на 0,3—0,5 м ниже дна могил, чтобы сохранялось фильтрующее действие и обеспечивалось просачивание воды [7.11].

На устьевых участках дрен из гигиенических соображений требуется обработка воды (например, хлорирование).

Для закладки дренажа на кладбищах нужны мощные дренажные машины или экскаваторы. Однако местные условия не всегда позволяют применять механизмы. В некоторых случаях дренажные работы ведутся вручную (см. гл. 9).

7.5. ИНЖЕНЕРНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Дренирование инженерных сооружений необходимо для безопасной их эксплуатации, а также для осушения котлованов в период строительства. Таким образом, дренаж является важнейшей составной частью инженерных сооружений. Причины и возможные последствия переувлажнения строительных площадок следует выяснять до начала строительства (см. гл. 2 и 3).

Для всех видов трубчатого дренажа в инженерном строительстве минимальный уклон должен составлять 0,2%. При выводе дренажной линии в фильтрующий слой или в поглощающий колодец уклон ее должен быть не менее 0,5%. Максимальный возможный уклон дренажных линий рассчитывают по максимальной допустимой скорости течения на размыв ($v<1,5$ м/с).

Внутренние диаметры дренажных труб определяют по максимальному отводимому ими расходу, который надо устанавливать для каждой местности. Следует принимать расчетный дренажный сток на площадках, где закладываются фундаменты, в 2 или 4 раза больше, чем рекомендовано в разделе 6.1.

Все трубчатые дренажные линии и линии, ведущие в фильтрующие слои, надо укладывать в непромерзающий слой почвы.

7.5.1. Правило фильтра

Вода всегда может быть причиной разрушения инженерных сооружений. Поэтому прежде всего необходимо обеспечить длительную и эффективную работу дренажа. Дрены надо прокладывать в специально изготовленных фильтрах из песка и гравия.

Терцаги [7.29] показал, что при движении воды через два слоя почвы надежная работа фильтра обеспечивается в том случае, ког-

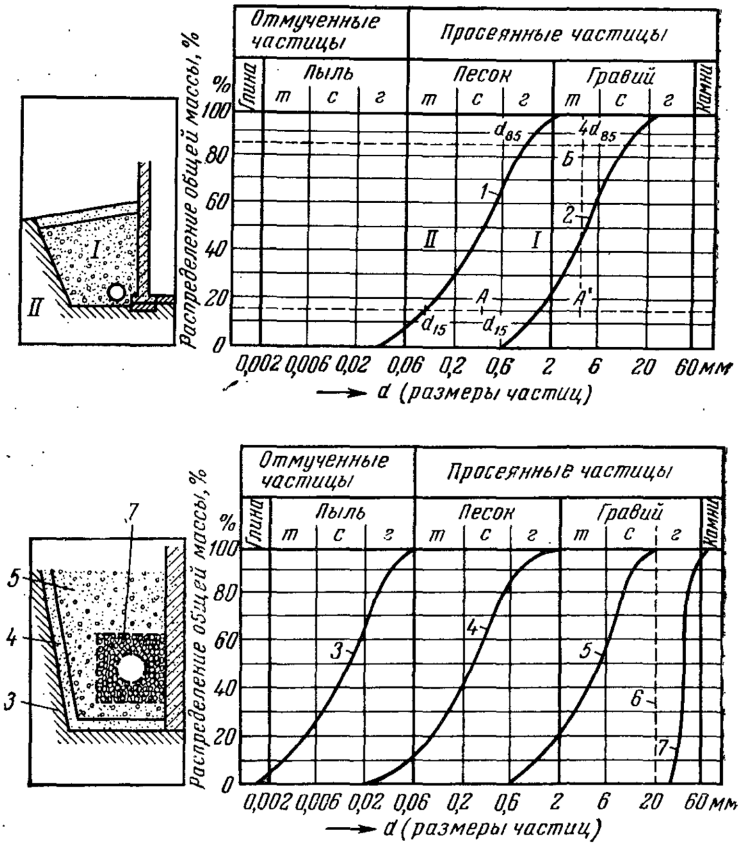


Рис. 7.14. Правила устройства фильтров Терцаги (стандарт ФРГ DIN 4095):

1 — остающаяся почва; *2* — песок; *3* — остающаяся почва; *4* — песок; *5* — гравий; *6*—выходные отверстия дрен; *7* — крупный гравий; *т*, *с* и *г*—тонкая, средняя и грубая фракции соответственно.

да средний размер зерен второго слоя не больше увеличенного в 4 раза размера зерен первого слоя. В крупнозернистом слое почвы скорость течения воды может повышаться, но при этом под действием влекущей силы почвенные частицы из первого слоя не должны попадать во второй.

Чтобы применить правило фильтра, требуется предварительно построить кривую гранулометрического состава (кривую механического состава) почв. Для этого надо провести в почвенной лаборатории ситовые анализы, а также анализы по отмучиванию осадков.

Количество частиц почвы величиной менее 0,2 мм можно определить с помощью сит с круглыми отверстиями или сетками (стандарт ФРГ DIN 4188). Фракции почвенных частиц величиной менее 0,2 мм по различным скоростям, при которых происходит выпадение в осадок данной фракции, определяют отмучиванием почвы в стандартных цилиндрах. Предварительная обработка почвенных образцов путем их диспергирования должна проводиться в дистиллированной воде (стандарты ФРГ DIN 4016 и DIN 19683). Получаемые результаты бывает удобно представлять в графической форме [3.16].

На рисунке 7.14 показаны кривые гранулометрического состава почвы: *вверху* — для одноступенчатого, *внизу* — для трехступенчатого фильтра. Представлена также кривая, характеризующая рядом расположенную почву.

О стабильности фильтра Терцаги судят по следующим характеристикам (верхний график):

— кривая гранулометрического состава фильтра (I) должна располагаться между A' и A ($4\,d$ 15 по соотношению к II);

— кривая гранулометрического состава фильтра (I) должна одновременно находиться справа от B ($4\,d$ 85);

— кривая гранулометрического состава фильтра (I) должна быть подобна кривой гранулометрического состава фильтрующей почвы (II);

— кривая гранулометрического состава фильтра (I) должна иметь постоянное очертание.

Аналогичный пример показан на нижнем графике рисунка 7.14.

Правило фильтра является общим для фундаментостроения, но может быть модифицировано для водовыпускных отверстий дренажных или фильтровых труб или дренажных фильтров (см. разд. 8.3 и 8.4).

7.5.2. Подземное строительство

На рисунке 7.15 изображены примеры дренажа, закладываемого в период подземного строительства, например, у основания плотины (I), в песчаном ядре намытой плотины или дамбы или на ее внутренней берме (II), на склоне (III*а*) с родниками (III*б*) и без них, а также у подпорной стенки (IV).

Основное правило заключается в том, что трубчатый дренаж должен не нарушать устойчивость сооружения, а, наоборот, повышать его.

Для открытого водоотвода на трассах канализационных или других водоводов также можно применять трубчатый дренаж (рис. 7.16).

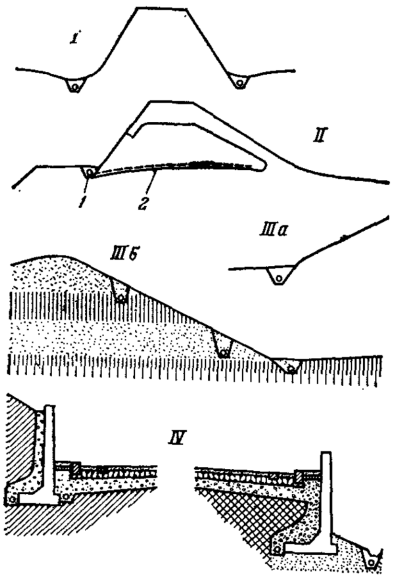


Рис. 7.15. Дренаж в подземном строительстве:
1 — коллектор; *2* — дрена.

7.5.3. Дорожное строительство

Типичные примеры трубчатого дренажа в дорожном строительстве показаны на рисуике 7.17. Следует учитывать, что при движении транспорта почва сотрясается до глубины закладки дренажа [.20].

Для этих целей изготовляются особенно прочные устойчивые дренажные трубы большого диаметра с гладким основанием специально для дорожного строительства и фундаментостроения (разд. 8.7).

В отношении автомагистралей и других главных дорожных артерий, а также в отношении железнодорожных линий применяются правила, разрабатываемые соответствующими строительными управлениями и организациями.

7.5.4. Гражданское строительство

Дренаж зданий может состоять из отдельных параллельных или закольцованных дрен, причем кольцевой дренаж всегда более эффективен (рис. 7.18, *I*). При заболачивании грунтовыми водами необходимо устраивать плоские фильтры (желательно с водоотводом в поглощающие слои или колодцы, находящиеся под основанием сооружения) (рис. 7.18, *II*). При этом устойчивость фундамента не должна быть снижена. Водоотвод в поглощающий слой, расположенный вне здания, показан на рисунке 7.18, *III* и *IV*, более подробно об этом сказано в стандарте ФРГ DIN 4095.

Разработана специальная система дренажа для гражданского строительства. Она представляет собой комбинацию фильтрующей плиты или фильтрующего слоя (см. разд. 8.6) в соединении с трубчатыми дренами. В последнее время поступили в продажу опалубки с дренажными элементами из жесткого ПВХ. Их внутренняя сторона выполняет функцию опалубки фундамента здания, а наружная сторона элемента, имеющего форму ящика, снабжена щелями, через которые вода из гравийного слоя поступает в кольцеобразный канал. В дальнейшем сток следует в осушительный канал.

При осушении висячих садов также применяются фильтрующие плиты или устраивают фильтрующий слой (см. разд. 8.6).

Если нет водоприемника (ручья, канала или системы ливневой канализации), то следует выяснить возможность применения насосной станции перекачки дренажных вод. Важно определить отводимый объем воды, вместимость аккумулирующей емкости для

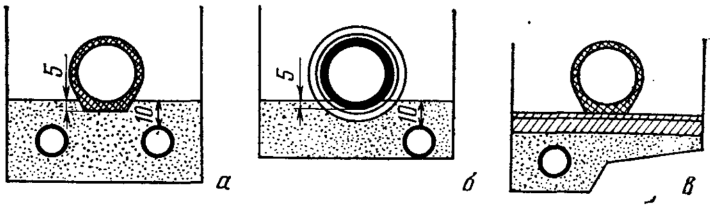


Рис. 7.16. Дренаж для осушения открытых котлованов и ранней канализации [7.14]:
а — с двумя дренажными трубами без бетонного основания; *б* — с одной дренажной трубой без бетонного основания; *в* — с бетонным основанием.

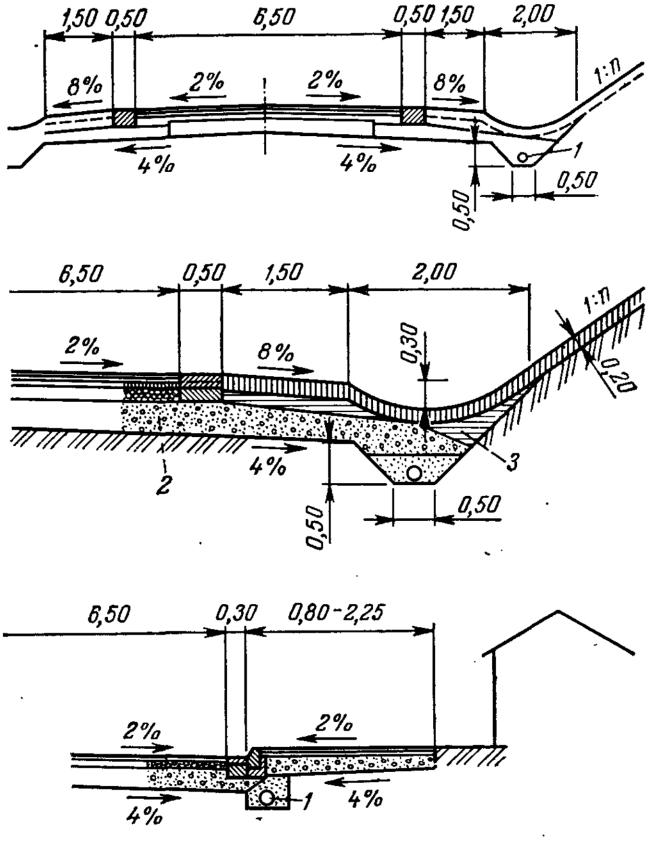


Рис. 7.17. Дренаж в дорожном строительстве [7.20]:
1 — дрена; *2* — фильтр (гравий/песок); *3* — уплотняющий материал.

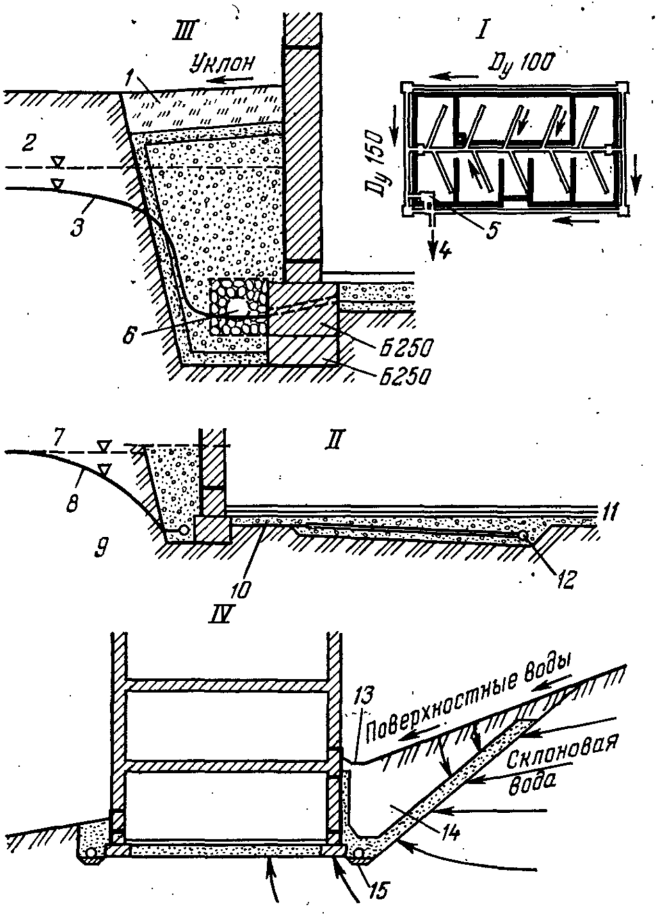


Рис. 7.18. Дренаж зданий (стандарт ФРГ DIN 4095):

1 — водоотводящее перекрытие; *2* — первоначальная отметка зеркала воды; *3* — опустившийся уровень воды; *4* — водовод к водоприемнику; *5* — зумпф насоса; *6* — дренажная труба; *7* — уровень грунтовых вод перед дренированием; *8* — уровень грунтовых вод после дренирования; *9* — залегающие вблизи почвы (пылеватые или песчаные); *10* — плоский фильтр (15 см гравийного песка); *11* — бетон; *12* — дренажная труба диаметром 150 мм; *13* — лоток для отвода поверхностных вод; *14* — обратная засыпка; *15* — бетонная постель.

перекачиваемых дренажных вод, сроки работы насосной станции (см. разд. 7.1.2).

При расположенных вдали от жилых массивов домах на одну-две семьи сточные воды, вытекающие из очистительной установки, могут беспрепятственно отводиться в нижние слои почвогрунта. В данном случае необходимо использовать ранее выполненные поч-

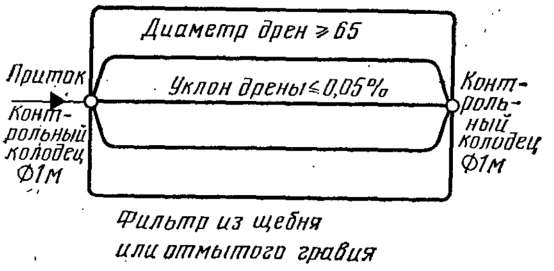


Рис. 7.19. Трубчатый дренаж для поверхностных самотечных поливов осветленными сточными водами, поступающими из жилых домов на одну — две семьи.

венные изыскания (см. гл. 3). Особенно важно установить, на какой глубине встречаются грунтовые воды или верховодка, а также определить водопроницаемость почвы (см. разд. 3.5).

Трубчатый дренаж для полива сточными водами проектируется с уклоном порядка 0,05% или менее, как обычно проектируется поперечный дренаж (см. рис. 7.5). Расстояния между дренами могут определяться согласно разделу 6.7 с учетом отводимого расхода сточных вод (в среднем 200 л в декаду на одного жителя). Предусматривается устройство двух контрольных колодцев (см. рис. 8.26).

На рис. 7.19 показана схема трубчатого дренажа для полива сточными водами. Для всасывающих дреи принимается диаметр в свету 65 мм и более. Дренажные траншеи заполняются промытым гравием или мелким щебнем размером 2—8 мм (рис. 8.12, *г*).

При отоплении одноквартирных домов при помощи теплообменников с использованием грунтовых вод может производиться рециркуляция охлажденной воды, как это изображено на рисунке 7.19, что разрешается законом о водопользовании, а порой даже вменяется в обязанность водопользователям. В даином случае следует обратить особое внимание на возможную опасность заохривания дрен, которую следует установить проведением анализов грунтовых вод (см. разд. 3.7).

7.6. БЕСТРУБЧАТЫЙ (КРОТОВЫЙ) ДРЕНАЖ

Основные технические параметры для проектирования беструбчатого дренажа приведены в таблице 7.4.

Расстояние между дренами на минеральных почвах обычно принимают $a=2$ м. На торфяных болотах это расстояние зависит от степени разложения торфа (рис. 7.20).

В ФРГ в условиях влажного климата при среднегодовом количестве осадков более 650 мм на минеральных почвах обычно устраивают комбинированный дренаж (беструбчатый+трубчатый) (рис. 7.21).

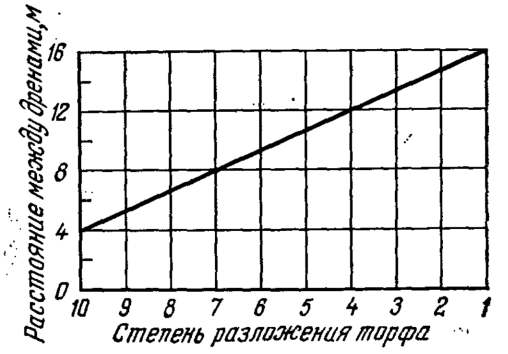


Рис. 7.20. Номограмма для определения расстояния между кротовыми дреиами в горфяных почвах.

Трубчатые коллекторы проводят по возможностн под острым углом к наибольшему уклону местности, а беструбчатые дрены — перпендикулярно к уклону [7.21].

Расстояния между трубчатыми коллекторами при внутреинем диаметре их $\geqslant$80 мм прнведены в таблице 7.10, а минимальные диаметры их указаны в таблице 7.3. При устройстве комбиинрованного дренажа следует учитывать данные, приведенные на рисуике 9.1.

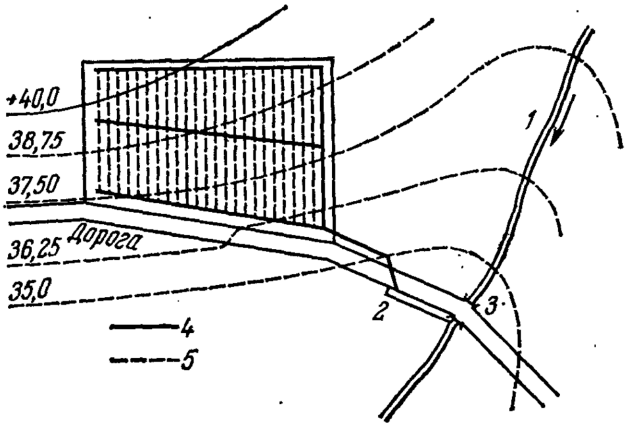


Рис. 7.21. Комбинированный дренаж:

1 — водоприемнпк; *2* — устье коллектора дренажной системы в открытом канале; *3* — мост; *4* — трубчатый коллектор вдоль склона, выполненный в внде ловчей трубчатой дрены; *5* — земляные дрены.

Таблица 7.10. **Расстояния между трубчатыми коллекторами при комбинированном дренаже в зависимости от уклона местности** (стандарт ФРГ DIN 1185, лист 2)

Уклон местности, %	Расстояние между трубчатыми коллекторами, м
0,2	30—35
0,5	35—40
1	40—45
2	45—50
3	50—60
5	60—70

7.7. ГЛУБОКОЕ РЫХЛЕНИЕ

Основы технического проектирования глубокого рыхления приведены в таблице 7.11. Они получены в основном в результате длительных (более 10 лет) исследований. Кроме того, к проектным работам должен быть привлечен опытный почвовед (см. разд. 4.3., 4.13, 7.21, 7.27).

Глубокое рыхление можно проводить только после достаточного просыхания почвы (см. рис. 9.1).

Таблица 7.11. **Основы проектирования глубокого рыхления** (стандарт ФРГ DIN 1185, лист 3)

Борозды рыхления (l)	Среднегодовые осадки	
	менее 600 мм	более 600 мм
Уклон (l), %	0—3	3—5
Глубина рыхления (t_l), м при общем уплотнении (Vd)	$t_l \geqslant 0{,}8$	
частичном уплотнении	$t_l \geqslant Vd$	
a_l	0,75 (при $t_l > 0{,}8$ м)	
Дополнительный трубчатый дренаж при a=30—70 м и $t = t_l + 0{,}3$ м	Внутренний диаметр $\geqslant$65 мм. Только в мульдах	Внутренний диаметр $\geqslant$80 мм. Систематический дренаж

7.8. ГЛУБОКАЯ ВСПАШКА

7.8.1. Глубокая вспашка минеральных почв

Технические основы глубокой вспашки минеральных почв приведены в таблице 7.12. Данные получены в основном на опытных полях. В проектировании глубокой вспашки должен участвовать опытный почвовед (см. разд. 4.4 и 5.4).

Таблица 7.12. **Основы проектирования глубокой вспашки минеральных почв** (стандарт ФРГ DIN 1185, лист 2)

Плужная борозда (p)	Среднегодовые осадки	
	менее 600 мм	более 600 мм
Уклон, %	0—2	2—5
Глубокая вспашка (t_p), м	Более 0,6	Более 0,8
Дополнительный трубчатый дренаж при a=30—70 м и $t=p+0{,}3$ м	Внутренний диаметр не менее 65 мм, только в мульдах	Систематический дренаж (см. разд. 6.1—6.3)

В почвах, находящихся под воздействием грунтовых вод, глубину траншей проектируют с таким расчетом, чтобы средний урез воды в них летом находился на 0,2 м ниже проектируемой плужной подошвы (см. рис. 4.9 и 5.18).

7.8.2. Глубокая вспашка болот и перегнойно-глеевых почв

Технические основы проектирования глубокой вспашки болот и перегнойно-глеевых почв представлены в таблицах 7.13 и 7.15. Они основаны на практическом опыте, накопленном за период свыше трех десятилетий на площади осушения более 180 тыс. га. Результаты исследований были положены в основу стандарта ФРГ DIN 1185 (лист 2).

Условия для проведения глубокой вспашки на торфяных болотах и перегнойно-глеевых почвах указаны в таблице 7.13 (см. разд. 3.3.2, 4.4 и 5.4).

Чем плотнее торф (например, вследствие предварительного осушения или разложения), тем скорее после глубокой вспашки возрастает содержание гумуса в смешанном с песком пахотном слое ($\geqslant 15\%$ по массе) и ускоряется нежелательное заболачивание. Оно происходит прежде всего когда минеральная подпочва в связи с низким содержанием гумуса и (или) окиси железа не уплотняется (см. табл. 3.2). Поэтому глубину вспашки надо определять (кроме случаев, указанных в таблице 7.13 «Виды почв») с учетом соотношения слоев (торф : песок) по объемной массе высушенных почвенных образцов и по значениям, взятым из таблицы 7.14.

Поэтому перед вспашкой должно быть проведено лабораторное исследование физических свойств почвы (плотность в естественном

Таблица 7.13. **Основы проектирования глубокой пахоты на болотах и перегнойно-глеевых почвах**

Свойства или особенности	Характеристика	Способы исследований	Требования
Торфяные и перегнойно-глеевые почвы	Мощность торфа Плотность залегания торфа (степень разложения)** Вид торфа Вид заболоченной почвы	Промеры глубины минерального дна болота* Плотность свежевынутого образца*[3] Показание*[4]	Соотношение слоев торфа и песка $\leqslant 2:1$ Содержание гумуса в пахотном слое менее 15% по массе *Нh* или *Нй* — перегной: песок $\leqslant 1:1$
	Виды почв*[5]	Определение почв. Ситовый анализ и анализ отмучиванием	Отношение торф : песок при наличии крупно- и среднезернистого песка $\leqslant 2:1$, при наличии мелкозернистого песка $1:1$, торфа и глинистого песка $<0{,}5:1$ Нарушенные горизонты (слои)
Минеральная подпочва	Тип почвы (горизонты, слои)	Бурение Зондирование	
	Вредные для растений сернистые соединения	Химические исследования почв	Нейтрализация
Местность	Рельеф, эрозия Поверхностное переувлажнение	Уклон поверхности	Осушение поверхности планировкой
	Грунтовые воды	Глубина грунтовых вод	Уровень грунтовых вод под плужной подошвой при глубокой пахоте
	Приток воды извне поверхностный или подземный. Зона тростника на склоне	Уклоны поверхностных и грунтовых вод	Ловчие дрены или каналы

* Рисунок 3.2.
** Таблицы 3.4 и 7.5.
*[3] Таблица 7.14.
*[4] Таблица 3.3.
*[5] Таблица 3.4.

Таблица 7.14. **Влияние объемной массы торфа на последующее содержание гумуса в пахотном слое глубиной 0—20 см при различных соотношениях торф : песок** [4.10]

Объемная масса, т/м³ или г/см³		Соотношение торф : песок		
		2 : 1	1 : 1	0,5 : 1
Торф	Песок	Пахотный слой 0—20 см содержит органического вещества, % (по массе)		
0,1		13	7	4
0,2	1,3	Недопустимо	13	7
0,4		»	Недопустимо	13
0,1		12	6	3
0,2	1,5	Недопустимо	12	6
0,4		»	Недопустимо	12

Таблица 7.15. **Причины и масштабы осадки поверхности при глубокой вспашке торфяных и перегнойно-глеевых почв** [5.10]

Причины	Масштабы понижения поверхности	
Осадка (Setzung)	10% глубины вспашки	
Осадка (Sackung)	5% мощности торфа при сильно разложившемся торфе	
	До 20% мощности торфа при слабо разложившемся торфе	
Разложение (исчезновение торфа)	Пашня	Преимущественно пропашные культуры — От 10 до 8 мм/год в течение первых 20 лет
		Преимущественно зерновые культуры — От 4 до 2 мм/год в течение последующих 30—50 лет
		Преимущественно зерновые культуры — От 6 до 4 мм/год в течение первых 20 лет, 2 мм/год в течение последующих 30—50 лет
	Сенокосы и пастбища	1 мм/год

состоянии, гранулометрический состав и т. д.). К этим работам необходимо привлекать опытного почвоведа.

Суммарные осадки поверхности при глубокой вспашке, согласно таблице 7.15, за период от 30 до 50 лет следует учитывать при

проектировании отметок дна каналов и оснований различных сооружений.

Пример.

Осадка для глубины вспашки $150 \cdot 0{,}1 = 15$ см

Осадка 100-сантиметрового слоя общей мощности торфа:

50 см (Н 2—3) $\cdot 0{,}2 = 10$ см
50 см (Н 8) $\cdot 0{,}05 = 3$ см
$\Big\}$ $= 13$ см

Осадка в результате разложения торфа на пашне

Зерновые культуры:

через 10—20 лет $= 10$ см
» 30—50 » $= 6$ см
$\Big\}$ $= 16$ см

Пропашные культуры:

через 10—20 лет $= 18$ см
» 30—50 » $= 15$ см
$\Big\}$ $= 33$ см

Соотношение в севообороте зерновых и пропашных культур 2 : 1.

Следовательно, $\frac{16 \cdot 2}{3} + \frac{33}{3} = 11 + 11 = 22$ см.

Таким образом, суммарная осадка поверхности за 50 лет составит: $15 + 13 + 22 = 50$ см.

7.9. ПРОЕКТ ДРЕНАЖА

Полный проект дренажа, согласно стандарту ФРГ DIN 1185, должен состоять из:

— пояснительной записки;

— обзорного плана (карты или выкопировки из карты, обычно в масштабе 1 : 25 000);

— плана дренируемого участка;

— почвенной карты;

— продольных профилей коллекторов;

— гидравлических расчетов;

— описей и указателей сооружений на осушительной сети, способов дренирования и отдельных дренажных систем, сметы.

При составлении проектов для ведомств и областных мелиоративных корпораций следует учитывать нормативы и предписания, действующие в соответствующих федеральных землях. Ниже приведены общие рекомендации по оформлению проектов. Эти рекомендации могут быть изменены или дополнены. Проект должен быть выполнен не менее чем в четырех экземплярах.

7.9.1. Пояснительная записка

Пояснительная записка дополняет плановые материалы и чертежи, в ней излагаются особенности проекта. Согласно стандарту ФРГ DIN 1185 (лист 4), пояснительная записка проекта дренажа должна содержать следующие данные и сведения:

— название фирмы или организации-исполнителя, фамилия проектировщика, обоснование составления проекта, объем проектируемых мероприятий и ожидаемый от них эффект;

— характеристика участка (почвы, геология, климат и прежде всего атмосферные осадки);

— гидрология и водное хозяйство;

— характеристика водоприемника;
— водоохранные зоны;
— трубопроводы дальнего газоснабжения;
— линии высоковольтных электропередач;
— экономическое обоснование;
— способ дренирования (трубчатый, беструбчатый (кротовый) дренаж, глубокое рыхление, глубокая вспашка), а также объем работ;
— сооружения на дренажной сети;
— способы выполнения мелиоративных работ;
— общественно- и частноправовые отношения;
— мероприятия, выполняемые после мелиорации земель;
— эксплуатационные мероприятия.

7.9.2. Обзорный план

В качестве основы для составления проекта рекомендуется принимать топографическую карту с высотными данными (в масштабе, например, 1 : 25 000).

Согласно стандарту ФРГ DIN 1185, на обзорном (генеральном) плане следует изобразить:

— границы областей водосбора и осадков и указать их величину;
— границы участков проведения мелиорации и дренажа и указать их размеры;
— водоприемники;
— границы водоохранных зон и зон затопления, заповедников, места проведения землеустроительных работ, линии электропередач, а также контуры дренируемого участка.

7.9.3. План дренируемого участка

На плане дренируемого участка в масштабе от 1 : 1000 до 1 : 5000, согласно стандарту ФРГ DIN 1185 (лист 4), должны быть нанесены все сведения, необходимые для оценки самого проекта и выполнения работ (рис. 7.22—7.24), а именно:

— границы участков, полей и их номера;
— границы зон, относящихся к мелиоративным товариществам, землеустроительным организациям;
— автомобильные, железные и прочие дороги, линии электропередач, карьеры, участки для мусора и отходов (рис. 7.25), ветрозащитные полосы, родники и ключи, торфоразработки и т. д.;
— ординаты высот и горизонтали (должны ясно отражать рельеф местности), на торфяных болотах также горизонтали минерального дна;
— границы дренажных систем и способы дренирования;
— водоприемники с отметками дна, а при водосборах более 10 км^2 средние уровни воды у устьев дрен (абсолютные отметки);
— насосные станции перекачки дренажных вод и их основные показатели;
— границы водоохранных зон.

При трубчатом дренаже должны быть указаны:

— дренажные системы (*A*, *B*...);

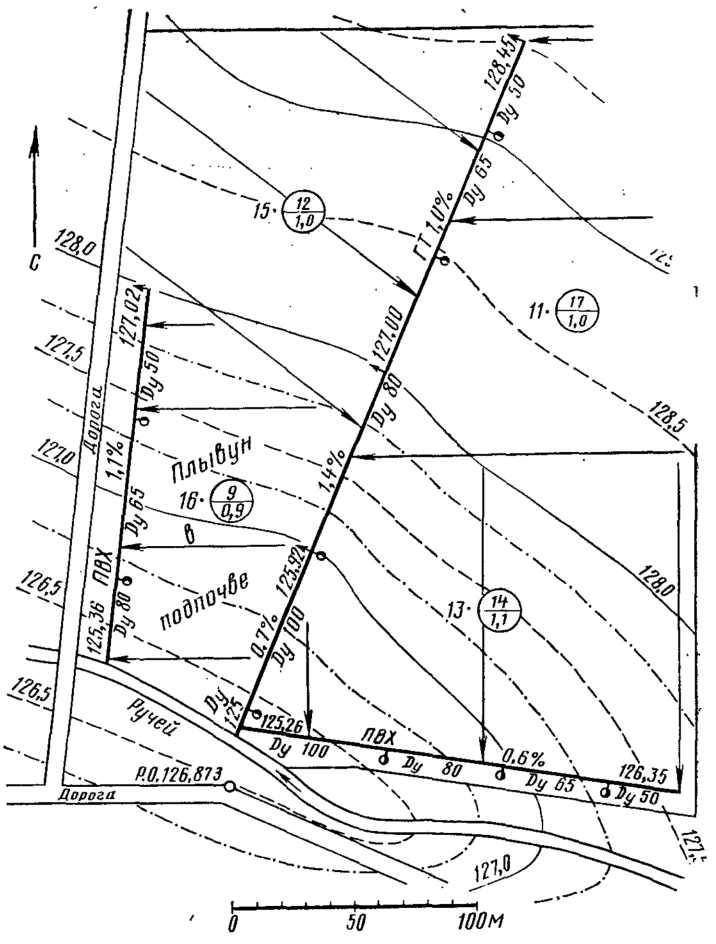


Рис. 7.22. План участка с трубчатым дренажем:

ПВХ — поливинилхлоридные гофрированные трубы, уложенные с указанным уклоном; *ГТ* — гончарные трубы, уложенные с уклоном 1,0‰; *Р. О.* — репер с отметкой 126, 873; $11\frac{17}{1,0}$ — 11 дрен на расстоянии 17 м на глубин 1.0 м; $D_у$ — внутренний диаметр.

— коллекторы (A_1, ..., A_n, B_1, ..., B_n), их внутренний диаметр уклоны, переломные точки уклонов;

— всасывающие дрены, их направление, глубина и расстояния между ними.

При беструбчатом дренаже должны быть указаны:

— дренажные системы (A, B...).

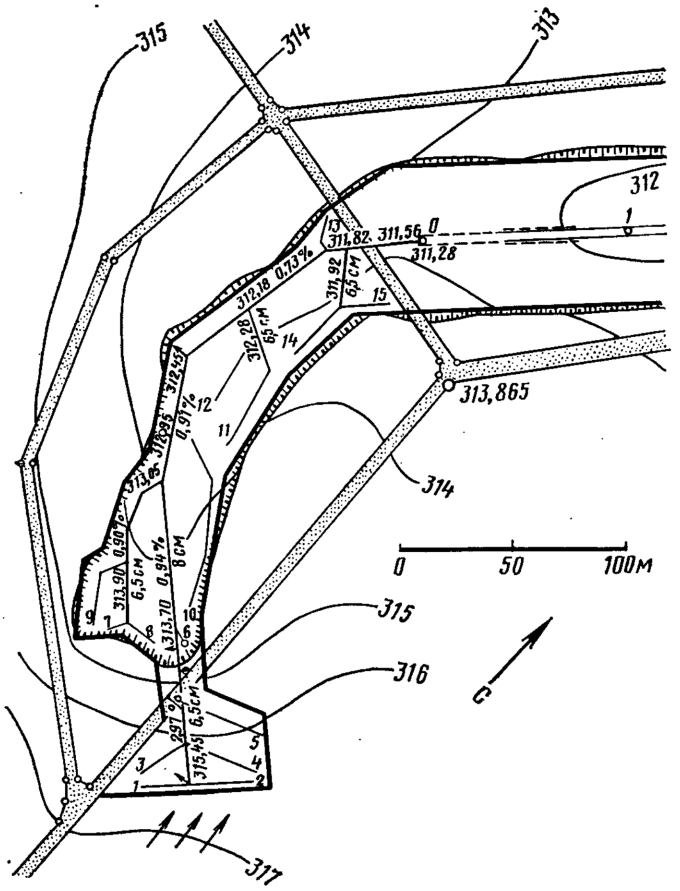


Рис. 7.23. План трубчатого дренажа долины ручья [7.31].

При глубоком рыхлении или вспашке должны быть указаны:
— вид, направление и глубина борозды рыхления или вспашки, дополнительный трубчатый дренаж;
— сооружения (шахтные колодцы, перепады, мосты, водовыпуски);
— высотные реперы с ординатами.

7.9.4. Почвенная карта

На почвенную карту наносят данные, полученные в результате обследований местности (см. разд. 3.3 и 3.9).

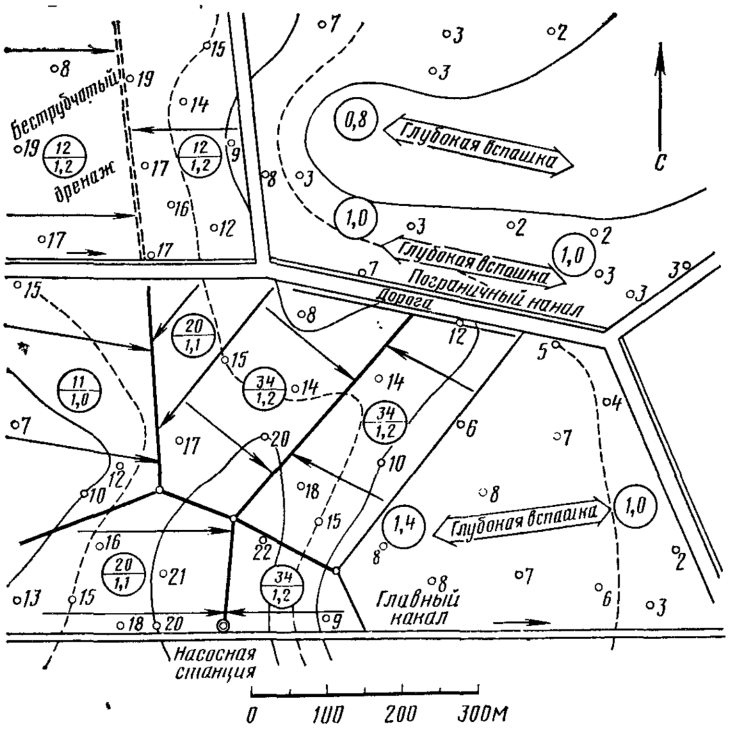


Рис. 7.24. План беструбчатого дренажа и глубокой вспашки торфяника.

7.9.5. Продольные профили коллекторов

Продольные профили коллекторов необходимы только в тех случаях, когда коллекторы проводятся не параллельно поверхности местности. Продольные разрезы коллекторов выполняют в масштабе плановых материалов по горизонтали и с некаженным в сторону увеличения масштабом по вертикали. На профилях надо указывать отметки местности и отметки дна траншей для укладки дренажных труб, на торфяных болотах — отметки минерального дна (желательны абсолютные отметки), уклоны, точки перелома уклона, материал и внутренние диаметры труб, устьевые участки коллекторов, сооружения, пересечения дорог, гидрографическую сеть (водотоки и водоемы), линии электропередач и другие коммуникации, ординаты дна и зеркала воды в водоприемниках, а также другие данные, характеризующие проект дренажа.

7.9.6. Гидравлические расчеты

Гидравлические расчеты должны включать в себя:

— расчетные расходы дренажных систем и дренажный сток (обоснование и ход расчета);

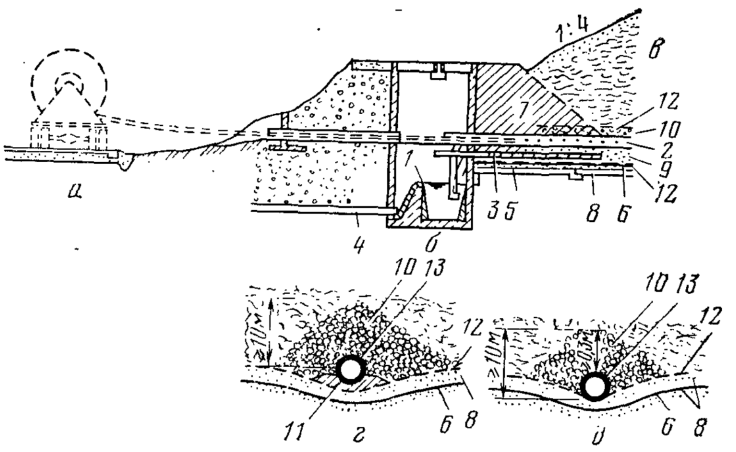


Рис. 7.25. Дренаж с контрольной шахтой для обычного отвала мусора (высота отсыпки до 30 м) и для большого отвала с высотой отсыпки до 100 м [7.34]:

1 — мерный водослив; *2* — дренажная труба с внутренним диаметром 250 мм; *3* — дренажная труба с внутренним диаметром 50 мм; *4* — сток в осветлительную установку; *5* — переходное сооружение (передвижная плита); *6* — листы пленки уплотнения; *7* — смесь глины или бентонита с песком; *8* — песок; *9* — гравий; *10* — щебень; *11* — монозернистый бетон; *12* — стеклоткань; *13* — кокосовые маты; *а* — напорный промывной аппарат; *б* — выпуск; *в* — городской мусор; *г* — большой отвал; *д* — поперечный разрез через дрену при обычной высоте отвала.

— гидравлический расчет только внутренних диаметров не менее 100 мм (меньшие диаметры можно принимать по приблизительной оценке).

7.9.7. Описи и указатели

Здесь должны быть указаны:

— сооружения (вид, название, расположение, эксплуатационные мероприятия, основные размеры);

— дренажные системы (вид, название, размеры, расстояния между дренами, строительные материалы, фильтры и другие особенности).

7.9.8. Смета

В смете должны быть приведены расходы на:

— проектирование и строительный надзор;

— приобретение земельного участка и его съемку;

— оборудование строительной площадки;

— земляные работы и работы по укладке трубчатого дренажа;

— устройство бесструбчатого дренажа и проведение подпочвенной мелиорации;
— приобретение материалов (трубы и фильтры);
— мелиоративное известкование и внесение удобрений;
— строительство сооружений;
— создание водоприемников;
— эксплуатационные работы;
— составление заключений (специальные почвенные исследования и т. п.);
— прочее;
— сводная смета.

Литература

[7.1] Beltran, J. M.: Drainage and Reclamation of Salteffected Soils. 321 S. (with spain sum.). Intern. Inst. f. Land Reclamation Publ. 24. Wageningen/NL 1978.
[7.2] Bretschneider; Lecher; Schmidt (Herausg.): Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 6. Aufl. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1981.
[7.3] Eggelsmann, R.: Dränbemessung im Moor nach Tiefe, Abstand und Art. Telma **2**, S. 91—108. Hannover 1972.
[7.4] Eggelsmann, R.: Oxidativer Torfverzehr in Niedermoor in Abhängigkeit vom Klima und mögliche Schutzmaßnahmen. Telma **8**, S. 75—81. Hannover 1978.
[7.5] Eggelsmann, R.: Entwässerung. In: Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 6. Aufl. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1981.
[7.6] El-Hakim, A. H.: Ökonomik der Bodenentsalzung. Z. f. Bewässerungswirtschaft, Sonderheft 2. Frankfurt a. M.: DLG-Verlag 1973.
[7.7] FAO/UNESCO: Irrigation-Drainage and Salinity. An International Source Book. London: Ed. Hutchinson 1973.
[7.8] Hunkeler; Grubinger; Tanner: Landwirtschaftliches Meliorationswesen, 5. Aufl. Bern: Buchverlag Schweiz 1970.
[7.9] Ilnicki, P.; Eggelsmann, R.: Sackung im wiederholt entwässerten Hochmooren des nordwestdeutschen Flachlandes. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **18**, S. 23—34. Berlin 1977.
[7.10] Janert, H.: Lehrbuch der Bodenmelioration. Bd. II. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1961.
[7.11] Keller, G.: Angewandte Hydrologie. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1969.
[7.12] Kuntze, H.: Die Marschen — Schwere Böden in der landwirtschaftlichen Evolution. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1965.
[7.13] Kuntze, H.: Ein neues Verfahren zur Verbesserung staunasser, besandeter Hochmoore. Z. f. Kultur. u. Flurbereinig. **14**, S. 160—167. Berlin 1973.
[7.14] Lautrich, R.: Der Abwasserkanal. 4. Aufl. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1980.
[7.15] Lehr, R.: Taschenbuch für den Garten- und Landschaftsbau. 2. Aufl. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1975.
[7.16] Meyer, B. u. Hippe, H.: Gärfuttermieten als Ursache saprophytogener Dränverstopfungen. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **7**, S. 300—303. Berlin 1966.
[7.17] Müller-Späth, W.; Hall, G.: Entwässerung von Marschböden in Kehdingen. Wasser u. Boden **13**, S. 329—332. Hamburg 1961.

[7.18] Petraschek, A.: Über die Wirkung systematischer Entwässerungen in Hanglagen. Diss. ETH Zürich 1973.
[7.19] Reinken; Hinze; Buchner; Krahmer; Siebert; Werning: Agrotherm — Abwärmeverwertung von Kraftwerken mittels Rohrsystem zur ganzjährigen Beheizung. Wasser u. Boden **30**, S. 260—264. Hamburg 1978.
[7.20] Richtlinien für den ländlichen Wegebau (RLW 1977) KWK — DVWW Regelwerk, Heft 103. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1977.
[7.21] Rager, K. Th.; Schmid, G.; Weigelt, H.: Die dreistufige Melioration von Pseudogleyen — eine Fortentwicklung der konventionellen Volldränung. Wasser u. Boden **22**, S. 297- 302. 1970.
[7.22] Schendel, U.: Vegetationswasserverbrauch und -wasserbedarf. Habil.-Schrift. Kiel 1967.
[7.23] Schroeder, G.: Landwirtschaftlicher Wasserbau. 4. Aufl. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1968.
[7.24] Schmid, G.; Borchert, H.; Weigelt, H.: Bodenmelioration durch Tiefendüngung und Tiefenlockerung mit Ausgleichsdüngung. Z. f. Kulturt. u. Flurb. **13**, S. 354 -372. Berlin 1972.
[7.25] Segeberg, H.: Moorsackung durch Grundwasserabsenkung und deren Vorausberechnung mit Hilfe empirischer Formeln. Z. f. Kulturt. **2**, S. 144—61. Berlin 1960.
[7.26] Spillmann, P.; Collins, H.-J.: Einjährige Beobachtungen von Temperaturverlauf und Sickerwasserbelastung einer hochverdichteten Hausmülldeponie. — Müll und Abfall **7**, S. 29—34. Bielefeld 1975.
[7.27] Steinmetz, H.-J.; Brauer, E.: Empfehlungen für Bodenverbesserungen in Hessen. Herausg. Hess. Min. f. ELF. Wiesbaden 1968.
[7.28] Symposium Bewässerungswirtschaft des Auslandes (Verdunstung — Transpiration — Bewässerungsbedarf — Verfahren — Planung — Voruntersuchung). Schr. R. Dt. Komm. ICID Heft 6. Bonn 1973.
[7.29] Terzaghi-Peck: Die Bodenmechanik in der Baupraxis. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1961.
[7.30] Thomsen, K.: Pumpwerke mit vertikalen Köster-Propellerpumpen. Herausg. Friedr. Köster KG. Heide/Holst. 1979.
[7.31] Uhden, O.: Taschenbuch Landwirtschaftlicher Wasserbau. Stuttgart: Franckh'sche Verlagsbuchhandlung 1964.
[7.32] Wenz, K.-P.: Belastungsversuch an Kunststoffrohren unter naturähnlichen Bedingungen. Auftraggeber: Fränk. Rohrwerke Gebr. Kirchner. 8729 Königsberg/Bayern, 1976 (unveröffentlicht).
[7.33] Withers, B.; Vipond, S.: Bewässerung. (Dt. Bearb. Lecher, K.). Berlin-Hamburg: Paul Parey 1978.
[7.34] Spillmann, P.: Die Dränung von Abfalldeponien zum Schutz des Grundwassers. Bericht 2. Intern. Dräntagung «Dränung und Umweltschutz». Bad Zwischenahn 11.—13. November 1980.

8. ДРЕНАЖНЫЙ МАТЕРИАЛ

Трубчатый дренаж должен эффективно работать в течение многих десятилетий. Это возможно в том случае, если дренажный материал не подвержен старению, а дрены сохраняют свою форму.

Кроме того, зазоры в стыках дренажных труб или водовпускные отверстия должны функционировать постоянно. Дренажные трубы должны иметь достаточную прочность для того, чтобы:

— транспортировка их с завода на строительную площадку происходила с минимальными отходами за счет боя и не появились скрытые повреждения;

— при временном хранении на строительной площадке трубы не портились под воздействием атмосферных влияний (жары, холода, солнечного света, ультрафиолетовых лучей, дождя);

— при перекладке на дренажные машины и укладке в грунт трубы не повреждались;

— при засыпке уложенных в траншеи дренажных труб не появлялись повреждения, так как они могут быть обнаружены лишь спустя значительное время.

Таким образом, трубы должны обладать достаточной прочностью, а возникающие повреждения должны легко распознаваться.

8.1. ГОНЧАРНЫЕ ДРЕНАЖНЫЕ ТРУБЫ

В течение тысячелетий из глины и суглинка изготовляют черепицу и кирпич и уже сто пятьдесят лет из нее делают дренажные трубы. Глину и суглинок добывают в карьерах. После удаления камней, включений извести и других примесей в глину в зависимости от ее состава добавляют мелкозернистый песок или кирпичную муку.

Современный способ изготовления дренажных труб схематически показан на рисунке 8.1. Сформированная гончарная труба из ленточного профильного пресса поступает в автоматическое резальное устройство и затем на стеллажи для сушки (рис. 8.2).

Готовые дренажные трубы хранят на складе или сразу отправляют заказчику.

Качество гончарных дренажных труб регулярно проверяется в лабораториях кирпичных заводов согласно стандарту ФРГ DIN 1180 (рис. 8.3). Каждая десятая труба имеет фабричное клеймо.

Гончарные дренажные трубы, изготовленные в соответствии с существующими стандартами, имеют следующие характеристики:

высокую плотность ($s = 1{,}7$ г/см^3);

— устойчивость к морозам;

— устойчивость к агрессивным водам;

— высокую прочность (разрушающая нагрузка более 700 кг);

— длительный срок службы (из литературы известны случаи, когда трубы служили свыше ста лет) [1.4].

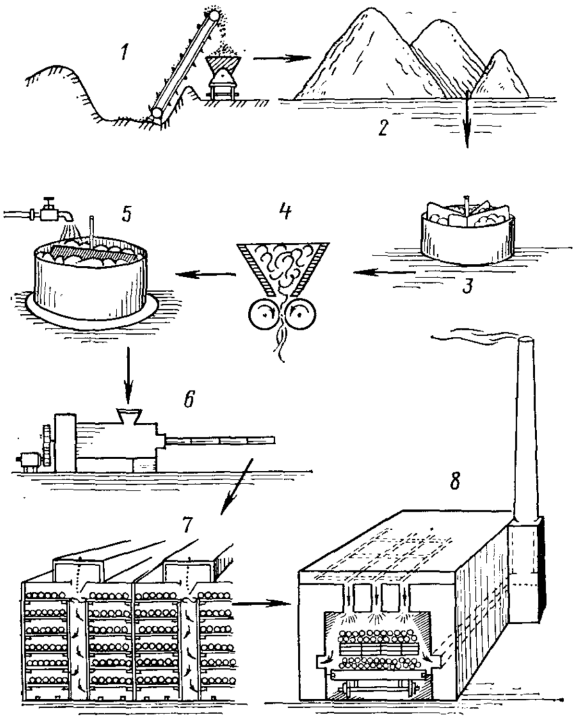


Рис. 8.1. Современное изготовление дренажных труб из глины:

1 — добыча глины; *2* — хранение глины, суглинка, песка; *3—5* — приготовление смесей; *6* — пресс для труб; *7* — сушка труб; *8* — туннельная печь.

Размеры гончарных дренажных труб установлены стандартом ФРГ DIN 1180. Формы и размеры труб указаны в таблице 8.1. Внутреннее отверстие гончарных дренажных труб имеет круглую форму. Снаружи дренажные трубы могут быть круглые, шести-, восьми- или двенадцатигранные.

С 1966 г. в северо-западной части ФРГ изготовляют гончарные дренажные трубы с продольными желобами с наружной стороны (рис. 8.4), которые хорошо работают в сочетании с дренажными фильтрами. Желоба облегчают приток воды к стокам [5.18]. Такие трубы имеют внутренний диаметр 50 мм и применяются в качестве всасывающих дрен.

Испытание качества гончарных дренажных труб проводится согласно стандарту ФРГ DIN 1180. Для этого отбирают 15 дренажных труб, соответствующих средним требованиям по качеству. Испытание проводится в приведенном ниже порядке. На десяти трубах определяют и проверяют:

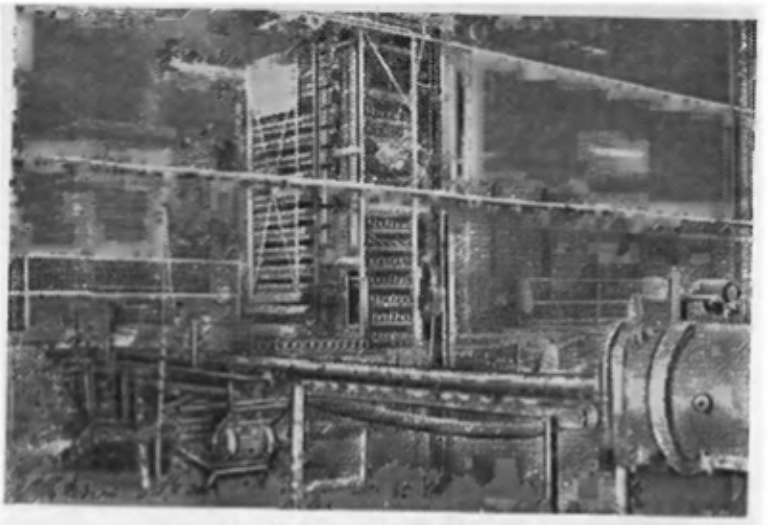


Рис. 8.2. Пресс для дренажных труб с автоматической системой их резания.

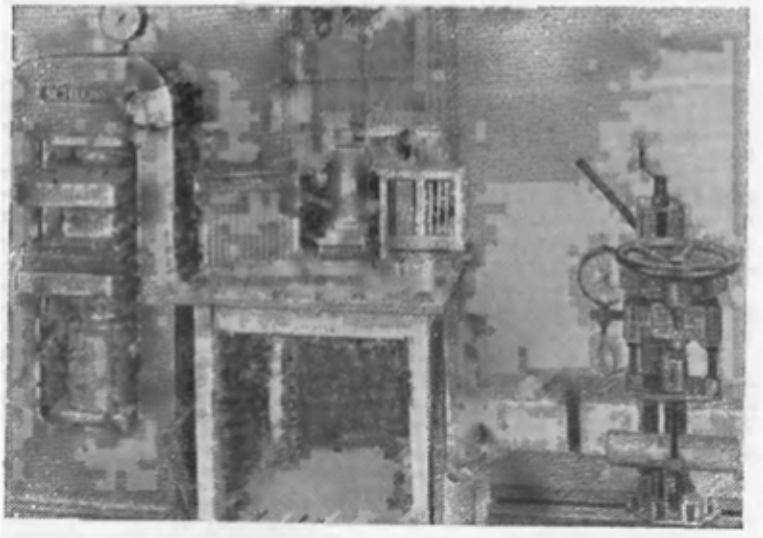


Рис. 8.3. Лаборатория для испытания дренажных труб из глины.

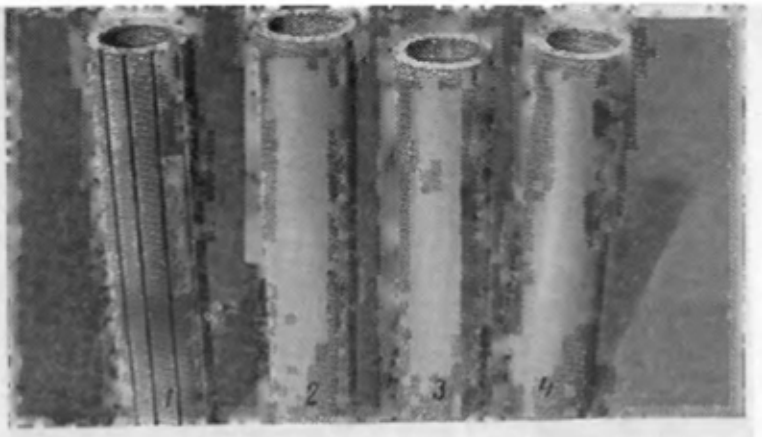


Рис. 8.4. Гончарные трубы:
1 — желобчатая с волнистой поверхностью среза; *2* — обычная труба; *3—4* — трубы старого образца (длина 30 см).

— средний внутренний диаметр;
— среднюю длину;
— среднюю минимальную толщину стенок;
— плоскости среза;
— прямолинейность;
— положение плоскостей среза;
— форму внутреннего круга;
— прочность.

На пяти трубах определяют влекомые водой включения извести.

Для автоматически изготовленных согласно нормативам и уложенных в почву механическим способом дренажных труб характерны крайне малые зазоры в стыках (менее 0,5 мм), что затрудняет поступление воды в трубы (см. рис. 5.14). Поэтому стали изготовлять дренажные трубы со слабоволнистыми плоскостями среза.

Если имеется положительное заключение признанного учреждения по испытанию материалов, то от проведения испытания дренажных труб в условиях строительной площадки можно отказаться.

Гончарные дренажные трубы, изготовленные на современных заводах, обычно соответствуют стандарту (см. рис. 8.4). Гончарные дренажные трубы с успехом применяются на пяти континентах и хорошо работают во всех почвах уже в течение 150 лет.

8.2. ДРЕНАЖНЫЕ ТРУБЫ ИЗ ИСКУССТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Более 20 лет назад стало известно о применении в водоснабжении пластмассовых напорных труб. В ФРГ они используются с 1960 г., в Нидерландах — с 1957 г. Сначала применялись гладкие

Таблица 8.1. **Размеры гончарных дренажных труб** (стандарт ФРГ DIN 1187)

Номинальный внутренний диаметр, мм	Наружная форма	Колебания* внутреннего диаметра (d), мм	Средняя длина (l), мм			Средняя минимальная толщина стенок (s), мм		Допускаемое отклонение плоскости среза от прямого угла к оси трубы		Минимальное значение разрушающей нагрузки, кг	
								класс качества			
								I	II	I	II
50	Шести- или восьмиугольная	48—53				6	12	±3	±5	900	700
80		63—68				7	14	±4	±6	1050	850
100						9	16	±4	±6	1400	1000
130		73—84 97—105	333	328	338	8	18	±5	±7	1200	1200
160	Восьми- или двенадцатиугольная	126—137	333	328	338	10	21	±6	±7	1700	1450
		156—167	или	или	или	12	23	±8	±8	2000	1700
200		194—210	500	493	507	14	24	±9	±9	2400	2000

* Соответствуют —3% и +5% номинального внутреннего диаметра дренажных труб.

и ровные пластмассовые трубы, с 1962 г. благодаря инициативе Вильнера получили распространение гибкие пластмассовые трубы. Кольцеобразные или спиралевидные гофры повышают прочность трубы и придают ей гибкость (см. рис. 5.8).

В ФРГ дренажные трубы изготовляют преимущественно из поливинилхлорида (ПВХ), представляющего собой продукт полимеризации хлорированных групп углеводорода (—CH—CH_2—CH—). ПВХ состоит из очень больших органических молекул (макромолекул) и представляет собой белый порошок, который благодаря большому содержанию хлора не возгорается и устойчив к химическому воздействию. Дренажные трубы изготовляют из жесткого поливинилхлорида (рис. 8.5).

В других странах также изготовляют дренажные трубы из жесткого полиэтилена. Он также является продуктом полимеризации, получаемым при термическом расщеплении производных нефти. Трубы из полиэтилена по своим свойствам аналогичны трубам из ПВХ [8.13]. Важнейшие фазы производства дренажных труб из ПВХ: термопластическая формовка труб с помощью экструдера (рис. 8.6), пробивка отверстий на специальном перфораторе (рис. 8.7) и намотка труб на барабаны (рис. 8.8).

На всех современных заводах, изготовляющих дренажные трубы, имеются лаборатории, которые постоянно контролируют качество дренажных труб и их соответствие стандарту ФРГ DIN 1187 (рис. 8.9). Изготовленные в соответствии со стандартом гофрированные дренажные трубы из ПВХ имеют следующие характеристики:

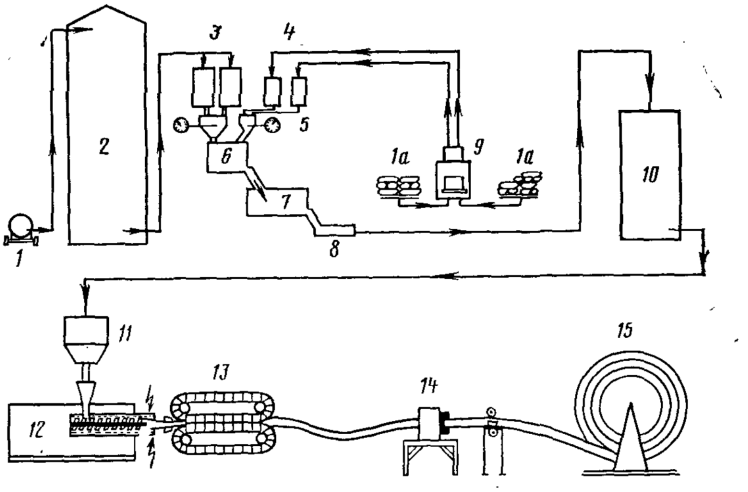


Рис. 8.5. Изготовление дренажных труб из поливинилхлорида:
1—2 — подвоз и хранение порошка ПВХ и добавок; *3—9* — дозирование, смешивание и приготовление; *10* — хранение смеси; *11—12* — воронка и экструдер; *13* — формовка труб; *14* — перфорирование; *15* — намотка труб на барабаны.

— незначительную плотность ($s=1{,}3$ г/см^3);
— стойкость к химическим веществам;
— достаточную прочность на сжатие и растяжение (см. рис. 8.9);
— гибкость;
— равномерно распределенные отверстия по длине трубы (рис. 8.7, 8.10 и 8.11, а также табл. 8.4 и 8.9);
— длительный срок службы (первые дренажные гофрированные трубы из ПВХ, уложенные в 1961 г., при проверке через 12 лет продолжали хорошо работать).

Выкопанные дрены из ПВХ, пролежавшие в земле разные сроки и находившиеся в разных почвах и на разных ландшафтах, имели хорошее качество [5.15].

Размеры труб из ПВХ приведены в таблицах 8.2 и 8.3.

Ширина щелей дренажных труб может подбираться в зависимости от свойств почвы (табл. 8.4 и 8.9). Согласно стандарту ФРГ DIN 1187, щели располагаются в глубине гофр, что защищает трубы от затягивания в них частиц почвы (рис. 8.10, *б* и 8.11). Однако суммарная площадь впускных отверстий на практике превосходит в 3—4 раза их минимальную площадь, определенную по таблице 8.4.

В 1969 г. большинство фирм — изготовителей дренажных труб из ПВХ объединились, организовав Товарищество по пронзводству высококачественных гибких дренажных труб и Союз по производству высококачественных пластмассовых изделий. Члены товарищества имеют право ставить знак качества на свои изделия. Условия испытания изделий соответствуют стандарту ФРГ DIN 1187.

Рис. 8.6. Экструдер и оборудование для формовки труб.

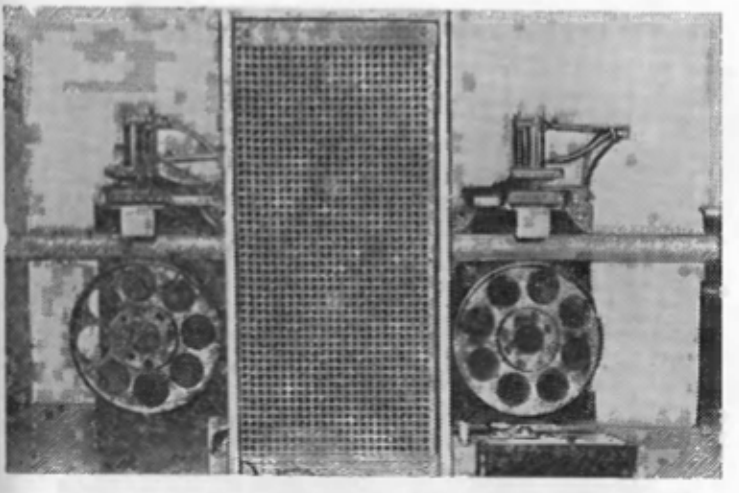


Рис. 8.7. Перфорирование дренажной трубы из ПВХ (подача справа).

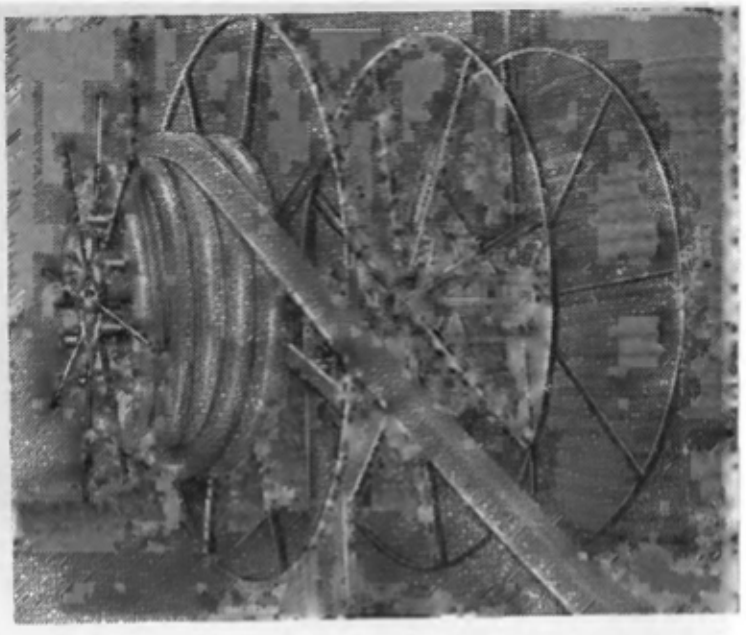


Рис. 8.8. Намотка дренажной трубы из ПВХ на барабан.

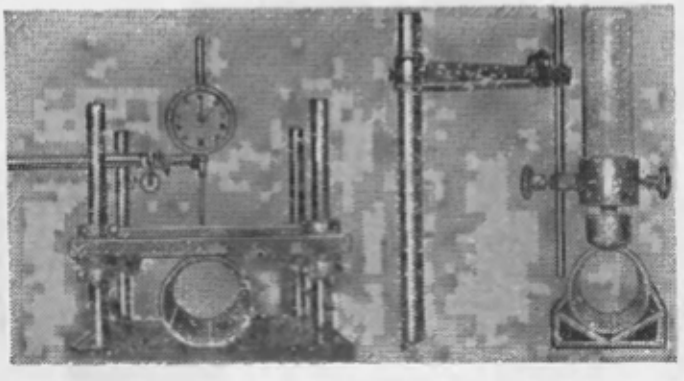


Рис. 8.9. Испытания дренажной трубы из ПВХ на сжатие и ударную прочность.

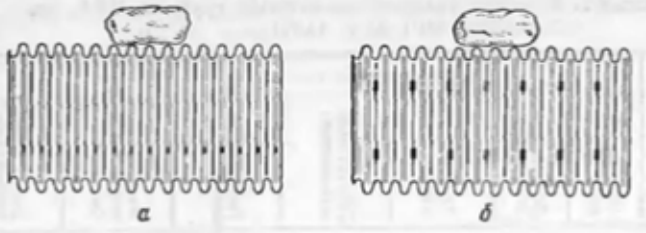


Рис. 8.10. Расположение водовпускных отверстий в гофрированных дренажных трубах из ПВХ.

Особо высококачественные изделия выходят за рамки стандарта [8.9].

Если имеются данные испытаний, проведенных известным контрольным учреждением, то не требуются испытания силами строительной фирмы или непосредственно на строительной площадке.

Испытание качества дренажных труб заключается в определении:

— размеров;
— площади водовпускных отверстий;
— ударной прочности (при 0 °С);
— прочности на сжатие;
— прочности на изгиб;
— деформации;
— прочности на растяжение (включая соединительные элементы).

Дренажные трубы из пластмасс применяются почти на всех континентах, но особенно широко в европейских странах и Японии.

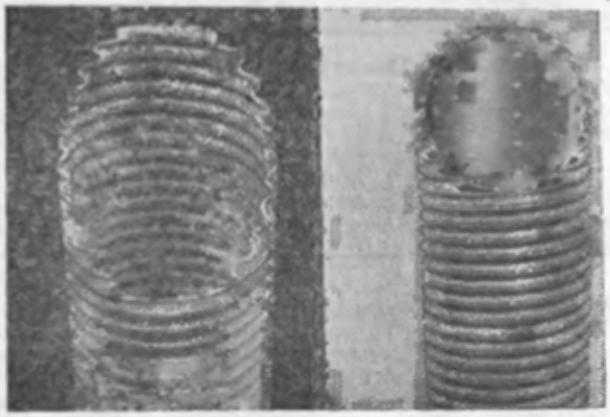


Рис. 8.11. Гофрированные дренажные трубы из ПВХ: *слева* — без наклеенной изнутри пленки, *справа* — с наклеенной изнутри пленкой.

Таблица 8.2. **Размеры гладких дренажных труб из ПВХ, мм** (стандарт ФРГ DIN 1187)

Номинальный диаметр	Наружный диаметр	Допустимое отклонение	Толщина стенок минимальная	Допустимое отклонение	Внутренний диаметр*	Минимальная масса** 1 м трубы, кг**	Длина муфты минимальная
40	40	+0,3	1,0	+0,5	38	0,171	60
50	50	+0,3	1,0	+0,5	48	0,216	75
63	63	+0,4	1,3	+0,6	60	0,353	90
75	75	+0,4	1,5	+0,7	72	0,485	105
90	90	+0,5	1,8	+0,8	86	0,700	115
110	110	+0,6	1,9	+0,8	106	0,904	120
125	125	+0,7	2,0	+0,8	121	1,08	125
140	140	+0,8	2,3	+0,9	135	1,40	125
160	160	+0,8	2,5	+1,0	155	1,75	125

* Эти величины не имеют установленных допусков и не проверяются.
** Для минимальной толщины стенки. Расчеты массы проведены по средней плотности материала 1,4 г/см^3.
В дальнейшем следует переходить к изготовлению труб с внутренними диаметрами, приведенными в стандарте ФРГ DIN 2402, а именно 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150 и 200 мм.

Таблица 8.3. **Размеры гофрированных труб из ПВХ, мм** (стандарт ФРГ DIN 1187)

Внутренний диаметр	Наружный диаметр	Допустимое отклонение	Внутренний диаметр	Допустимое отклонение	Средняя масса 1 м трубы, кг
40	42,5	—1,5	36,5	+2,0	0,135
50	50,5	—1,5	43,9	+2,0	0,165
65	65,5	—1,5	58,0	+2,0	0,235
80	80,5	—1,5	71,5	+2,0	0,32
100	100,5	—1,5	91,0	+2,0	0,48
125	126,0	—2,0	115,0	+2,5	0,65
160	160,0	—2,0	148,5	+2,5	1,40
200	200,0	—2,0	187,0	+2,5	1,40

Согласно современным данным, эти трубы пригодны для всех почв. В ФРГ в 1980 г. более 80% трубчатого дренажа было выполнено гофрированными пластмассовыми трубами (ПВХ). При этом следует отметить, что доля труб из ПВХ в северных и северо-западных районах страны гораздо больше, чем на юге и юго-востоке страны [8.7].

В 1975 г. были выпущены дренажные трубы из ПВХ, гофрированные по спирали и гладкие изнутри. В таких трубах плеика толщиной 0,2 мм наклеивается на внутренние верхушки гофр, пере-

Таблица 8.4. **Общая площадь входных отверстий дренажных труб из ПВХ, см²/см** (стандарт ФРГ DIN 1187)

Внутренний диаметр, мм	Водовпускные отверстия			Число щелей, шт./м
	узкие (0,6—0,9)	средние (1,1—1,5)	широкие (1,7—2,0)	
50	23	34	51	560
65	27	41	62	570
80	29	43	64	715
100	30	45	68	625
125	35	52	80	625
160	40	60	90	625
200	32	48	72	500

крывая их углубления (см. рис. 8.11). Гидравлическая производительность этих труб соответствует производительности гончарных дренажных труб (см. разд. 6.2).

8.3. ДРЕНАЖНЫЕ ФИЛЬТРЫ — ПОЧЕМУ, ГДЕ, КОГДА?

8.3.1. Виды фильтров

Одновременно с применением дренажных машин в последние годы, особенно в северо-западных районах ФРГ, Нидерландах и Бельгии, при устройстве трубчатого дренажа широко распространилось применение фильтрующих материалов. Это объясняется как механизацией работ по укладке дренажа (фрезерная цепь), так и неблагоприятными почвенными и погодными условиями (слишком влажная почва) (см. разд. 5.1 и 9.1).

Важнейшими вопросами дренажной практики, почему, когда и где необходимы дренажные фильтры, занимался Комитет по дренажной гидравлике и дренажной технике Куратория по мелиоративному строительству, который в 1970—1972 гг. организовал несколько коллоквиумов по дренажным фильтрам [8.1].

Дренажный фильтр представляет собой фильтрующий материал, который полностью или частично окружает дренажную трубу. Этот материал укладывается одновременно с дренажной трубой или после укладки трубы (рис. 8.12, *б* и *в*). Фильтр может защищать также основание трубы (см. рис. 8.12, *в*).

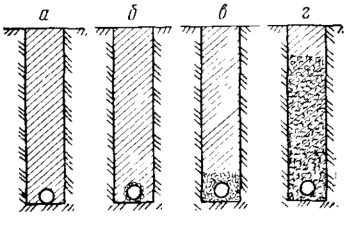


Рис. 8.12. Дренажные и траншейные фильтры [8.1]:
а — без дренажного фильтра; *б*, *в* — с дренажным фильтром; *г* — траншейный фильтр (просачивание воды).

Траншейный фильтр укладывается в траншею на определенную глубину (см. рис. 8.12, *г*). Применяется он в ловчих дренах и при подключении беструбчатых (земляных) дрен к трубчатому коллектору (см. рис. 4.3).

В качестве траншейных фильтров можно применять дренажные плиты из стиропора (см. разд. 8.6).

8.3.2. Свойства дренажных фильтров

К естественным фильтрующим материалам отиосятся гравий, крупиозернистый песок, волокиистый торф, торфяиая пыль, солома, еловые ветки, сечка, кокосовые волокиа, вереск, древесные опилки, древесная кора, а при благоприятных условиях и комковатая почва (материнская порода).

В качестве синтетических фильтрующих материалов можно назвать волокнистые и пенистые пластмассы (например, стиропор и полиуретан), войлоки, шлаки и др.

В последние годы подробно исследовались физико-химические свойства обычных дреиажных фильтров. В таблице 8.5 приводится обзор таких важнейших характерных особениостей материалов, применяемых для дреиажных фильтров, как плотность (сухого вещества), плотность в уложенном слое, плотиость материала, а также общий объем пор. На рисунке 8.13 показаиа порозность (распределение объема пор), которая изменяется с плотностью в укладке (увеличение числа микропор диаметром менее 0,2 мм, сокращение числа микропор диаметром более 2 мм). Судить о системе пор дренажного фильтра можно лишь только в сравнении с почвой, структурой и распределением ее пор (см. табл. 2.5) и распределением частиц почвы по фракциям (см. рис. 2.6 и 3.4). Эффектив-

Таблица 8.5. **Характеристики обычных дренажиых фильтров** [5.6]

Материал	Толщина фильтра, см	Плотность укладки, г/л	Плотность, г/см³	Объем пор, %
Ржаная солома	1,4	64	1,58	96
Ржаная солома	1,3	96	1,58	94
Кокосовое волокно	0,9	107	1,52	93
Древесная шерсть	1,2	90	1,50	95
Волокнистый торф (филтан)	0,85	66	1,56	96
Акрило-целлюлозная смесь (дуо)	0,33	52	1,45	96
Полиэфирное волокно (тревираспунбонд)	0,5	138	1,38	90
Полиэфирное волокно (фибертекс)	0,1	202	1,38	85
Полипропилен (влинт)	0,35	118	0,91	87
Стекловолокно (мефи) (стеклянная шерсть)	1,3	57	2,62	98
Стеклохолст	0,03	168	1,93	91
Полиуретановый пенопласт	1,2	39	1,14	97

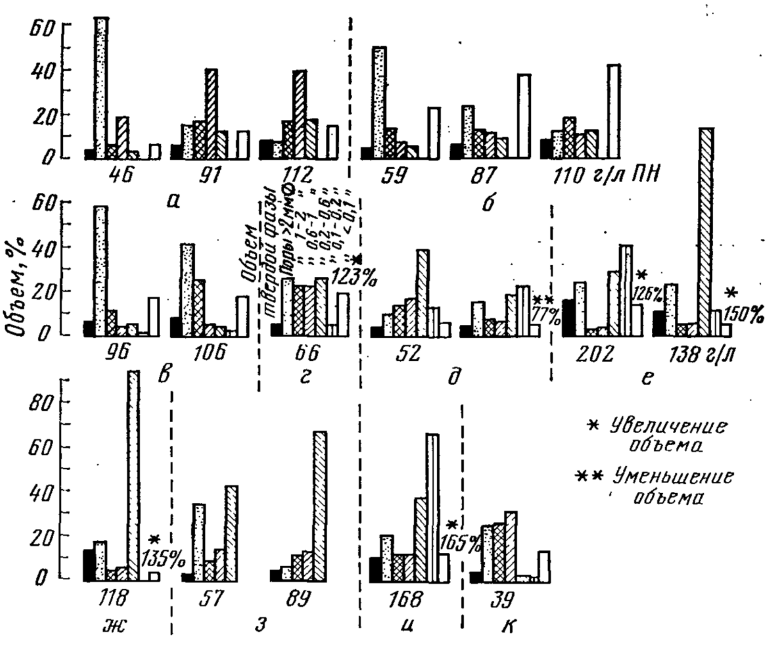


Рис. 8.13. Распределение объема пор в некоторых дренажных фильтрующих материалах [5.6]:

а — кокосовое волокно; *б* — ржаная солома; *в* — древесная шерсть; *г* — волокнистый торф (филтан без картона); *д* — акриловискозная смесь (дуо); *е* — полиэфирное волокно (фибертекс, тревираспунбонд); *ж* — полипропилен (влипт); *з* — стекляниая шерсть (мсфи); *и* — стеклоткань; *к* — полиуретановый пенопласт.

ность дренажного фильтра и его влияние на поступление воды в дренажную трубу рассматриваются в разделе 5.1.3.

Водопроницаемость фильтрующих материалов на полностью обернутых ими гофрированных дренажных трубах из ПВХ определялась экспериментально замером сопротивления протекающей через фильтр и водовпускные отверстия воды, причем фильтрующий материал и дренажная труба рассматривались вместе как одно целое (табл. 8.6).

8.3.3. Применение дренажных фильтров

Фильтрующие материалы могут быть рассыпными, в форме матов или же в виде готовых фильтрующих труб для укладки в траншею. Они могут быть устойчивыми или разлагающимися.

В соответствии с современным уровием зиаиий дренажные фильтры должиы раздельно или комбинированно выполиять следующие фуикции:

Таблица 8.6. **Водопроницаемость дренажных труб с имеющимися в продаже фильтрами** [8.10]

Торговое название	Гофрированные пластмассовые трубы		Водопроницаемость (k), см/с
	с внутренним дренажным фильтром	с наружным дренажным фильтром	
Гофрированная пластмассовая дреиажная труба	—	—	$5{,}5 \cdot 10^{-2}$
Полный фильтр из дуо	Синтетическое волокио	—	$4{,}2 \cdot 10^{-2}$
Полный фильтр из соломы	Солома	—	$13 \cdot 10^{-2}$
Кокосовый полный фильтр	Кокос	—	$15 \cdot 10^{-2}$
Полный фильтр из филтаиа	Торф	Синтетическое волокно	$0{,}62 \cdot 10^{-2}$
Полиый фильтр из стиромуля	Стиромуль	То же	$14 \cdot 10^{-2}$
Полный фильтр из стиродрена	»	Кокос	$19 \cdot 10^{-2}$
Полный фильтр из аит-ока	Опилки дерева мимозы	Солома	$10 \cdot 10^{-2}$

— обладать фильтрующим действием, т. е. разделять почвенные частицы разных размеров (>0,02 мм). Мелкие частицы почвы (глина, пыль) должиы проходить через дренажные фильтры;

— повышать гидравлическую эффективность дреиажа (см. разд. 5.1);

— обладать биохимическим действием, т. е. замедлять или предотвращать отложение охры в дренах.

Большое значение для дренажных фильтров имеет вид заиления труб (рис. 8.14). Различают следующие виды заиления [8.1, 8.12]:

— первичное заиление, которое наступает вскоре после завершения дренажных работ и быстро прекращается;

— вторичиое заиление, продолжающееся длительный срок.

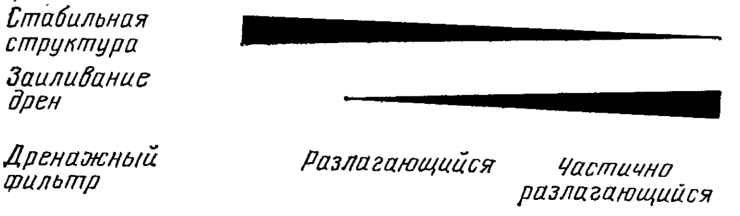


Рис. 8.14. Свойства почвы, заиление дрен и потребность в дренажных фильтрах [5.19].

Таблица 8.7. **Дренажные фильтры в зависимости от свойств почв и проводимых дренажных работ** [8.1 с дополнениями]

	Структура	Стабильная	Средняя	Плохая
Свойства почвы	Водопроницаемость	Высокая	Средняя	Низкая
	Склонность к заилению	Незначительное заиление	Времеиное (первичное) заиление	Длительное (вторичное) заиление
Дренажные работы	Вид работ, машины	Фрезериая цепь	Бестраншейиая укладка	Ручиые работы
		Бестраншейная укладка	Фрезерная цепь	Одноковшовый экскаватор Бестраншейная укладка Фрезерная цепь (сухая почва)
	Время года (влажность почвы)	Сухая или влажная Очень влажная	Достаточно сухая Влажная или мокрая	Только достаточно сухая почва
	Дренажный фильтр	Нет Частично демонтируется	Нет Частично демонтируется	Только при длительных сроках службы. Лучше траншейный фильтр

Ответ на вопрос, когда и в какой почве следует применять дренажные фильтры, может быть даи в табличной форме в зависимости от свойств почвы, вида дренажных работ и периода их выполнения (табл. 8.7), разновидности почвы (табл. 8.8) и ширины щелей водовыпускных отверстий (табл. 8.9).

Результаты проведенных коллоквиумов по дренажным фильтрам и опубликоваиные сведения за последние годы (см. разд. 5.1.3.) можно обобщить следующим образом:

— дренажиые работы иадо проводить при достаточно сухой почве (см. разд. 9.1);

— дренажные фильтры успешно примеияются преимущественно во влажной зоне ФРГ и Западной Европе;

— первичное заиление дреиажиых труб (см. рис. 8.14) полезно, так как образуется естественный почвенный фильтр (см. рис. 5.10). Отложения в дренажных трубах могут быть удалеиы одиоразовой промывкой;

Таблица 8.8. **Разновидности почв, подверженность заилению и потребность в дренажном фильтре** [5.19]

Разновидность почвы (см. рис. 3.4)	Первичное заиление	Вторичное заиление
Песок:		
крупный	—	—
средний	+	+
мелкий	++	++
пылеватый	+++	+++
суглинистый и глинистый	+	—
Пыль:		
песчаная	+++	+++
суглинистая	++	++
Суглинок:		
песчаный	+	—
пылеватый	++	—
Суглинок, песчаный суглинок, суглинистая глина	+	—
Торф	—	—

Условные обозначения: — Нет склонности к заилению и потребности в фильтре.
Склонность к заилению и потребность в фильтре:
+ малая
++ средняя
+++ большая

Таблица 8.9. **Размеры водовпускных щелей дренажных труб из ПВХ в зависимости от вида почвы и дренажных фильтров**

Разновидность почвы	Ширина дренажной щели, мм	
	труба с фильтром	труба без фильтра
Пыль, сильно разложившийся торф	0,6—0,9	—
Мелкозернистый песок	1,1—1,5	0,6—0,9
Глина, суглинок, супесь	1,7—2,0	1,1—1,5
Умеренно разложившийся торф, слабо разложившийся торф	—	1,7—2,0

— опыт, накопленный на конкретном местообитании, вряд ли может быть использован в другом месте;

— неразлагающиеся синтетические дренажные фильтры постепенно «устают», поэтому трубчатый дренаж выходит из строя и не может быть отремонтирован. Для предупреждения этого явления необходим правильный подбор состава синтетических волокон фильтра [8.2];

— желательны частично разлагающиеся (органические) дренажные фильтры, которые таким путем могут восстанавливаться.

8.4. ДРЕНАЖНЫЕ ТРУБЫ С ГОТОВЫМИ ФИЛЬТРАМИ

С целью сокращения затрат труда при строительстве дренажа и обеспечения полного покрытия поверхности дренажной трубы фильтром в ФРГ с 1980 г. изготовляются заводским способом дренажные трубы из жесткого ПВХ с готовыми фильтрами (рис. 8.15, табл. 8.10).

Многие фильтрующяе материалы (торф, солома, древесная стружка) успешно применяются уже в течение многих десятилетий.

Целесообразность использования этих материалов в фильтрующих матах и трубах подтверждена многочисленными испытаниями.

Новые фильтрующие материалы (стеклоткань, кокосовое волокно, стиропор, штапельное волокно, полиуретан) прошли испытания в полевых и лабораторных условиях [8.2, 8.5].

При использовании дренажного фильтра ант-ок (табл. 8.10) необходимо следить за биоценозом поверхностных вод (см. разд. 5. 6.3). Разрешение на его применение обязательно согласно закону о водопользовании.

О стойкости естественных фильтрующих материалов и степени их разрушения в процессе эксплуатации мы знаем больше по результатам физико-химических исследований раскопанных дренажных фильтров после многолетней эксплуатации [8.3, 8.4]. На длительность их эксплуатации влияют не только разновидность почвы и ее влажность, глубина заложения и погодные условия, но так-

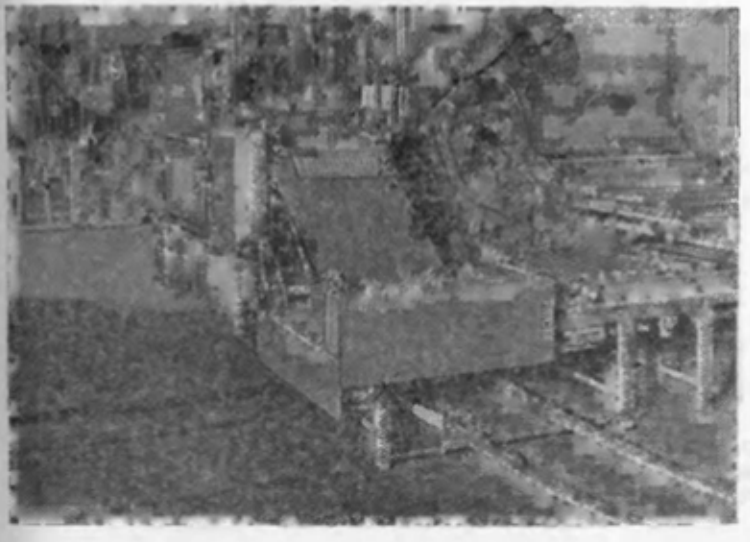


Рис. 8.15. Изготовление дренажных труб с фильтрами.

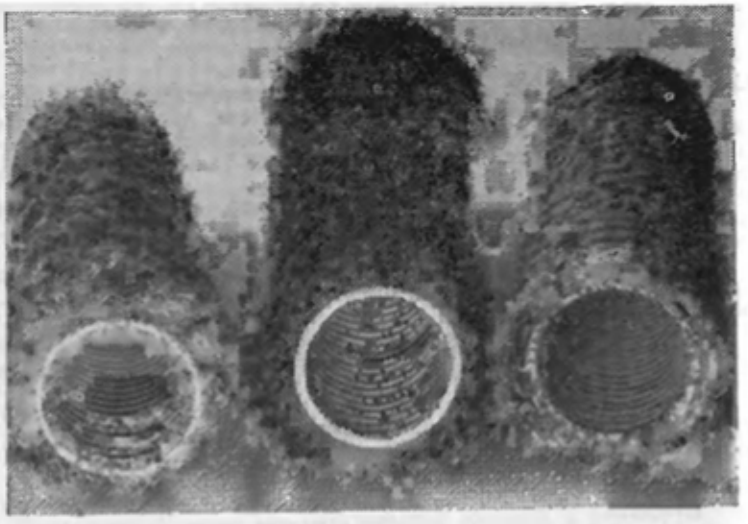


Рис. 8.16. Пластмассовые дренажные трубы, обернутые в фильтрующие материалы:

слева направо — кокосовое волокно, полипропиленовое волокно и филтан из дуо (верхний слой)+торфяное волокно (внутренний слой).

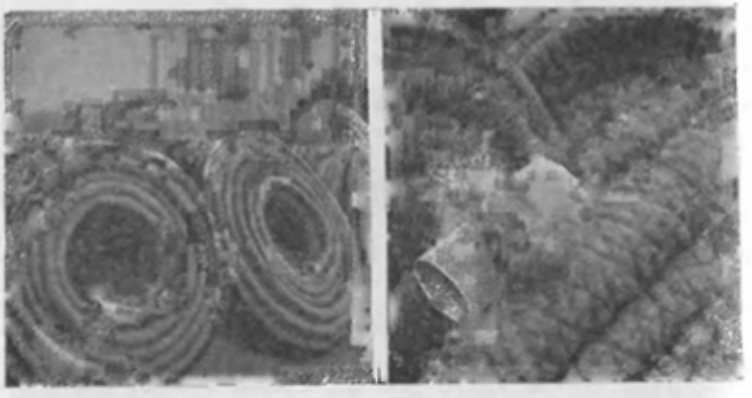


Рис. 8.17. Дренажные трубы из мягких полимеров, обернутые фильтрующим материалом (кокосовое волокно) и свернутые в бухты длиной по 50 м для хранения и транспортировки.

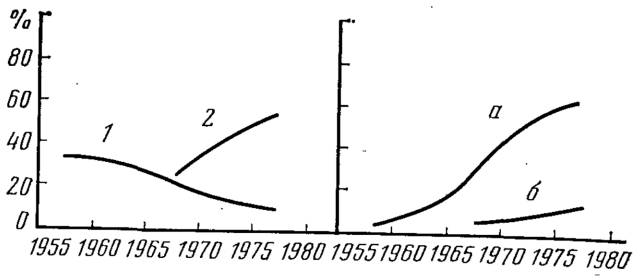


Рис. 8.18. Развитие производства дренажных фильтров в ФРГ [8.7]:

1 — рассыпные фильтрующие материалы (гравий, шлак, вереск, солома и др.); *2* — дренажные трубы с готовыми фильтрами; *а* — север; *б* — юг.

же землепользование, способы обработки почвы, а также техника укладки дренажа. Близкое соотношение величин *C/N* рыхлых почв подвергающихся постоянной распашке, и их вентиляция содействуют разложению фильтров, а также возникновению механических повреждений при укладке дренажа. Кроме того, в дренажные траншеи попадает пахотная почва с ее активной микрофлорой. Эти факторы быстро влияют на солому и древесную шерсть и медленно — на кокосовое волокно. Менее влияют они на торф и вереск и совсем не влияют на синтетические дренажные фильтры.

Таблица 8.10. **Имеющиеся в продаже дренажные трубы из жесткого ПВХ с готовыми фильтрами**

Первый выпуск	Фильтрующий материал	Торговое название
1962	Стеклоткань	Труба, обернутая стеклотканью
1963	Торф*	Филтан
1965	Штапельное волокно+ +акрил	Дуо
1967	Стиропор*	Труба со стиромулем
1968	Солома	Труба с соломенным фильтром
1970	Кокосовое волокно	Труба с кокосовой оберткой
1972	Древесная стружка+солома*	Ант-ок**
1973	Текстильные отходы	Труба, обернутая текстильными отходами

* Двухслойный фильтр.
** Против отложения охры.

На рисунках 8.16 и 8.17 показаны дренажные трубы с фильтрами. Если при дренировании сооружений и в работах по созданию ландшафта следует ожидать загрязнение гравийных фильтров песком, то рекомендуется применять дренажные трубы, обернутые готовыми фильтрами.

При правильной укладке дренажа с фильтрами не наблюдается заиления дренажных труб. В ФРГ уже уложено свыше 100 млн. м дренажа из труб с готовыми фильтрами, причем их применение непрерывно расширяется (рис. 8.18).

8.5. ДРЕНАЖНЫЕ МУФТЫ

Дренажные муфты изготовляются в ФРГ и Швеции для соединения гончарных дренажных труб. Муфты предотвращают смещение гончарных дренажных труб. Благодаря муфтам обеспечивается очень большая суммарная площадь водовыпускных отверстий (более 30 $см^2/м$) у дренажных труб длиной 33 см.

В ФРГ изготовляются дренажные муфты из ПВХ и называются фиксирующими муфтами. По желанию заказчика их поставляют с пенистым фильтром из полиуретана или без такого фильтра.

Изготовляют дренажные муфты для труб с номинальным диаметром 50 и 100 мм. На рисунке 8.19 показана всасывающая дрена из гончарных труб с дренажными муфтами.

Дренажные муфты можно применять на всех почвах. В торфяных почвах они препятствуют просадкам гончарных труб. Фильтр

Рис. 8.19. Всасывающая дрена из гончарных труб с дренажными муфтами.

из пенопласта уменьшает опасность выпадения охры в дренах. За период с 1967 г. до 1974 г. уложено свыше 50 млн. м дрен с фиксирующими муфтами.

В опыте на маршевых почвах земли Шлезвиг-Гольштейн исследовались гидравлические свойства гончарных дренажных труб длиной 33 и 50 см с фиксирующими муфтами. Дренажный сток, по данным 60 измерений, существенно не различался [8.6].

8.6. ДРЕНАЖНАЯ ПЛИТА, ФИЛЬТРУЮЩИЙ МАТ

8.6.1. Дренажные и фильтрующие плиты

Дренажные и фильтрующие плиты укладываются вертикально над дренажными трубами вдоль наружных стен подвалов, опорных стенок или вкопанных в землю резервуаров. Они имеют задачу отвести фильтрационные воды без ущерба по заданному пути к дренам, причем они могут заменить гораздо более тяжелые слои гравия и мелкого щебня.

Дренажные и фильтрационные плиты состоят из шариков вспененного стиропора диаметром 6—12 мм, которые закрепляются прочно, но в достаточной мере эластично при помощи специального клея. Могут они также выполняться из пенистого полистирола с крупными пустотами.

Оба вида плит имеют небольшую плотность, могут сжиматься на 25% своего объема, а также имеют чрезвычайно высокую водопроницаемость, порядка 10^{-1} см/с. Они имеют размеры, принятые в торговле, 100×75×6,5 см или 120×62,5×6,5 см. Поставляются онн по 8 плит в одной упаковке весом около 15 кг. Торговые названия их пордрен и унидрен.

Дренажные плиты одновременно являются хорошим теплоизоляционным материалом, что имеет большое значение в строительстве. Благодаря небольшой удельной массе они часто используются для устройства садов на крышах, где монтируются горизонтально. Для замены дренажных фильтров эти плиты могут устанавливаться ребром в дренажные траншеи и на расстоянии от 3 до 8 м, вследствие чего ускоряется и облегчается просачивание поверхностных вод к дренам.

8.6.2. Фильтрующие маты

Фильтрующие маты были созданы для защиты откосов каналов и дамб. Они имеют двухслойную конструкцию. Внутри крупнозернистый фильтр толщиной около 20 мм, представляющий собой грубую плетенку из высокопрочных, не поддающихся разложению волокон полипропилена. Наружный, приваренный к внутреннему, мелкий фильтр из синтетической ткани толщиной 0,6—0,8 мм сокращает проникновение мельчайших почвенных частиц. Фильтрующий мат имеет большую прочность на разрыв и излом. В торговле он называется эролан. Также фильтрующие маты могут вертикально укладываться вдоль стенок подвалов, чтобы отводить просачивающуюся в почву воду к дренам.

8.7. ФИЛЬТРУЮЩИЕ ТРУБЫ

Ниже приводятся фильтрующие трубы из керамики и бетона, а также специально разработанные фильтрующие трубы из пластмассы.

8.7.1. Бетонные фильтрующие трубы

Уже более двух десятилетий применяются фильтрующие трубы из монозернистого бетона. Они выпускаются различных профилей и внутренних диаметров и применяются в основном в инженерном строительстве, при осушении отвалов городского мусора и подпочвенном орошении. Их изготовляют из разбитого на мелкие кубики базальтового щебня (без добавки песка или гравия) и цемента. Если в почве имеются агрессивные воды (pH 5,5), то надо применять специальный цемент. В продажу трубы поступают под названием порозит.

Бетонные фильтрующие трубы с пазами и фальцами отличаются достаточно высокой водопроницаемостью (рис. 8.20). Такие трубы прокладываются преимущественно в специальном песчано-гравийном фильтре (см. разд. 7.5.1).

8.7.2. Дырчатая труба из каменистого материала

Трубы с номинальными диаметрами от 50 до 500 мм имеют отверстия с одной стороны или со всех сторон. Расстояния между отверстиями от 5 до 10 см, диаметр отверстия обычно около

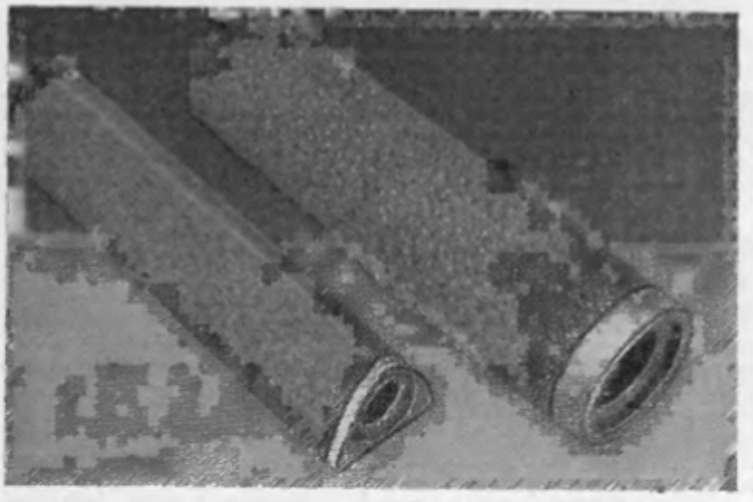


Рис. 8.20. Бетонные фильтрующие трубы из монозернистого бетона.

10 мм*. Длина труб 100, 125 и 150 см. Свойства материала и параметры этих труб соответствуют параметрам и свойствам материалов обычных глазурованных керамических труб с муфтами, применяемых для канализации.

Дренажные воды поступают в трубу через отверстия. Дырчатые трубы уже давно с успехом применяются в инженерном строительстве всех видов. Их обычно укладывают в гравийный фильтр (см. разд. 7.5).

8.7.3. Фильтрующие трубы из пластмасс

Фильтрующие трубы изготовляются из жесткого ПВХ и жесткого полиэтилена (см. разд. 8.2). Они имеют туннелеобразное сечение с гладкой подошвой без водовпускных отверстий. Верхняя часть трубы снабжена гофрировкой (рис. 8.21). Прорези расположены в глубине гофр почти перпендикулярно к оси трубы и в шахматном порядке. Ширина прорезей составляет 0,8 мм, длина — 13—17 мм, таким образом, суммарная площадь водовпускных отверстий составляет более 50 см²/пог. м. Трубы изготовляются стандартной длины по 5 м. Они должны отвечать требованиям. Памятки об осушении дорог, изданной исследовательским обществом по дорожному делу в Кельне.

В таблице 8.11 приводятся обзорные данные по этим материалам.

Таблица 8.11. **Фильтрующие трубы из пластмасс, имеющиеся в продаже**

Обозначение	Материал	Внутренний диаметр, мм
Раудриль	ПВХ жесткий	80, 100, 150
Сиропласт	ПЭ »	80, 100, 150, 250
Стразил	ПВХ »	80, 100, 150, 250

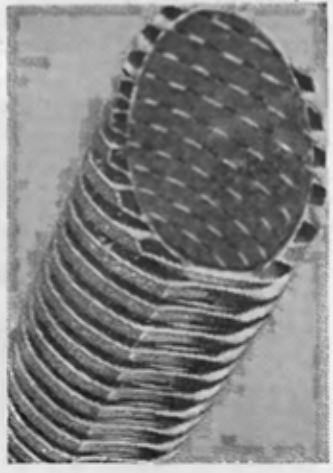


Рис. 8.21. Туннелеобразная фильтрующая труба из жесткого ПВХ с гладкой внутренней подошвой из сиропласта.

* Слишком большое отверстие. — **Прим. пер.**

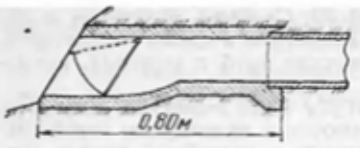


Рис. 8.22. Дренажное устье для коллектора из бетона с решетчатым клапаном [7.23].

8.8. УСТЬЯ. СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ТРУБЫ

Эффективность трубчатого дренажа решающим образом зависит от работы его устья и точек подключения всасывающих дрен. В продаже имеются многочисленные фасонные детали. Дренажные устья обычно изготовляются из бетона (рис. 8.22), керамики или из ПВХ (рис. 8.23) с номинальным диаметром от 50 до 200 мм; длина должна быть не менее 100 см. При диаметре 100 мм и более, согласно стандарту ФРГ DIN 1185 (лист 3), требуются подвижные решетки из коррозионноустойчивого материала (расстояние между прутьями решетки не менее 5 мм), причем сужение водопропускного отверстия должно компенсироваться расширением устьевого участка (см. рис. 8.22). Дренажное устье не должно выходить в водоприемник, а также не должно промерзать. Откосы и дно участка, примыкающего к дренажному устью, должны быть защищены от эрозии каменной кладкой, отмосткой бутом и т. п.

Для защиты откосов и облегчения эксплуатации каналов в последнее время применяются так называемые фартуки из ПВХ.

Для всех видов дренажных труб выпускаются соединительные фасонные части (Г-образная муфта или труба, муфта с отверстием посредине, так называемая крестовина, и др.). Особенно большой выбор фасонных деталей для гофрированных дренажных труб из ПВХ (рис. 8.24 и 8.25).

На рисунках 8.24 и 8.25 показаны возможности комбинирования дренажных труб с соединительными муфтами. Г-образные муфты изготовляются для дренажных труб диаметром 100 мм и более.

Для защиты откосов каналов от эрозии в местах устьев дрен вместо обычной отмостки разработана специальная защитная плита из пластмассы, ее наружные размеры 85×85 см, масса около 9 кг. Плита легко подгоняется к разным размерам дренажных труб и крепится по вертикально расположенной окантовке кромок. В местах примыкания к одерновке края плиты заводятся под дерн.

Рис. 8.23. Дренажное устье из обожженной глины и ПВХ.

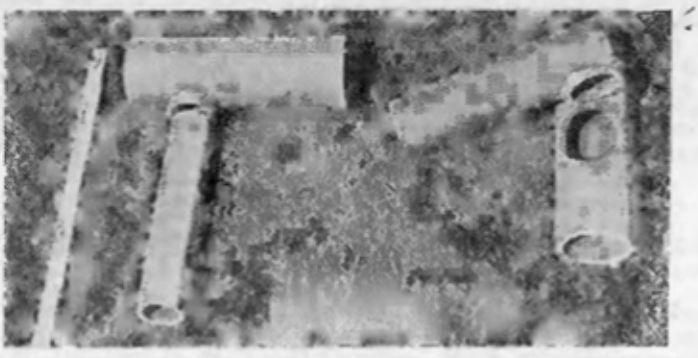


Рис. 8.24. Гончарные соединительные фасонные части (дырчатая и Г-образная соединительная трубы).

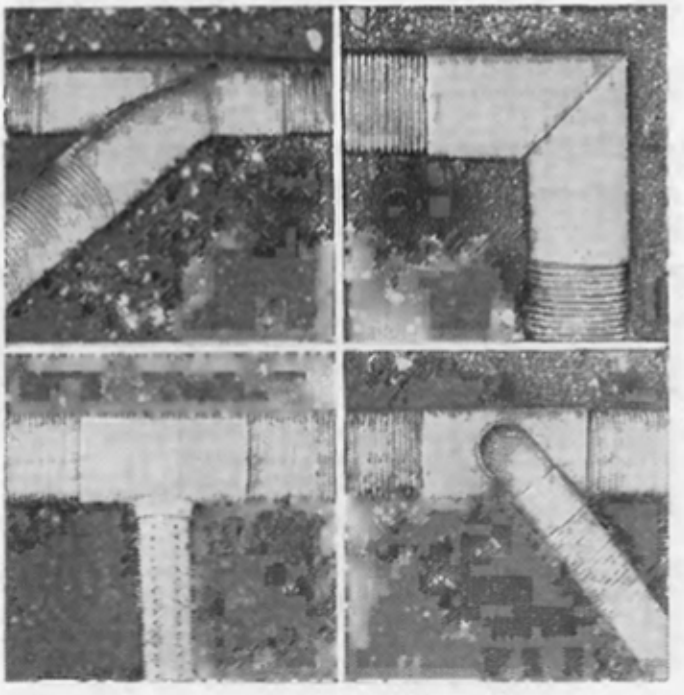


Рис. 8.25. Соединительные поливинилхлоридные трубы.

8.9. ДРЕНАЖНЫЕ КОЛОДЦЫ

Согласно стандарту ФРГ DIN 1185 (лист 3), различают дренажные и контрольные колодцы с илоуловителями и без них, а также перепадные колодцы. Все колодцы необходимо закладывать на глубину, превышающую глубину промерзания грунта. Толщина стенок и размеры фундаментов должны обеспечивать устойчивость сооружения.

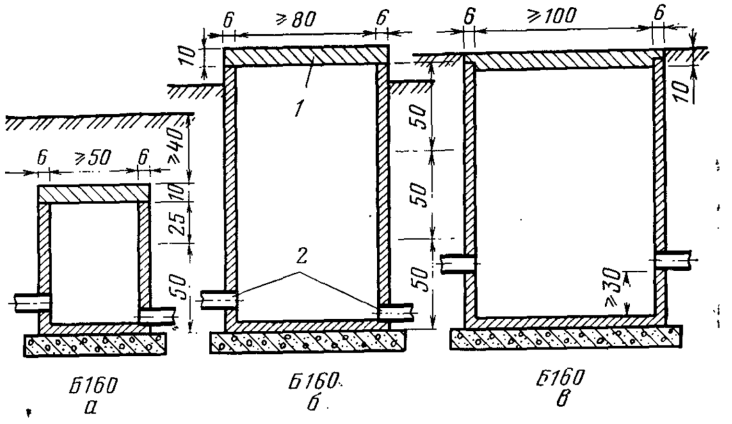


Рис. 8.26. Различные дренажные колодцы из бетонных труб [7.23]:

а — дренажный колодец; *б* — контрольный колодец; *в* — контрольный колодец с илоуловителем; *1* — покрытие, выбираемое согласно нормативам; *2* — дрена.

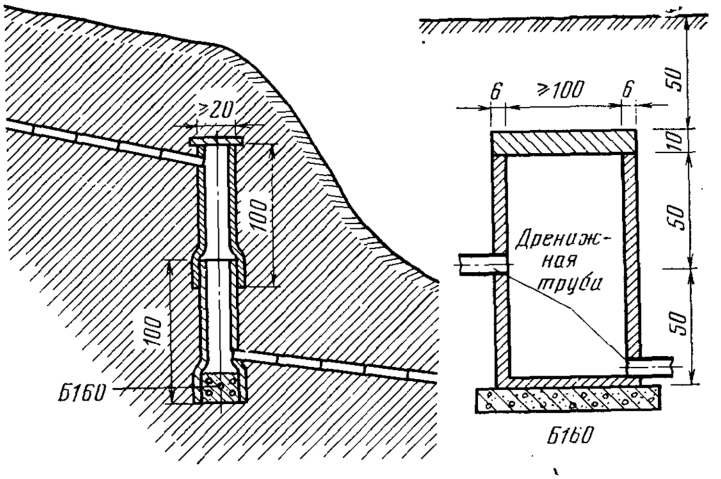


Рис. 8.27. Дренажный перепад [7.23].

Крышка колодца должна выдерживать обычные нагрузки и плотно закрываться. При строительстве дренажных колодцев целесообразно применять сборные стандартные бетонные элементы (рис. 8.26).

Внутренний диаметр дренажного колодца должен быть не менее 50 см (см. рис. 8.26, *а*). Колодец должен иметь земляное покрытие толщиной не менее 50 см. Дренажные колодцы отмечают на местности, чтобы их можно было легко найти.

Контрольный колодец без илоуловителя (см. рис. 8.26, *б*) должен иметь внутренний диаметр не менее 80 см. Контрольный колодец с илоуловителем имеет внутренний диаметр не менее 100 см и снабжается внутри лазовыми скобами. Впадающие в колодец и выходящие из него трубы располагают на одинаковой высоте. Дно колодца должно быть не менее 30 см глубже дна труб (см. рис. 8.26, *в*).

На рисунке 8.27 показаны два колодца-перепада для коллектора с разной высотой перепада. Подключение выходящей трубы должно выполняться особенно тщательно, чтобы не допустить вымывания почвы и эрозии.

Литература

[8.1] Bellin, K.: Über Dränfilter und Dränhydraulik. Wasser und Boden **24**, S. 381—384. Hamburg 1972.

[8.2] Burghardt, W.: Die Entwicklung von Dränvollfiltern aus Kunststoffasern. Wasser u. Boden **31**, S. 14—17. Hamburg 1979.

[8.3] Burghardt, W.; Foerster, P.; Scheffer, B.: Die Bedeutung einiger Bodeneigenschaften für den Abbau von Dränfiltern aus Kokosfasern. Z. f. Kulturt. u. Flurb. **19**, S.363—370. Berlin 1978.

[8.4] Burghardt, W.; Foerster, P.; Scheffer, B.: Der Einfluß von Nutzung, Bewirtschaftung und Verlegetechnik auf die Lebensdauer von Dränvollfiltern aus Kokosfasern. Z. f. Kulturt. u. Flurb. **20**, S. 11—19. Berlin 1979.

[8.5] Collins, H.-J.; Karge, H.: Prüfung von Dränfilterstoffen. Wasser u. Boden **30**, S. 266—268. Hamburg 1978.

[8.6] Dijkstra, J. A.: Funktionsprüfung verschiedener Feldentwässerungsvarianten in einem Marschboden. Diss. Kiel 1974.

[8.7] Eggelsmann, R.: Die Bedeutung der Dränung in der Bundesrepublik Deutschland. Wasser u. Boden **30**. Hamburg 1978.

[8.8] Feichtinger, F.: Dränfilter: Österr. Bundesanstalt für Kulturtechnik u. Bodenwasserhaushalt, Information Nr. 7. Petzenkirchen 1976.

[8.9] Güte- und Prüfbestimmungen für flexible Kunststoff-Dränrohre RAL-RG 713/2. Herausg. RAL, Ausschuß für Lieferbedingungen u. Gütesicherung, Frankfurt a. M. Ausgabe Okt. 1976. Bezug: Beuth-Vertrieb GmbH, Postf. D-1000 Berlin 30 und D-5000 Köln.

[8.10] Klotz, D.: Durchlässigkeitsuntersuchungen an ummantelten Kunststoff-Dränrohren. Wasser u. Boden **30**. Hamburg 1978.

[8.11] Knobloch, H.: Die heikelste Stelle des Dränstranges: die Eintrittsöffnung. Wasser und Boden **21**, S. 34—36. Hamburg 1969.

[8.12] Kuntze, H.: Fortschritte der Dränung aus der Sicht der Bodenforschung. Wasser und Boden **25**, S. 325—327. Hamburg 1973.

[8.13] Rehau: Anwendungstechnisches Handbuch, Teil Rohre. 3. Aufl. Herausg. Rehau Plastics GmbH, Rehau/Bayern 1973.

[8.14] Dierickx, W.: Electrolytic analogue study of the effect of openings and surrounds of various permeabilities on the performance of field drainage pipes. Diss. Wageningen/NL 1980.

9. СТРОИТЕЛЬСТВО ДРЕНАЖА

Работа дренажа в большой степени зависит от тщательности составления проекта и перенесения его на местность. Это особенно важно при строительстве дренажа на равнинных, безуклонных территориях.

Согласно Правилам выполнения подрядно-строительных работ (стандарт ФРГ DIN 18300) на дренажные и подземно-строительные работы, предусматривается двухлетняя гарантия. Эффективность выполненных дренажных мероприятий существенно зависит от влажности почвы, а также от погодных условий в период строительных работ, что неоднократно отмечается в стандарте ФРГ DIN 1185 (листы 1 и 3).

Качество дренажных работ полностью зависит от добросовестности подрядчика, так как покрытый метровым слоем грунта дренаж скрыт от наших глаз.

Поэтому дренажные работы следует поручать только хорошо зарекомендовавшим себя предприятиям, имеющим специально обученные кадры.

Передача подряда на строительство дренажа регулируется специальными правилами по подрядно-строительным работам — стандарт ФРГ DIN 18308 (дренажные работы), а производство работ изложено в DIN 1185 (лист 3). Оба стандарта являются общей частью договора. Большинство дренажных предпринимателей в ФРГ объединились в 1979 г. в Сообщество по высококачественному выполнению дренажных работ и вошли в Сообщество по производству качественных гибких дренажных труб. Однако этот процесс еще не завершен.

Можно предположить, что в дальнейшем дренажные работы будут выполняться только механизмами.

9.1. СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ В ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА ДРЕНАЖА

В предыдущих главах книги подчеркивалась важная роль структуры почвы при проведении всех дренажных работ.

В новом издании стандарта ФРГ DIN 1185 (лист 1) четко указано, что все дренажные работы надо выполнять только в сухой почве. Лист 3 стандарта, раздел «Исполнение» предписывает: «Строительство дренажа следует отложить или прервать, если при сильном увлажнении почвы с лабильной структурой в результате движения строительной техники разрушается структура, а при разработке траншей почва размазывается по их стенкам».

Каждому агроному известно, что обработка почвы зависит от ее свойств и прежде всего от ее влажности. Также инженеру, занимающемуся строительством, например, дорог и знакомому с механикой грунтов, хорошо известны эти зависимости. Такие позна-

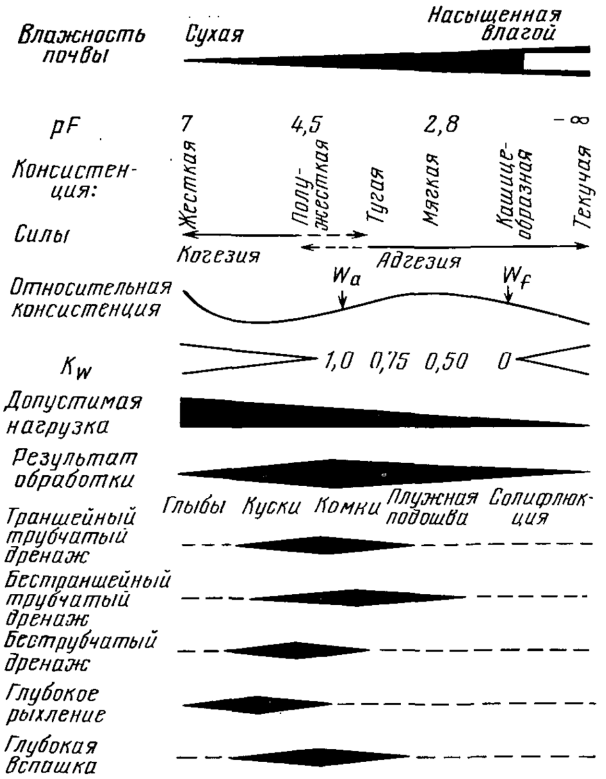


Рис. 9.1. Свойства связанных почв в зависимости от их влажности и возможности применения дренажных машин (по неопубликованным материалам проф. Х. Купце).

ния необходимы также инженерам, техникам и мастерам, занятым в дренажном строительстве.

Свойства связных почв изменяются в зависимости от их влажности (рис. 9.1).

Под консистенцией почвы понимают ее сопротивление деформациям, вызываемым силами когезии и адгезии. При этом важную роль играет содержание в почве глинистых частиц, воды и частично гумуса. Соотношение выражается формулой:

$$K_w = (W_f - W) : (W_f - W_a),$$

где K_w — коэффициент, характеризующий состояние почвы; W — фактическое содержание воды, % массы; W_a — содержание воды в почве, соответствующее пределу способности ее скатываться в шнур; W_f — содержание воды в почве, соответствующее пределу текучести.

Несущая способность связиой почвы и пригодность ее для обработкн сельскохозяйственными орудиями, а также для проведения дреиажиых работ определяются влажностью почвы. Предельные значения состояния почвы приведены в иижней части рисунка 9.1.

Если нет лабораторных данных о влажности почвы, то практик должен уметь выбирать время для начала дренажиых работ визуально (по раскатыванию почвы в руке).

9.2. ДРЕНАЖНЫЕ МАШИНЫ

Конструирование машин для трубчатого дренажа началось примерно 35 лет назад. Первые машины предназначались лишь для выемки груита. Подготовка и разравнивание дна дренажных траншей и укладка дренажных труб выполнялись вручиую. На рисунке 9.2 приведены различные типы рабочих органов дренажных машин.

Из многочисленных машин, используемых для извлечения грунта из разрабатываемых траишей, наибольшее распространение получили, начиная с 1960 г., дреиажиая машииа с рабочим органом в виде фрезерной цепи и предназначениый для работы на камеиистых горных почвах одноковшовый экскаватор.

С 1968 г. применяется бестраишейиая дренажная машииа*, предназначенная для ровной местностн. Первые опытные машины

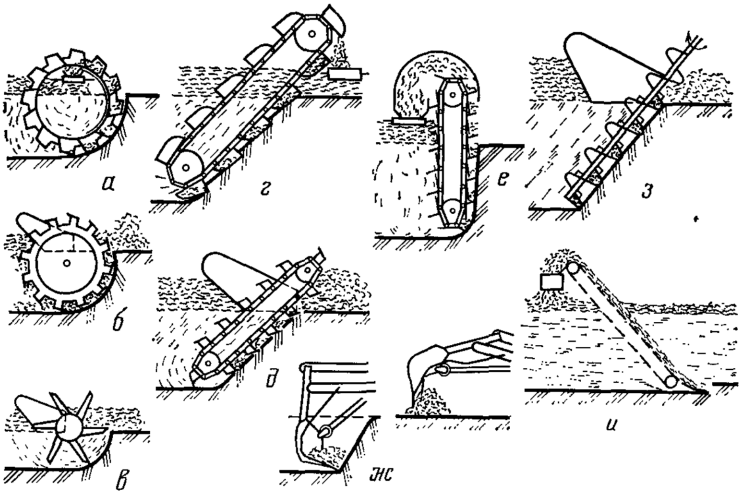


Рис. 9.2. Схемы рабочих органов различных дренажных машин:

а — колесный рабочий орган траншейного канавокопателя; *б* — дисковая фреза; *в* — скребковое колесо; *г* — многоковшовый цепной рабочий орган; *д* — цепной рабочий орган фрезерного типа; *е* — скребковый цепной рабочий орган; *жс* — экскаваторный ковш; *з* — шнековый рабочий орган; *и* — дренажный плуг.

* В стандарте ФРГ DIN 1185 описывается бестраншейный трубчатый дренаж, или трубчатый дренаж, укладываемый в почву без рытья траншей. Для того чтобы его не смешивать с беструбчатым или так называемым кротовым, или земляным, дренажем, далее используются термины «бестраншейный трубчатый дренаж» и «бестраншейная дренажная машина».

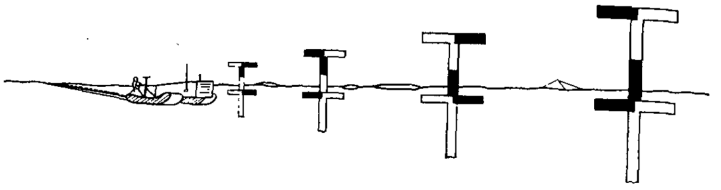


Рис. 9.3. Система контроля уклона и направления хода дренажных машин.

этого типа испытывались в 1960 г. [9.2]. Ниже описываются эти дренажные машины.

Для правильного движения дренажных машин предварительно расставляют направляющие рейки или вехи.

Регулирование глубины траншеи также зависит от скорости движения работающей дренажной машины и от чувствительности регулирующего устройства. Подробно об этом см. в разделе 9.8.4.

Контроль уклона при укладке дренажа осуществляется одним из следующих четырех способов.

Ручное управление с помощью визирного устройства — самый простой способ. Он чаще всего применяется в сочетании с системой управления рабочим органом дренажной машины. На местности с интервалами 20—40 м (в зависимости от дальности обзора) устанавливают визирные штанги с переставляемыми по вертикали нивелирными крестами, по которым водитель направляет движение дренажной машины (рис. 9.3).

Надежно работает **полностью автоматическое следящее устройство.** Вдоль разрабатываемой дренажной траншеи натягивают проволочный трос, который нивелируют в соответствии с проектным уклоном дна траншеи. Вилка следящего устройства передает импульсы с нивелирного троса на электромагнитный прибор управления дренажной машиной.

При **коротковолновом радиоуправлении** за дренажной машиной устанавливают нивелирный аппарат, на который передается требуемый уклон дренажа. Посредством нивелирного аппарата контролер постоянно проверяет заглубление рабочего органа дренажной машины, снабженного визирной меткой. Управление заглублением рабочего органа осуществляется через коротковолновый радиопередатчик.

Самое современное устройство для управления дренажной машиной основано на использовании **световых лучей.**

Разработанное в США автоматическое регулирование высоты (глубины) рабочего органа при помощи лазерной техники у дренажных машин, планировщиков и т. п. получило широкое распространение в Западной Европе, особенно на равнинных территориях в Нидерландах, Англии, Франции, ФРГ.

Лазерная система состоит из двух главных компонентов:

— массивного точного передатчика (на треножном штативе) с вращающимся лазерным лучом;

— приемника (на мачте строительной машины), который воспринимает плоскость отсчета лазерного луча и его сигналы передает через блок управления на гидравлику машины.

Принцип работы: механизм снабжен гелиево-неоновым лазером с длиной волны 623,8 нм, что соответствует 6328 Å. Передатчик, как маяк, посылает вращающийся лазерный луч. Образуемая лазерным лучом плоскость отсчета (базовая плоскость) диаметром около 600 м расположена на высоте более 2,5 м над местностью и может быть установлена на уклон до 8°. В гражданском строительстве и фундаментостроении лазерная система может устанавливаться вертикально для целей измерения глубин и провешивания линий, например при забивке шпунтовых стенок и т. п.

Фотоэлектронный приемник, который воспринимает базовую плоскость лазерного луча, с высокой точностью автоматически управляет гидравликой рабочего органа, например дренажной цепи или плуга, земляного струга или ковша. Заглубление рабочего органа корректируется независимо от разницы в высотных отметках на поверхности земли. Для этого элементы приемника должны монтироваться вертикально над рабочим органом. Электронное автоматическое устройство удерживает передатчик в заданном положении.

Если лазерная система выходит из горизонтального положения (равновесия), то лазерный луч отключается до тех пор, пока прибор не сбалансируется снова.

Водитель следит за процессами включения по загоранию цветных контрольных ламп. Скорость вращения лазерного луча можно регулировать. Контроль высоты осуществляется 5 раз в секунду.

При помощи дополнительного прибора на дренажной машине, который автоматически измеряет длину уложенных труб, можно изменять угол уклона по трассе (рис. 9.4).

Технические данные:

дальность действия лазерного луча — 300 м
пределы установки уклона от —10 до +20%
точность установки — 0,005%

Лазерные системы небольшой мощности (граничные значения <5 мВ/см^2 для расстояний меньше 1400 м) допущены для строительных площадок апелляционными товариществами по несчастным случаям. При этом необходимо руководствоваться предписаниями по предупреждению несчастных случаев (Объединение профессиональных страховых товариществ, 98).

Лазерная система значительно сокращает подготовительное время на строительной площадке, так как при ней можно отказаться от установки на местности условных знаков или натяжения проволоки. Точность выполнения уклона при использовании лазерной системы значительно повышается по сравнению с другими системами, так как лазерная техника работает бесперебойно и гораздо точнее, чем человеческий глаз, поскольку она не поддается воздействию погодных условий (солнца, дождя, ветра, тумана), а также усталости. Особенно для бестраншейной укладки трубчатого дренажа (с помощью дренажного плуга) управление посредством лазерной техники является шагом вперед, поскольку в данном случае может хорошо использоваться рабочая скорость.

Уровень дна дренажной траншеи регулируется автоматически с помощью лазера, исключая вмешательство несовершенных органов чувств человека. Этот способ должен еще пройти проверку в тяжелых условиях строительных площадок. Контрольные испытания этого способа еще не закончены [9.3].

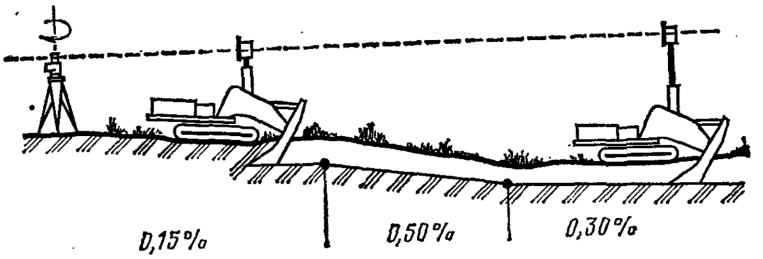


Рис. 9.4. Автоматическое управление высотой (включая изменение уклона) с помощью лазерной системы.

Все приборы для управления заглублением могут применяться на машинах, которые укладывают дренажные трубы с разработкой траншей или бестраншейным способом.

9.3. ТРУБЧАТЫЙ ДРЕНАЖ

9.3.1. Дренажные машины, разрабатывающие траншеи

Применяемые в настоящее время фрезерно-цепные дренажные машины для разработки траншей и укладки дренажных труб (рис. 9.5—9.7) сконструированы на основании опыта, накопленного в течение многих десятилетий. Эти машины разрабатывают траншеи согласно проекту (по глубине и уклону) и одновременно укладывают гончарные или пластмассовые дренажные трубы (с объемным фильтром или без него), фильтрующие маты или фильтрующий материал. Эти машины могут быть оборудованы шнековыми рабочими органами для засыпки траншей (рис. 9.10).

Современные фрезерно-цепные дренажные машины обслуживаются в большинстве случаев одним человеком. Гидростатический привод для каждой гусеницы позволяет работать при скоростях порядка 200—2000 м/ч. Выносная стрела землеройного рабочего органа с фрезерной цепью и ящиком трубоукладчика оборудована устройством для гидравлического подъема и опускания. Управление заглублением рабочего органа осуществляется водителем или автоматически.

В зависимости от типа машины и ее мощности максимальная рабочая глубина может достигать 1,6—2,5 м.

Поскольку дренажные машины с фрезерной цепью имеют гусеничный ход, то давление, оказываемое ими на почву, составляет всего лишь 0,2—0,3 кгс/см^2. Дренажные машины с пневматическими шинами при сухой почве обладают рядом преимуществ (давление на почву более 1 кгс/см^2).

Фрезерные цепи работают под углом около 40°. Для бокового перемещения грунта служат шнековые транспортеры, а навесные скребки — для засыпки уложенных дренажных труб почвой верхнего слоя, обладающего устойчивой структурой (табл. 9.1).

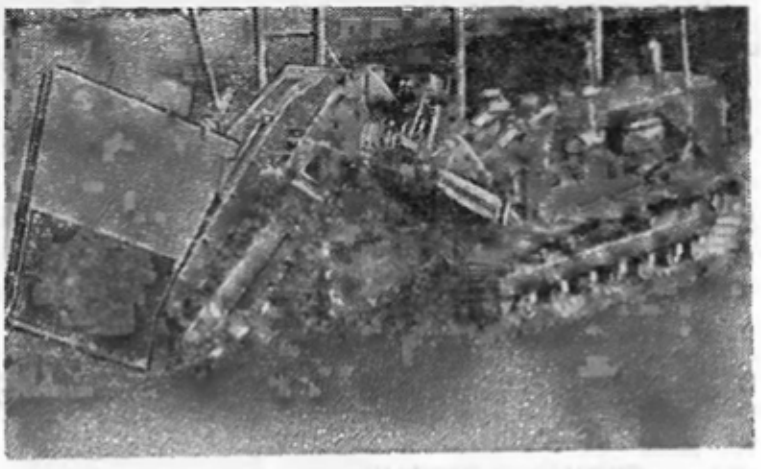


Рис. 9.5. Дренажная машина фирмы «Hoes» с фрезерно-цепным рабочим органом.

Рис. 9.6. Дренажная машина фирмы «Barth» с фрезерно-цепным рабочим органом на тракторе со всеми ведущими колесами.

Рис. 9.7. Дренажная машина фирмы «Eberhardt» с фрезерно-цепным рабочим органом в работе.

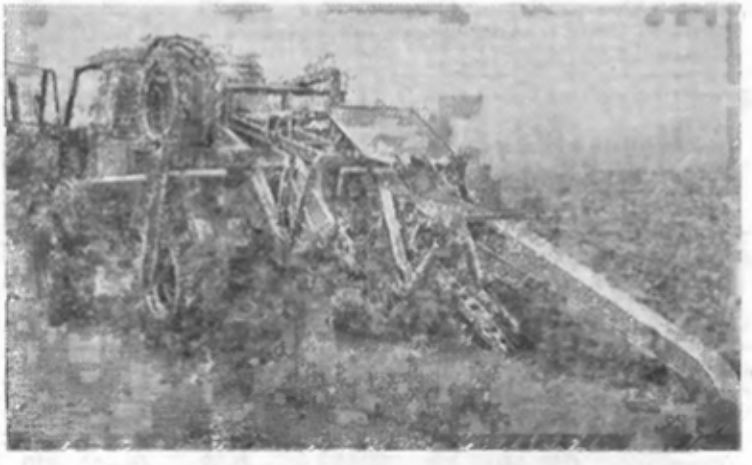


Рис. 9.8. Фрезерный траншеекопатель на тягаче «Унимог».

Таблица 9.1. Технические характеристики известных фрезерно-цепных дренажных машин [9.6 с добавлениями]

Фирма	Тип	Двигатель, кВт	Ходовая часть шасси	Масса, т	Давление на грунт, кг/см²	Рабочий профиль, см	
						ширина	максимальная глубина
«Apparatenfabriek Ketelfabriek, BV», «Drainmaster», Гус (Нидерланды)	F-80	96	Г	10,5	0,23—0,29	23—29	210
	S-90	115	Г	11,5	0,23—0,28	23—28	180
	S-100	134	Г	12,5	0,26—0,29	14—45	180
	S-110	168	Г	14,5	0,23—0,28	14—45	180
	V-90	115	Г	14,5	0,28	18—50	300
	V-100	134	Г	14,5	0,28	18—50	300
	V-110	168	Г	16,0	0,28	14—50	300
«D. Barth & Zn., BV», Гравендеел (Нидерланды)	K-140Nc	50—80	Г	7,5	0,24	23—30	160
	K-140N	50—94	Г	7,5	0,23—0,36	23—30	160
	K-170N	124	Г	12	0,29	23	185
	K-200	144	Г	17	0,28	23	220
«Draintie BV», Тиль (Нидерланды)	D-16	97	Г	10,5	0,25	22—35	170
	D-18	104	Г	13,5	0,25	22—35	200
	D-20	144	Г	16,5	0,25	22—35	250
	D-30	144	Г	23	0,29—0,46	30—60	325
«Gebr. Eberhardt», D-790, Ульм на Дунае	GFP-3	111	Г	10,5	0,19	28	160
	Специальное оборудование					40	260
«Klaus-Gerd Hoes», D-2906, Варденбург	«Дренер»	48	П	5,5	—	24—60	160
	«Супер»	77	Г	7,1	0,2	24—45	180
	«Гигант»	134	П	12,0	—	24—45	250
	»	134	Г	12,5	0,26	24—45	250
	«Супер-Гигант»	160	Г	14,5	0,26	24—45	300
«Howard Rotavator & Co. Ltd., Вест Гордон (Англия)	Марка «V»	67	Г	8,6	0,34	18—23	170
«Steenbergen», «Holland-drain», Клаасвааль (Нидерланды)	ESL-175	107	Г	13,5	0,29	15—30	175
	ESL-210	107	Г	13,7	0,29	20—35	210
	ESL-170	107	Г	14	0,39	18—30	175
	GSL-P120	134	Г	19	0,31	26—30	140
	GSL-210	134	Г	15	0,32	18—40	210
	FSS	74	Г	9	0,29	15—26	150
	GSS-200	134	Г	17	0,36	20—50	210
	GSS-Супер	147	Г	18,50	0,40	20—50	210
	GSS-250	184	Г	19	0,40—0,34	20—50	270
	B-500	238	Г	28	0,48	25—30	500

Примечание. П — пневматический ход; Г — гусеничный ход.

Таблица 9.2. **Техническая характеристика траншейных фрез**

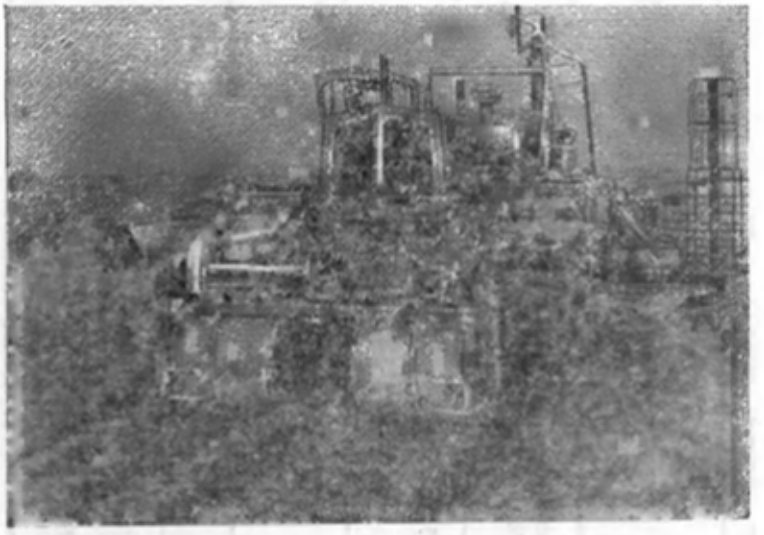
Фирма	Тип	Мощность двигателя, кВт	Ходовая часть	Масса, т	Разрабатываемый профиль, см	
					ширина	максимальная глубина
«Davis Mfg» (США), филиал «Universal Manufacturing GmbH»	«Таск Форс-200»	9	Г	0,82*	10—30	165—75
	«Таск Форс-300»	13,5	Г	0,84	10—30	165—75
	«Таск Форс-1000»	45	Г	2,45	20—60	210—90
«Klaus-Gerd Hoes», D-2905, Варденбург (ФРГ)	Траншейная фреза на тягаче «Унимог», тип 411	25	П	3,3	23—40	120
	тип 406	49	П	4,4	23—40	150
«Charles Machine Works»	«Дитч Уитч», М-4	6,9	П(Г)	0,4*	20	120
	М-422	9,4	П(Г)	0,5	30	150
	К-2	22,5	П	1,35	40	120
«Koehring»	«Персон-88»	33	П	3,7	40	120
«Karl Schaeff KG», Ланденбург/ /Вюрт. (ФРГ)	GF-10 На тягаче «Унимог», тип 406	50	П	5,1	25—30	120

Примечание. Г — гусеничный ход; П — пневматический ход.

* Без трактора.

Рис. 9.9. Одноковшовый экскаватор глубокого копания «Атлас» разрабатывает траншею для кабеля.

Рис. 9.10. Двусторонний шнековый рабочий орган для засыпки дренажных траншей при обратном ходе трактора.



Наряду с фрезерно-цепными дренажными машинами, которые укладывают дренажные трубы с уклоном, имеются фрезы, разрабатывающие траншеи для укладки кабеля, газовых и водопроводных труб. Такие фрезы представляют собой рабочие органы, смонтированные на тракторе (рис. 9.8, табл. 9.2). При оборудовании траншейных фрез дополнительными устройствами они могут быть использованы для укладки дренажных труб с уклоном. Одноковшовые экскаваторы, предназначенные для глубокого копания, представляют собой универсальные механизмы. Они могут быть на гусеничном или пневматическом ходу и иметь самые разнообразные рабочие органы (грейфер, ковш, ложка и т. д.) с тросовым или гидравлическим приводом.

На строительстве дренажных траншей используют одноковшовые экскаваторы глубокого копания, если:

— почва сильнокаменистая;

— в почве много древесных остатков (пнистость);

— глубина дренирования очень большая;

— дренажные трубопроводы имеют номинальный диаметр не менее 200 мм.

На рисунке 9.9 показан одноковшовый экскаватор глубокого копания за работой.

Грейферный экскаватор применяется для разработки дренажных траншей крайне редко. Он успешно используется при строительстве шахтных колодцев и устройстве устьевых участков всасывающих дрен в местах их соединения с коллекторами. На дренажных работах часто применяются тракторные навесные устройства (задняя навеска).

Для засыпки дренажных траншей применяют тракторы-толкачи на гусеничном ходу, тракторы с навешенным спереди или сзади щитом или специальные шнеки (рис. 9.10). При этом важно учитывать состояние почвы (см. рис. 9.1).

9.3.2. Машины для бестраншейной укладки дренажа

Современные машины для бестраншейной укладки дренажа конструктивно полностью отличаются от первых кротово-трубчатых плугов, например от Поппельсдорфской дренажной машины (Бонн, 1928 г.), хотя назначение тех и других одинаковое — укладка дренажных труб без разработки траншей.

Все современные машины для бестраншейной укладки дренажа рыхлят в разной степени слой почвы, расположенный над дреной. В качестве рыхлящих орудий используют:

— нож со сменным лемехом;

— нож с клинообразным резцом;

— V-образный режущий нож;

Рис. 9.11. Бестраншейная дренажная машина фирмы «Cornelius» для укладки дренажных труб из ПВХ на склонах.

Рис. 9.12. Бестраншейная дренажная машина фирмы «Mehrings» за укладкой дренажных поливинилхлоридных труб с фильтром.

— Y-образный лемех (рис. 9.14), требующий небольшого тягового усилия [9.4]. В дальнейшем этот лемех будет усовершенствован.

Большинство дренажных машин для бестраншейной укладки дренажа являются самоходными и монтируются на тележке с гусеничным ходом. Некоторые машины передвигают с помощью тросовой лебедки.

В таблице 9.3 приведены данные об известных машинах для бестраншейной укладки дренажа. На рисунках 9.11—9.14 представлены важнейшие типы таких машин.

В зависимости от рабочей ширины гончарные или пластмассовые дренажные трубы укладывают с фильтрами или без них.

Машины для укладки дренажных труб бестраншейным способом могут работать на влажных и даже мокрых почвах и на вспаханном поле (см. рис. 9.1).

Для бестраншейных машин требуются, особенно на сухих почвах, высокие тяговые усилия (свыше 100 кВт). Скорость прокладки дренажа бестраншейными машинами в 2—4 раза выше скорости работы фрезерно-цепных дренажных машин, однако такие возможности могут быть использованы лишь частично, так как при высокой рабочей скорости гидравлическое управление глубиной реагирует недостаточно быстро и рабочая глубина может не соответствовать проектному уклону (см. разд. 9.8.4).

9.3.3. Трубчатый дренаж, выполняемый вручную

В настоящее время в Европе трубчатый дренаж вряд ли выполняется вручную. Тем не менее в руководстве должно быть краткое описание производства дренажных работ ручным способом, поскольку многие сотни лет он был единственным.

Дренажную траншею всегда роют против уклона, чтобы стекали почвенные воды и траншея была сухая.

При сухой траншее работы могут производиться и по уклону,

Рис. 9.13. Бестраншейная дренажная машина с Y-образным лемехом (по Вильнеру) Северного мелиоративного союза.

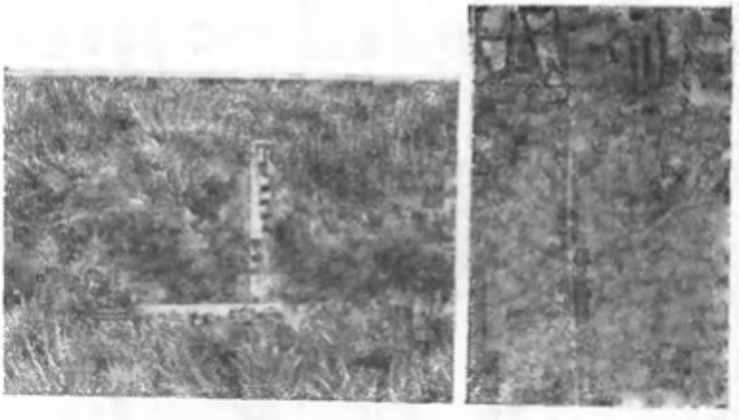


Рис. 9.14. Работа бестраншейной дренажной машины с Y-образным лемехом фирмы «Hydromak»:

слева — приподнятый почвенный клин; *справа* — трубчатая дрена, уложенная на глубине 1,2 м, с разрыхленным почвенным клином над ней (маршевая почва).

Таблица 9.3. **Техническая характеристика известных бестраншейных дренажных машин**

Фирма	Тип	Мощность двигателя, кВт	Ходовая часть шасси	Масса, т	Давление на почву, кгс/см²	Разрабатываемый профиль, см	
						ширина	максимальная глубина
«Badger Systems Ltd.» (Англия), 106 Миклгейт, Йорк YOIJX	Плуг с лебедкой	20	С	6,25	0,50	18	170
	С рычажным управлением	101	Г	35		18—30	220
«J. Börske», D-2849, Гольденштедт	—	137	Г	16,2	0,30		140
«Bruff Manufacturing Co. Ltd», Саккей/Ворчестер (Англия)	TG-1	3	С	2,5	0,15	9—13	120
	TG-3	79	П	10	0,20	7—22	165
	TG-4	154	Г	19	0,35	7—22	200
«Bruff Manufacturing Co. Ltd», «Cornelius KG», D-2241, Нордхаштедт (ФРГ)	NPD-60-P6	124	Г	23	0,29	8—16	160
	NPD-65-P6	124	Г	23	0,29		
	NPD-85	147	Г	27	0,65		180
	NPD-155	214	Г	41	—		200

«Draintie BV», Тиль (Нидерланды)	TL-71S	97	Г	22	0,26	10	180
	TL-75	122	Г	22	0,26		200
	TL-80	122	Г	23	0,26		200
«Klaus-Gerd Hoes», D-2905, Варденбург (ФРГ)	783	134	Г	16,5	0,25		170
«Hydromak», D-4970, Бад Ойенхаузен 13 (ФРГ)	Дренажный плуг	134	Г	22	0,25	Y-образный	220
«Anton Mehrings», D-2940, Вильгельмсхафен (ФРГ)	«Разант» MGR-V	165	Г	17,5	0,19	20	200
	«Разант» MGR-VII	188	Г	19	0,24	20	200
«Poclain S. A.», Ле Плессис/ /Бельвиль (Франция)	«Разант» MGR-IX	280	Г	23	0,30	20	250
	SC-105L	86	Г	24	0,27		165
«Steenbergen», Клаасвааль (Нидерланды)	GSX	134	Г	20—24	0,43	8—15	140
	GSX-H.D	147	Г	30	0,50	8—20	170
	GSX-супер	184	Г	36	0,47	10—25	200
«Vereinigte Stahlwerke AG», Вена (Австрия)	«Дреномат»	96	Г	13	0,29	18	150

Примечание. Г — гусеничный ход; П — пневматический ход; С — сани, передвижение с помощью тросовой лебедки.

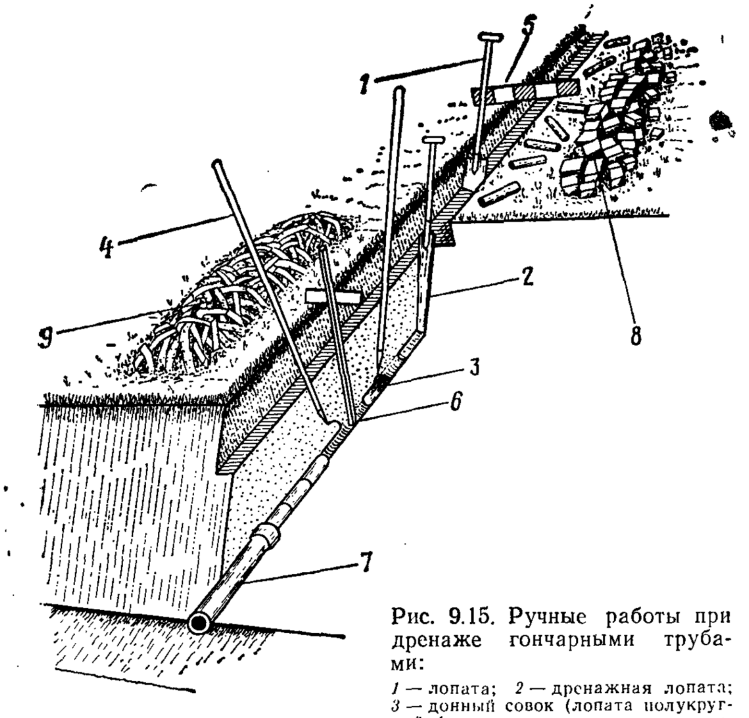


Рис. 9.15. Ручные работы при дренаже гончарными трубами:

1 — лопата; *2* — дренажная лопата; *3* — донный совок (лопата полукруглой формы для зачистки дна канала); *4* — крюк для укладки дренажных труб; *5, 6* — визирные рамки; *7* — устье; *8* — снятый верхний слой почвы; *9* — выпутый нижний слой.

причем должны соблюдаться правила безопасности профессионального товарищества. На рисунке 9.15 изображен процесс укладки дренажа вручную.

Для выполнения дренажных работ вручную необходимы следующие специальные дренажные инструменты: дренажные лопаты, заступ, лопатка полукруглой формы (для зачистки дна), укладочные крюки (для опускания труб).

Глубину укладки дренажных труб и уклон определяют на местности визированием через специальные рамки после предварительной разбивки трассы и закрепления ее основных точек. Укладку дренажных труб начинают с устьевого участка.

При разработке траншеи верхний и нижний слои почвы укладывают раздельно. После проверки положения дренажных труб простым осмотром или, если необходимо, контрольным нивелированием слои почвы, не перемешивая, засыпают обратно в траншею. Хорошие результаты дает засыпка траншеи почвой верхнего слоя, сохраняющей свою структуру за счет содержания гумуса. Производительность труда составляет от 20 до 50 м дренажа в день, в зависимости от свойств почвы.

Каменные и деревянные дрены (рис. 9.16) вследствие дорого-

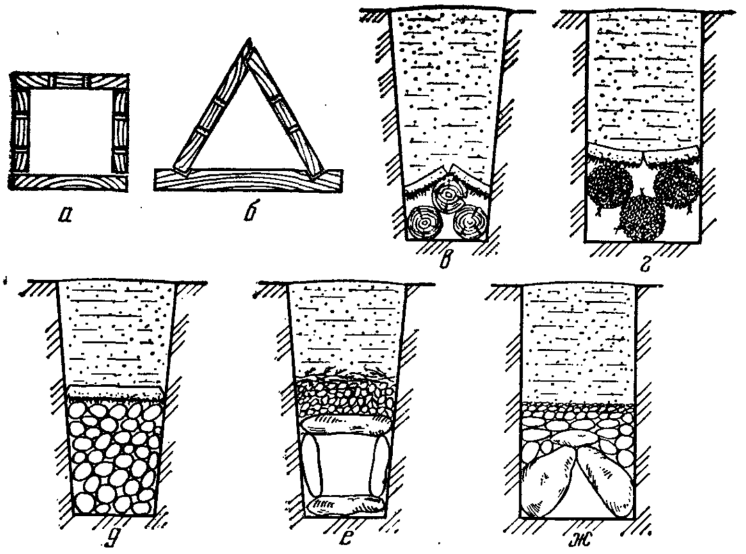


Рис. 9.16. Виды выполняемого вручную дренажа:
а, б — деревянные дощатые дрены; *в* — жердевая дрена; *г* — фашинная дрена; *д—ж* — каменные дрены; *в—г* — дрены, покрытые дерниной.

визны и сложности теперь применяются в исключительных случаях, например на оползневых склонах и в других сложных грунтовых условиях.

9.4. БЕСТРУБЧАТЫЙ (КРОТОВЫЙ) ДРЕНАЖ

Беструбчатые (земляные) дрены обычно устраивают путем продавливания полостей в почве. На торфяных почвах применяют также фрезы и режущие орудия.

Используемые в настоящее время кротовые дренажные плуги состоят из ножа с рыхлящим лемехом или рыхлителем и навесного уширителя, представляющего собой конусообразное тело (рис. 9.17).

Ранее применялись орудия (нож с прессующим стенки дрены конусом), которые не рыхлили почву над земляной дреной.

Потребное тяговое усилие при нарезке дрен современными орудиями превышает 45 кВт (>60 л. с.) при рабочей глубине нарезки дрен до 70 см.

Уже более 20 лет на торфяных почвах в ФРГ и некоторых других странах применяют дренажную фрезу Мекинга [7.3]. При уклонах на глубинах 0,8—1,6 м она нарезает прямоугольные дрены высотой 20 см и шириной 15 см. Фреза имеет гусеничный ход (давление на почву менее 0,1 кгс/см²). Этими машинами уже создано более 50 тыс. км дрен (рис. 9.18).

На крупных низинных болотах ГДР с 1965 г. создают некрепленые кротовые дрены с помощью режущих и прессующих рабочих органов. Дренажные машины с аналогичными рабочими органами применяются на торфяниках в Норвегии.

Рис. 9.17. Навесной кротовый плуг для беструбчатого дренажа, оборудованный ножом-рыхлителем и уширителем для нарезки кротовых дрен.

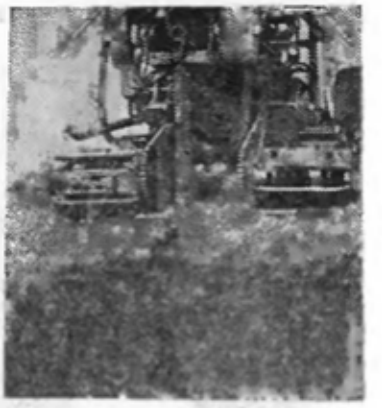


Рис. 9.18. Дренажная фреза Мекинга для торфа; фрезерная дрена имеет высоту 20 см и ширину 15 см.

9.5. ГЛУБОКОЕ РЫХЛЕНИЕ

В прошлом десятилетии было создано много орудий и механизмов для глубокого рыхления почвы. К 1968 г. имелось почти 50 различных орудий и механизмов для глубокого рыхления 33 фирм ФРГ и других стран. Совершенствование машин продолжается. Различают следующие типы механизмов и их комбинации:

— с одной или многими рабочими стойками;

— с неподвижно закрепленными или активно работающими лемехами;

— с тележкой на пневматическом или гусеничном ходу;

— с конусообразным уширителем кротового плуга или без него;

— с устройством для глубокого внесения удобрений или без него.

У рыхлящих механизмов с активно работающими органами имеются:

— рыхлящий лемех коромыслового типа (поднимается и опускается);

— поворотный рыхлитель, передвигающийся вперед и назад;

— рыхлитель с двойными подвижными лемехами;

— почвенная виброфреза с боковым вибрирующим движением по окружности.

Рабочие органы приводятся от вала отбора мощности. Выпускаются одно-, двух- и четырехстоечные рыхлители, позволяющие значительно экономить энергию. Для очень уплотненных почв создана конструкция гусеничного тягача с трехлемешным подъемным рыхлителем с шириной захвата 2,4 м. Серийно вмонтированный трансформатор управления обеспечивает возможность бесступенчатого регулирования. Глубина рыхления составляет 100 см (рис. 9.19).

Рис. 9.19. Глубинный рыхлитель фирмы «Kaeble — Gmeiner» (тип TLG-12).

Рис. 9.20. Самоходный плуг для глубокой вспашки фирмы «Otto-meyer»; максимальная рабочая глубина 2,4 м.

9.6. ГЛУБОКАЯ ВСПАШКА

Плуги для глубокой вспашки с целью окультуривания земель были созданы на основе так называемых плугов на канатной тяге, известных уже более ста лет.

Первые плуги для глубокой культурной вспашки на канатной тяге (глубина обработки 65 см) были применены фирмой «Ottomeyer» (Pyrmont) в 1938 г. в государственном имении Кёнигсмоор вблизи Тостедта (Ганновер) [9.5].

После 1945 г. плуги для глубокой культурной вспашки постоянно совершенствовались, и глубина вспашки увеличилась со 110 см в 1950 г. до 220 см в 1968 г. при потребном тяговом усилии свыше 600 кВт (800 л. с.).

Сейчас в ФРГ имеется свыше десяти фирм, занимающихся глубокой вспашкой. Они располагают плугами для глубокой культурной вспашки (более 120 см) собственной конструкции и усовершенствованными плугами других фирм.

Глубина вспашки более 150 см достигается только на болотах с незначительной мощностью торфа (рис. 9.20 и 9.21)

Для культурной вспашки почвы на глубину до 80 см применяется двухъярусный плуг. Он особенно пригоден для смешанно-песчаной культуры мелких низинных болот.

9.7. РУКОВОДСТВО СТРОИТЕЛЬСТВОМ

9.7.1. Общие вопросы

В настоящее время при дренаже сельскохозяйственных земель и в ландшафтном строительстве применяются самые разнообразные механизмы, поэтому для руководства нужен технически образован-

Рис. 9.21. Плуг для глубокой вспашки на тракторной тяге фирмы «Ottomeyer»; максимальная рабочая глубина 1,6 м.

ный специалист с хорошими знаниями механизмов, дренажа, а также почв. Правила по строительству дренажа записаны в стандартах ФРГ DIN 1185 (лист 3) и DIN 18308 и должны неукоснительно выполняться.

9.7.2. Оборудование строительной площадки

При оборудовании строительной площадки необходимо:

— поставить в известность о начале работ владельца земельного участка;

— предусмотреть места для персонала и материалов, построить подъездные пути;

— оградить площадку и установить дорожные знаки;

— построить помещение для конторы (при малых объемах работ можно использовать передвижной вагончик, будку, палатку и т. п.);

— проложить электрический и телефонный кабель, подвести воду, газ и соответственно обозначить коммуникации;

— приобрести измерительные приборы и оборудование (мерная лента, мерный циркуль, нивелир, вехи, рейки, маркировочные столбы и т. п.);

— получить рабочие чертежи и другие плановые материалы;

— начать вести дневник строительства.

9.7.3. Подготовительные работы

К подготовительным работам на дренажной строительной площадке относятся:

— нанесение на план высотных знаков (реперов и меток);

— проверка водоприемника;

— проверка почвенных условий;

— проверка состояния почвы (см. разд. 9.1);

— проверка режима грунтовых вод;

— установление источников;

— разбивка и закрепление на местности опознавательными знаками трасс коллекторов (устьев, колодцев и т. п.);

— разбивка трасс всасывающих дрен;

— закрепление на местности площадей, предназначенных для подпочвенных мелиораций (беструбчатый дренаж, глубокое рыхление, глубокая вспашка и т. п.).

9.7.4. Использование механизмов

Необходимо постоянно контролировать влажность почвы, так как от нее зависит возможность проезда тяжелых дренажных машин и грузовых автомобилей со строительными материалами (см. разд. 9.1).

Согласно стандарту ФРГ DIN 1185 (лист 3), строительство дренажа нельзя вести, если существует опасность разрушения структуры почвы при движении машин или если при разработке дренажных траншей грязь размазывается по их стенкам. Следует выяснить целесообразность применения вместо фрезерно-цепной дренажной машины бестраншейных дренажных машин или орудий,

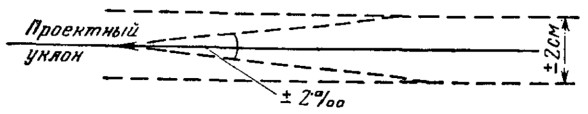


Рис. 9.22. Схема допустимых расхождений уклонов при дренажных работах (стандарт ФРГ DIN 1185, лист 3).

которые вынимают почву крупными глыбами (одноковшовый экскаватор и т. п.).

Все дренажные машины, согласно стандарту, подлежат испытанию на:

— допустимое давление на почву (<0,3 кгс/см²);
— размывание мокрой почвы по стенкам траншей;
— допустимые отклонения от проектного уклона;
— качество укладки дренажных труб, а также фильтров.

Перед засыпкой траншей при трубчатом дренаже и перед заравниванием укладочных щелей при бестраншейной укладке дренажа следует проверять:

— положение труб (боковое смещение гончарных труб должно быть менее 5 мм);

— водовпускные отверстия (зазоры у гончарных дренажных труб должны быть >1 мм и <5 мм). Общая площадь водовпускных отверстий зависит от внутреннего диаметра трубы (см. табл. 8.4);

— отклонение фактического уклона от проектного в любом месте не должно превышать ±2 см и всегда должно быть меньше ±2% (рис. 9.22).

В каких пределах эти отклонения будут допускаться на практике, в настоящее время решается в Комитете по дренажу, входящем в состав Германского союза по водному хозяйству и мелиоративному строительству. Только после этого будет окончательно решено, пригодны ли эти пределы для практики и можно ли их будет выдерживать вообще с помощью высокопроизводительных бестраншейных дренажных машин даже при высоких затратах на технику управления [9.1].

При проверке уклона следует учитывать, что результат, полученный по часто расположенным контрольным точкам (расстояние 1—10 м), отличается от результата, полученного по редко расположенным контрольным точкам (расстояние более 25 м). Подобные результаты были получены и с помощью непрерывных контрольных измерений [9.3].

Присоединения, устья, колодцы и поглощающие колодцы (шлюкеры) выполняются согласно нормативам.

Беструбчатые (кротовые, земляные) дрены можно нарезать только при влажности почвы, приближающейся к границе раскатывания ее в шнур (см. рис. 9.1). Глубокое рыхление можно проводить только при достаточно сухой почве. Глубину и эффект рыхления следует проверять путем раскопок. Плуги для глубокой вспашки можно применять только при достаточно сухой почве. Грунтовые воды (и капиллярная кайма) должны находиться ниже плужной подошвы. Глубину вспашки и наклон плужной балки, или грядиля (около 40—50° к горизонту), проверяют по профилированной стенке (поперек направления вспашки) (см. рис. 4.8 и 4.9).

9.7.5. Замеры и нанесение на план дренажной сети и сооружений

Все строительные работы должны тщательно замеряться по мере их выполнения, что особенно важно при высоких рабочих скоростях современных дренажных машин (стандарт ФРГ DIN 1185, лист 4).

В качестве основы для эксплуатации и дальнейшего расширения дренажной сети непосредственно после завершения строительных работ необходимо составлять чертежи сооружений. При этом можно вносить дополнения и изменения в проектные чертежи и плановые материалы, а также в спецификации или же выполнять чертежи заново. На них должны быть указаны высота сооружений, а также отметки устьев.

Литература

[9.1] Bellin, K.: Die Verlegegenauigkeit einer Dränung — Erfahrungen, Grundsätze, Forderungen. Wasser und Boden **31**, S. 10—14. Hamburg 1979.

[9.2] Bellin, K.; Collin, H.-J.; Gallwitz, K.: Entwicklungen der Drän-technik in der Bundesrepublik Deutschland. KWK-Heft 24, S. 99—183. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1975.

[9.3] Collins, H.-J.; Chotzky, K.: Vermessung der Höhenlage von verlegten Dränrohren. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **17**, S. 160—167. Berlin 1976.

[9.4] Demian, T. F.: Untersuchungen an einfachen Bodenschneidwerkzeugen insbesondere für grabenlos arbeitende Dränmaschinen, ausgeführt an einfachen Modellen. Diss. Göttingen 1974.

[9.5] Eggelsmann, R.: Vom Dampfpflug zum Tiefkulturpflug — Entwicklung und Einsatz Z. f. Kulturt. u. Flurber. **20**, S. 99—112. Berlin 1979.

[9.6] Naarding, W. H.: Review on International Experience with Trenchless and Trenching Drainage Machines. Min. of Agric. and Fishery — Government Service for Land and Water Use. Assen/ /Netherlands 1976.

[9.7] Peters, H.: Dränung — Dränmaschinen, Kostenfaktoren und Kostenentwicklung. KWK — Seminar zur Berufsfortbildung Nr. 12. Kiel 1976.

[9.8] Standardleistungsbuch — Dränarbtiten DIN 18 308. Leistungsbereich 10. Herausg. DNA. Berlin 30-Köln-Frankfurt: Beuth-Vertrieb GmbH 1971.

10. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДРЕНАЖА

Дренаж эффективно работает лишь в том случае, если он и связанные с ним мелиоративные сооружения и устройства, включая естественные и искусственные водоприемники, поддерживаются в порядке. Опыт показывает, однако, что эксплуатационные мероприятия выполняются не всегда регулярно, а то и вовсе не проводятся.

Эти проблемы исследовались в Комитете по эксплуатации и регулированию водотоков Куратория по мелиоративному строительству. Стандарт ФРГ DIN 1185 (лист 5) рассматривает вопросы эксплуатации дренажных систем. Дополнения к стандарту ФРГ DIN 1185 «Дренаж» рассматриваются в Сообщениях DIN [10.1]. Эксплуатацию дренажных систем, так же как и эксплуатацию водоприемников, рекомендуется проводить централизованно. Этими вопросами должны заниматься мелиоративные союзы или другие организации. При централизации эксплуатационных мероприятий облегчается приобретение механизмов, содержание обслуживающего персонала, а также разрешение прочих организационных и финансовых вопросов.

Целесообразно определять эксплуатационные расходы еще при проектировании дренажа. Сравнивая разные виды дренажа, можно выбрать оптимальный способ дренирования, а также наметить другие мелиоративные мероприятия (глубокое рыхление, глубокая вспашка и т. д.).

В источнике [10.1] собраны различные факторы эксплуатации дренажа, образующие эксплуатационный расход. Они могут колебаться в зависимости от величины заработной платы обслуживающего персонала и степени механизации, а также в зависимости от местных условий.

10.1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ

Затраты на эксплуатацию мелиоративных дренажных систем складываются из перечисленных ниже статей [10.1].

Надзор и однократный осмотр зоны мелиорации — около 4 марок ФРГ на гектар в год. При этом предполагается, что два человека производят осмотр 20—25 га в день (с учетом транспортных расходов).

Эксплуатация сети водоприемников — 0,5—0,8% строительных затрат, или 0,3—0,5 марки ФРГ на 1 м в год.

Эксплуатация систематического дренажа — 0,3—0,6% общих строительных расходов (расстояние между дренами 10 м). При строительных расходах 2000 марок ФРГ на 1 га эксплуатационные затраты составляют 0,01 марки ФРГ на одну всасывающую дрену, или 10 марок на 1 га в год.

Промывка дрен при сильном заохривании или заилении — 0,2—0,4 марки ФРГ на 1 га. Часто промывка необходима в пер-

вый же год эксплуатации, затем промывки проводят с двух- или даже пятилетиими перерывами при средних затратах 0,05—0,10 марки на 1 м в год.

Затраты на эксплуатацию дренажных насосных станций перекачки указаны в таблице 7.1.

Механизированная эксплуатация открытой сети, или окашивание каналов один раз в год, требует затрат, приведенных в таблице 10.1.

Таблица 10.1. **Затраты на механизированную эксплуатацию (окашивание каналов)**

Ширина канала по дну, м	Затраты, марки ФРГ на 1 м
0,5–0,8	0,3—0,5
0,8–1,5	0,5–0,8
1,5—3	0,7—1,2
3	0,9–2

При беструбчатом дренаже и подпочвенных мелиорациях эксплуатационные работы проводятся в основном на коллекторах, дренажных устьях и каналах открытой сети. Эксплуатационные затраты на водоприемниках указаны выше в выводе. Затраты на коллекторы составляют 0,1 марки ФРГ на 1 м. Затраты на восстановление беструбчатого дренажа и подпочвенные мелиорации зависят от срока их службы (см. разд. 4.5).

Примеры расчетов эксплуатационных расходов. Сравниваются два участка мелиоративных работ, осушаемых систематическим трубчатым дренажем [10.1].

I пример. Участок с всхолмленной поверхностью и сильным уклоном. Дренируемая площадь 100 га, расстояния между дренами (*а*) 15 м. Опасности отложения охры в дренах нет. Водоприемник имеет ширину по дну 1 м. Длина водоприемника 1000 м. Строительные расходы на трубчатый дренаж 2000 марок ФРГ на 1 га.

Надзор (4 марки на 1 га·100) . . .	400 марок
Закрытые трубчатые водоприемники .	—
Систематический трубчатый дренаж (0,01 марки/м·700 м/га)	700 »
Промывка дрен	—
Механическая очистка каналов (0,5 марки/м·1000 м·2	1000 »
Итого 2100 марок, или 21 марка/га в год	

Вычисленные затраты составляют около 1% строительных расходов.

II пример. Ровный участок со слабым уклоном. Площадь дренирования 100 га, расстояния между дренами 10 м. Водоприемник заключен в трубу на протяжении 200 м. Дрены подвержены опасности отложения охры, поэтому дрены промывают каждые 5 лет. Небольшая насосная станция перекачки дренажных вод, незначительный приток воды. Строительные расходы на трубчатый дренаж 2000 марок ФРГ/га.

Надзор (4 марки/га·100 га)	400 марок
Трубопроводы водоприемников (0,5 марки/м·200 м)	100 »
Трубчатый дренаж (10 марок/га·100 га)	1000 »
Промывка (0,06 марки·1000 м/га·100 га)	6000 »

Насосная станция перекачки дренажных вод (6 марок·100 га)	600 »
Механическая эксплуатация каналов .	—
Беструбчатый дренаж и подпочвенная мелиорация	—
Итого 8100 марок, или 81 марка/га в год.	

Вычисленные затраты составляют округленно 4% строительных расходов. Целесообразно выяснить, нет ли более эффективного способа дренирования, не следует ли, например, применить комбинированный дренаж с большими расстояниями между коллекторами.

10.2. НАДЗОР ЗА ДРЕНИРУЕМЫМИ ПЛОЩАДЯМИ И СООРУЖЕНИЯМИ

Водоприемники необходимо осматривать лучше всего осенью и весной. Заключенные в трубы водоприемники можно осматривать с помощью системы зеркал. В специальном протоколе делается запись результатов осмотра. Очистка, ремонт или восстановление поврежденных участков должны проводиться немедленно.

Дренируемые площади надо осматривать весной или после выпадения значительных атмосферных осадков. Участки, на которых дренаж работает плохо, отличаются более темной окраской по сравнению с окраской соседних площадей, а также по растительности.

Следует сопоставлять действие отдельных коллекторов. На местности надо отмечать переувлажненные места. Далее необходимо выяснить, не влияют ли на работу коллекторов корни деревьев или кустарников. На площадях с беструбчатым дренажем и подпочвенной мелиорацией следует определять их эффективность.

Все сооружения (дренажные устья, колодцы, насосные станции перекачки дренажных вод и др.) должны находиться под наблюдением с целью выявления возможного заиления, занесения песком, отложений охры или повреждений. Далее следует установить, проводится ли в зоне дренажа строительство, которое может повлиять отрицательно на работу дренажа (дорожное строительство, укладка разных трубопроводов, строительство силосных сооружений и т. д.).

10.3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ

У водоприемников дно следует поддерживать свободным от растительности, удалять отложения донных наносов, которые могут обусловить значительный подъем уровня воды и нежелательный подпор в коллекторах и дренах.

Колодцы необходимо регулярно очищать, освобождать дренажные устья от наносов и т. д.

На насосных станциях перекачки дренажных вод необходимо поддерживать в порядке механическое и электрическое оборудование. Металлические части надо защищать от коррозии.

10.4. НАРУШЕНИЯ СТОКА В ТРУБЧАТЫХ ДРЕНАХ

Согласно стандарту ФРГ DIN 1185 (лист 5), нарушения стока (см. разд. 7.2.6) могут быть установлены и устранены следующим образом.

10.4.1. Причины нарушения дренажного стока

Причины местных ограниченных нарушений стока:

— осадка отдельных, плохо уложенных труб, трупы животных в трубах, поломки дренажных труб, зарастание труб на отдельных участках.

Причины нарушения стока в дренах на площадях:

— занесение дрен песком, заиление, отложения охры (см. разд. 5.6), зарастание дрен, «усталость» фильтров и выход их из строя, уплотнение засыпки дренажных траншей (засыпка мокрой почвой), укладка дренажных труб без необходимых зазоров.

10.4.2. Установление причин нарушения работы дренажа

Причины нарушения дренажного стока могут быть выяснены путем:

— наблюдения за ходом осушения площадей. На плоской безуклонной местности причина нарушения обычно находится ниже избыточно увлажненного места;

— раскопок на многих местах и определения дренажного стока. Место повреждения дренажа отмечают проволокой, шлангом или веткой;

— установки пьезометров в дренажной траншее и рядом с ней для замера напора грунтовых вод (см. разд. 5.1.1);

— использования приборов для установления дефектов.

10.4.3. Устранение причин нарушения работы дренажа

Местные нарушения стока могут быть устранены путем:

— введения в дрену на длину до 10 м проволоки диаметром 1—2 мм;

— применения прута из круглой стали диаметром 8 мм, складывающегося отрезками по 1 м;

— промывок.

Дренажные системы, особенно заохренные, можно промывать двумя способами [10.4].

10.4.3.1. ПРОМЫВКА ДРЕНАЖА С ПОМОЩЬЮ ЦИСТЕРНЫ

Успешно применяют имеющиеся в продаже цистерны для бесподстилочного навоза вместимостью около 3 тыс. л, рассчитанные на небольшое давление (2 кгс/см^2). Для заполнения коллектора водой его устьевой конец затыкают резиновой пробкой, а на входе ис-

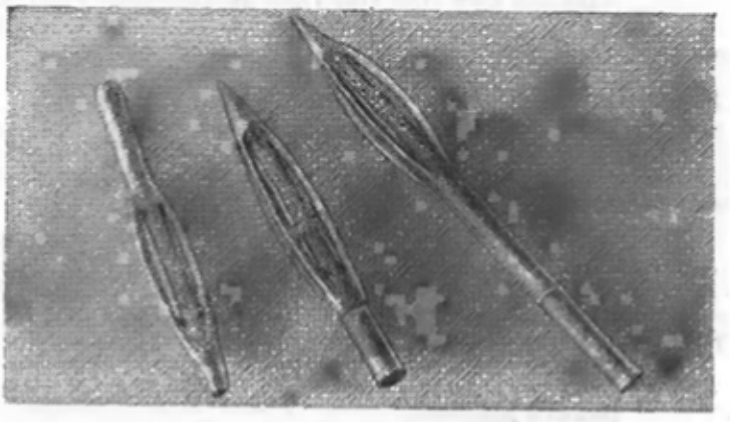


Рис. 10.1. Струйчатые трубы аппарата для промывки дреи: *Слева направо:* вперед, назад, в сторону [10.2].

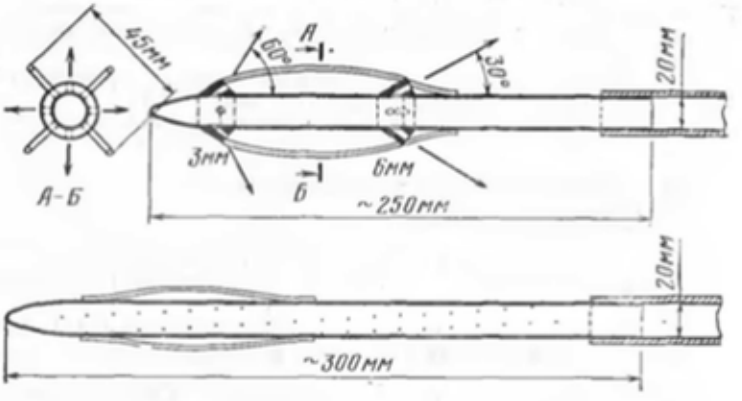


Рис. 10.2. Чертеж струйчатой трубы промывного аппарата [10.2]: *вверху* — для промывки назад; *внизу* — для промывки в сторону (масштаб не соблюден); внутренний диаметр труб 20 мм.

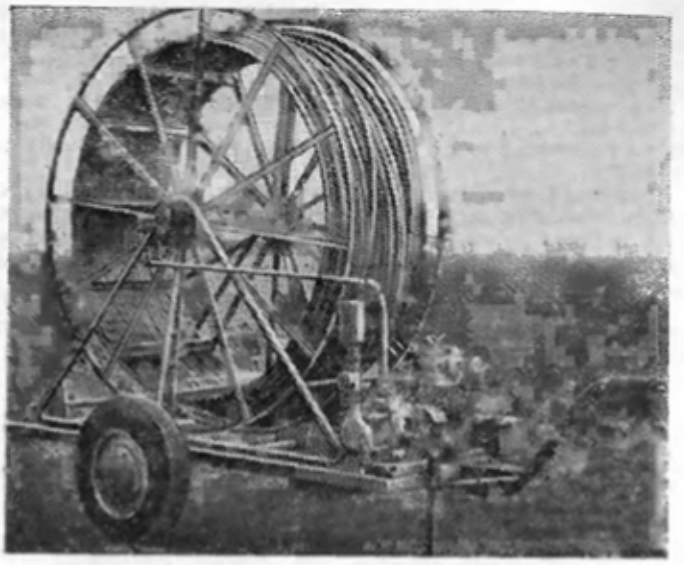


Рис. 10.3. Дренопромывочный аппарат типа «Диема».

пользуют резиновый конус с отверстием для патрубка шланга, идущего от цистерны. Затем в течение 3 мин накачивают воздух. Таким путем можно промывать коллекторы протяжением до 150 м.

Двое рабочих могут провести промывку дренажа на площади от 8 до 12 га в день.

10.4.3.2. ПРОМЫВКА ДРЕНАЖА ПОД НАПОРОМ

С помощью шланга внутренним диаметром 20 мм, на конце которого находятся промывной заостренный наконечник (рис. 10.1) и щетки, водой под высоким давлением (5 кгс/см²) можно удалять слежавшийся сухой дренажный

Рис. 10.4. Навесной дренопромывочный аппарат фирмы «Fricke» [10.3].

ил. В промывном наконечнике (головке) лучеобразно установлены насадки. Струи из некоторых наконечников направлены в обратную сторону, что облегчает движение шлаига в дрене вперед (рис. 10.2). Таким устройством можно промывать дрены длиной 100—200 м за 2—3 операции (рис. 10.3). Обслуживает промывной аппарат один человек.

В ФРГ имеются в продаже специальные промывные установки (рис. 10.4).

В опытном порядке при промывке заохренного дренажа применялась сернистая кислота. В некоторых случаях она может оказывать вредное действие в водотоках и водоемах. Кроме того, законом по охране природы ФРГ ее применение для очистки дрен запрещено.

Если рассмотренные средства не дают положительного результата или дрены закупорены на сравнительно длинных участках, то требуется частичная раскопка или прокладка новой дренажной линии (см. разд. 5.6).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к русскому изданию 5
Предисловие ко второму немецкому изданию 9
Вступительное слово ко второму немецкому изданию . . 11
Вступительное слово к первому немецкому изданию . . . 12

1. Общая часть 13
1.1. Из истории возникновения и развития дренажа . . 13
1.2. Потребность в дренаже 15
1.3. Объем дренажа в сельском хозяйстве 16
1.3.1. Федеративная Республика Германии 16
1.3.2. Засоленные почвы 18
1.4. Дренаж в инженерном и ландшафтном строительстве 18
1.5. Экологические аспекты дренажа 18

2. Вода и почва 22
2.1. Круговорот воды 22
2.2. Вода в почве 25
2.3. Разновидности и типы почв 27
2.3.1. Минеральные почвы 27
2.3.2. Гидроморфные минеральные почвы 30
2.3.3. Болотные почвы 34
2.3.4. Засоленные почвы 35
2.4. Структура почвы 37
2.5. Железо в почве и грунтовых водах 38

3. Полевые исследования 42
3.1. Вспомогательные средства 42
3.2. Поверхность земли и минерального дна болот . . 45
3.3. Описание типов почв 48
3.3.1. Минеральные почвы 48
3.3.2. Болотные почвы 50
3.4. Грунтовая, застойная поверхностная и связанная вода 52
3.4.1. Грунтовые воды 54
3.4.2. Напорные грунтовые воды 55
3.4.3. Поверхностная застойная вода (верховодка) . . 56
3.4.4. Связанная вода 56
3.5. Полевые методы исследования физических свойств почв 57
3.5.1. Оценка водопроницаемости почвы 57
3.5.2. Определение коэффициента фильтрации в буровой скважине 59
3.5.3. Метод определения коэффициента фильтрации в трубах 63
3.5.4. Измерение инфильтрации в почве 64
3.5.5. Воздухопроницаемость почвы 65

3.5.6.	Сопротивление сдвигу	65
3.5.7.	Шпатеидиагиостика	65
3.6.	Растеиия-индикаторы и их корневая система	68
3.6.1.	Растения-индикаторы	68
3.6.2.	Корневая система	69
3.7.	Опасность отложеиия охры	70
3.7.1.	Отличительные признаки отложения охры на местности	70
3.7.2.	Определение железа в воде	70
3.7.3.	Определение pH	71
3.7.4.	Заключение об опасности отложения охры	71
3.8.	Содержание солей в почве и воде.	72
3.9.	Лабораторные методы	72
3.9.1.	Лабораторные исследования физическнх свойств почвы	73
3.9.2.	Лабораторные химические анализы почвы	73
4.	**Способы дренирования**	**75**
4.1.	Трубчатый дренаж	75
4.1.1.	Общие сведения о трубчатом дренаже	75
4.1.2.	Подробности о трубчатом дренаже	75
4.1.3.	Применение трубчатого дренажа	77
4.2.	Беструбчатый (кротовый) дренаж	77
4.2.1.	Общие сведения	77
4.2.2.	Подробности о беструбчатом дреиаже	77
4.2.3.	Применение беструбчатого дренажа	79
4.3.	Глубокое рыхление	80
4.3.1.	Общие сведения	80
4.3.2.	Подробности о глубоком рыхлении	81
4.3.3.	Применение глубокого рыхления	82
4.4.	Глубокая вспашка	83
4.4.1.	Общие сведения	83
4.4.2.	Подробности о глубокой вспашке	84
4.4.3.	Применение глубокой вспашки	85
4.4.4.	Вспашка с перемешиванием	86
4.5.	Стоимость дренажа	86
5.	**Действие дренажа**	**90**
5.1.	Трубчатый дренаж	90
5.1.1.	Линии тока и линии равного напора воды в почвах грунтового заболачивания	90
5.1.2.	Почвы, переувлажненные связанной водой	93
5.1.3.	Поступление воды в дренажную трубу	94
5.2.	Беструбчатый дренаж	101
5.3.	Глубокое рыхление	103
5.4.	Глубокая вспашка	104
5.4.1.	Глубокая вспашка болотных почв	104
5.4.1.1.	Смешанно-песчаная культура при заболачивании грунтовой водой	106
5.4.1.2.	Смешанно-песчаная культура при заболачивании верховодкой	106
5.4.1.3.	Смешанно-песчаная культура при заболачивании связанной водой	106
5.4.2.	Глубокая вспашка минеральных почв	107
5.5.	Использованне почв	107
5.5.1.	Трубчатый дренаж	107

5.5.2. Бесгрубчатый дренаж 108
5.5.3. Глубокое рыхление 108
5.5.4. Глубокая вспашка 108
5.6. Отложение охры в дренах 109
5.6.1. Как это происходит? 109
5.6.2. Связывание железистой охры 110
5.6.3. Отложение охры в дренажных фильтрах. . . . 110
5.6.4. Заохривание дрен и самоочистка 111
5.6.5. Современные данные о заохривании дрен 111
5.7. Испытания дрен 112
5.7.1. Лабораторные испытания 112
5.7.2. Дренажный лоток 113
5.7.3. Дренажный ящик 113
5.7.4. Полевые испытания дренажа 113

6. **Гидравлические расчеты** 116
6.1. Модуль стока 116
6.2. Размеры коллекторных труб 117
6.2.1. Теоретическая формула течения 117
6.2.2. Степенна́я формула 121
6.2.3. Расчет труб, работающих неполным сечением . . 121
6.3. Расстояния между дренами в почвах, заболоченных грунтовыми водами. 122
6.3.1. Формула Хугхаудта 123
6.3.2. Формула Эрнста 128
6.4. Расстояния между дренами в почвах, заболоченных поверхностными водами 129
6.5. Расстояния между дренами в почвах, заболоченных связанной водой 130
6.6. Расстояния между дренами в почвах, заболоченных напорными грунтовыми водами 131
6.6.1. Напорные воды без воды осадков 132
6.6.2. Напорные воды с водой осадков 133
6.7. Расстояние между дренами при орошении засоленных почв 134
6.7.1. Водонепроницаемый слой на большой глубине . . 134
6.7.2. Дрены на водонепроницаемом слое 135
6.8. Продолжительность осушения 135

7. **Проект дренажа (технические условия проектирования)** 138
7.1. Водоприемники 138
7.1.1. Естественные водоприемники 139
7.1.2. Дренажная насосная станция 139
7.2. Трубчатый дренаж (общие сведения) 142
7.2.1. Дренажная система 142
7.2.2. Коллекторы 143
7.2.3. Всасывающие дрены 145
7.2.4. Родники, источники и воды соседних водосборов 147
7.2.5. Поверхностные понижения (мульды) 148
7.2.6. Нарушения дренажного стока 148
7.3. Особенности трубчатого дренажа (торфяное болото, марши, виноградники, засоленные почвы) . . . 150
7.3.1. Дренаж на торфяном болоте. 150
7.3.2. Дренаж маршевых почв 155

7.3.3. Дренаж виноградников 156
7.3.4. Дренаж в оползневых районах 157
7.3.5. Дренаж засоленных почв 158
7.3.6. Дренирование отвалов городского мусора . . . 159
7.3.7. Дренирование площадей намыва 160
7.3.8. Агротерм (подогрев почвы) 161
7.4. Трубчатый дренаж при ландшафтном строительстве 162
7.4.1. Сады, парки, лесопитомники 162
7.4.2. Площадки для игр, отдыха и проведения свободного времени 163
7.4.3. Спортивные площадки 163
7.4.4. Спортивные аэродромы 164
7.4.5. Кладбища 164
7.5. Инженерное строительство 165
7.5.1. Правило фильтра 166
7.5.2. Подземное строительство 167
7.5.3. Дорожное строительство 168
7.5.4. Гражданское строительство 168
7.6. Беструбчатый (кротовый) дренаж 171
7.7. Глубокое рыхление 173
7.8. Глубокая вспашка 174
7.8.1. Глубокая вспашка минеральных почв 174
7.8.2. Глубокая вспашка болот и перегнойно-глеевых почв 174
7.9. Проект дренажа 177
7.9.1. Пояснительная записка 177
7.9.2. Обзорный план 178
7.9.3. План дренируемого участка 178
7.9.4. Почвенная карта 180
7.9.5. Продольные профили коллекторов 181
7.9.6. Гидравлические расчеты 181
7.9.7. Описи и указатели 182
7.9.8. Смета 182

8. Дренажный материал 185
8.1. Гончарные дренажные трубы 185
8.2. Дренажные трубы из искусственных материалов . . 188
8.3. Дренажные фильтры — почему, где, когда? . . . 195
8.3.1. Виды фильтров 195
8.3.2. Свойства дренажных фильтров 196
8.3.3. Применение дренажных фильтров 197
8.4. Дренажные трубы с готовыми фильтрами . . . 201
8.5. Дренажные муфты 204
8.6. Дренажная плита, фильтрующий мат 205
8.6.1. Дренажные и фильтрующие плиты 205
8.6.2. Фильтрующие маты 205
8.7. Фильтрующие трубы 206
8.7.1. Бетонные фильтрующие трубы 206
8.7.2. Дырчатая труба из каменистого материала . . . 206
8.7.3. Фильтрующие трубы из пластмассы 207
8.8. Устья. Соединительные трубы 208
8.9. Дренажные колодцы 210

9. Строительство дренажа 212
9.1. Состояние почвы в период строительства дренажа . 212
9.2. Дренажные машины 214

9.3.	Трубчатый дренаж	217
9.3.1.	Дренажные машины, разрабатывающие траншеи	217
9.3.2.	Машины для бестраншейной укладки дренажа	223
9.3.3.	Трубчатый дренаж, выполняемый вручную	224
9.4.	Беструбчатый (кротовый) дренаж	229
9.5.	Глубокое рыхление	230
9.6.	Глубокая вспашка	232
9.7.	Руководство строительством	232
9.7.1.	Общие вопросы	232
9.7.2.	Оборудование строительной площадки	233
9.7.3.	Подготовительные работы	233
9.7.4.	Использование механизмов	233
9.7.5.	Замеры и нанесение на план дренажной сети и сооружений	235
10.	**Эксплуатация дренажа**	236
10.1.	Эксплуатационные расходы	236
10.2.	Надзор за дренируемыми площадями и сооружениями	238
10.3.	Мероприятия по эксплуатации сооружений	238
10.4.	Нарушения стока в трубчатых дренах	239
10.4.1.	Причины нарушения дренажного стока	239
10.4.2.	Установление причин нарушения работы дренажа	239
10.4.3.	Устранение причин нарушения работы дренажа	239
10.4.3.1.	Промывка дренажа с помощью цистерны	239
10.4.3.2.	Промывка дренажа под напором	241

Рудольф Эггельсманн

РУКОВОДСТВО ПО ДРЕНАЖУ

Заведующий редакцией А. Т. Докторов
Редактор Н. И. Вяткин
Художник А. Е. Григорьев
Художественный редактор Е. Г. Прибегина
Технические редакторы И. В. Макарова,
Е. В. Соломович
Корректор Д. Е. Ткачева

ИБ № 3570

Сдано в набор 18.06.84. Подписано к печати 06.08.84. Формат 84×108$^{1}/_{32}$. Бумага тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 13,02. Усл. кр.-отт. 13,02. Уч.-изд. л. 16,05. Изд. № 50. Тираж 5000 экз. Заказ № 189. Цена 1 р. 10 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Московская типография № 11 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 113105, Нагатинская ул., д. 1.