Б. В. БАБИКОВ

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕЛИОРАЦИИ

Б.В. БАБИКОВ

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕЛИОРАЦИИ

Рекомендовано
учебно-методическим объединением Минобразования РФ
в качестве учебника
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению
«лесное хозяйство и ландшафтное строительство».

3-е издание, переработанное и дополненное

Санкт-Петербург
2002

УДК 630.651.78

Бабиков Б.В. Гидротехнические мелиорации: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. - СПб.: ЛТА, 2002.

Приведены основные положения гидрологии, гидрометрии и необходимые элементы гидравлики. Рассмотрены объекты и способы осушения лесных земель и дренирования объектов садово-паркового и ландшафтного строительства. Дано обоснование и основы проектирования осушаемых земель. Показано воздействие осушения на окружающую среду. Рассмотрены особенности строительства объектов обводнения и способы орошения. Приведены сведения о борьбе с водной эрозией.

Табл. 44, ил.102, библ. 37 назв.

Р е ц е н з е н т ы :

доктор технических наук, профессор
Е.Д. Сабо

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
В.В. Пахучий

© Государственная лесотехническая академия, 2002.
© Б.В. Бабиков, 2002.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Слово "мелиорация" происходит от латинского «улучшение» и включает систему мероприятий, направленных на улучшение состояния земель. Последнее может осуществляться различными методами и приемами. В зависимости от этого получаем название и вид мелиорации. В условиях избыточного увлажнения почв применяют осушение, а при недостатке влаги – орошение. Это гидротехнические мелиорации. Они включают комплекс мероприятий, направленных на регулирование водного режима почв.

Улучшение состояния земель может носить и другую направленность. На обширной территории юга России большой ущерб наносят овраги. При борьбе с ними применяют специальные гидротехнические мероприятия и сооружения. Гидротехнические мероприятия используют также при борьбе с оползнями, при абразии и эрозии берегов рек. Указанные мероприятия, виды работ, приемы и методы изучаются в курсе "Гидротехнические мелиорации".

Есть и другие виды мелиорации. С целью повышения плодородия почв могут применяться удобрения, или химические мелиорации. Для борьбы с суховеями и засухами создают полезащитные полосы. Это так называемые лесные мелиорации (агролесомелиорация). Эти виды мелиораций изучают в других учебных дисциплинах.

Настоящий учебник по сравнению с предыдущим изданием (1993 г.) переработан и существенно дополнен новыми материалами и разделами. Поскольку наиболее часто осушаемыми землями являются болота, то подробно рассмотрены виды заболачивания, образование и трансформация болот и их гидрология. На основе новых исследований рассмотрена устойчивость древостоев на осушенных землях.

Гидротехнические мелиорации применяют не только в лесном, но и в садово-парковом хозяйстве и ландшафтном строительстве. Поэтому в предлагаемом учебнике, кроме общих сведений о дренаже, рассмотрены особенности дренирования парков, бульваров

и скверов, городских дорог, спортивных площадок и площадок для отдыха.

В разделе водоснабжения показана специфика устройства водосбросных сооружений парковых плотин, а также рассмотрено устройство копаных прудов.

Знания, полученные в курсе гидромелиорации, необходимы при изучении других специальных дисциплин, таких, как лесные питомники и культуры, лесоводство, лесоустройство, лесная таксация, пирология, древесиноведение, цветоводство и древоводство, садово-парковое строительство.

Учебник предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «лесное хозяйство», а также «садово-парковое и ландшафтное строительство».

Автор выражает глубокую благодарность рецензентам проф. Е.Д. Сабо и проф. В.В. Пахучему за ценные замечания, позволившие улучшить содержание учебника, а также доценту Л.С. Ветрову и инженеру Е.Я. Гриньковой за подготовку учебника к печати. Особую благодарность автор приносит Нине Владимировне Бабиковой.

ВВЕДЕНИЕ

Гидротехнические мелиорации имеют давнюю историю. Самый древний вид гидромелиорации – обводнение и орошение. По сообщению Геродота, царь Мин (Менес) около 3000 лет до н. э. построил на Ниле плотину высотой 15 м и отвел реку в канал.

Работы по осушению земель начали проводить довольно давно. В России они впервые были осуществлены в начале XVIII века в окрестностях Петербурга. Выполнялись они главным образом для улучшения вида посещаемых населением мест. Осушение лесных земель было впервые предпринято в России в 30-40-х годах XIX века. Наиболее значительные осушительные работы были выполнены в Лисинской лесной даче Лисинского учебного лесничества Петербургского лесного института. В частности, в 1841-1843 годах здесь было осушено болото Суланда, где в настоящее время произрастает сосново-еловый древостой I-II класса бонитета. В 1846 году воспитанник Петербургского лесного института И. Г. Войнюков для I отделения Лисинской дачи (Хейновское болото) составил первый в мире проект осушения лесных земель на основе нивелировки местности, химических исследований почв, оценки состояния древостоя и прогноза ожидаемого эффекта осушения. Сопоставляя этот проект с проектами наших дней, можно увидеть в нем прообраз современного проектирования. На выставке в Париже проект Войнюкова получил Золотую медаль. На осушенном по этому проекту Хейновском болоте в настоящее время произрастают хвойные древостои I-III класса бонитета.

Наибольшее развитие работы по осушению заболоченных земель получили в XIX веке, в 1873-1894 годах. В этот период работали две экспедиции по осушению болот – Западная под руководством генерала И. И. Жилинского и Северная, возглавляемая вице-инспектором Корпуса лесничих И. К. Августиновичем. Западная экспедиция выполняла проектирование и строительство осушительных систем в Полесье, в Рязанской, Владимирской, Московской и Тверской губерниях. Северная проводила осушение в Олонецкой,

Петербургской, Новгородской, Псковской губерниях и Прибалтике. Часть спроектированных и построенных осушительных систем сохранилась и действует до настоящего времени. В целом осушение земель продвигалось медленно. До середины XX века в лесном фонде России было осушено около 300 тыс. га земель.

Наиболее интенсивно осушительные работы стали развиваться в конце 50 – начале 60-х годов XX века, а особенно после образования в 1965-1969 годах лесных машинно-мелиоративных станций (ЛММС). В настоящее время площадь осушенных земель в лесном фонде России составляет около 4 млн. га, общая же площадь заболоченных земель и болот - около 250 млн. га.

Развитие гидромелиоративных работ основывалось на научных исследованиях. Наиболее существенный вклад в гидромелиоративную науку внес академик Александр Давыдович Дубах. Первые его работы опубликованы еще в 1908 году. За 40 лет научной и педагогической деятельности им сделано очень много. Почти на полвека опередив последователей, Дубах заложил основы большинства современных исследований по гидромелиорации. В 1914 году он ведет изучение норм стока и предлагает расчеты осушительных каналов. В 1922 году изучает проблему регулирования водного режима земель Полесья. В 1929 году публикует исследования стока по малым рекам и выполняет работы по выявлению влияния осушения на водный режим рек. В 1936 году Дубах определяет новое направление изучения эффективности осушения, публикует работу "Влияние осушения на прирост древесины", занимается изучением динамики грунтовых вод в лесу и определяет первые придержки по нормам осушения. В 1938 году ведет разработку проблемы водорегулирующей роли леса и размещения лесов в бассейнах рек. В 1944 году по результатам многолетних исследований Дубах издает книгу «Гидрология болот», не утратившую своего значения и сегодня. Дубах является основателем учебного курса «Гидротехнические мелиорации». В 1931 году он готовит учебное пособие по этому курсу для студентов сельскохозяйственных и лесных вузов. В 1934 году им издан первый учебник для студентов вузов «Гидротехнические мелиорации лесных земель», переизданный в 1944 году.

Большие работы по теории и практике гидромелиорации выполнены академиком А. Н. Костяковым. Его многолетние исследования позволили подготовить учебник «Основы мелиораций», выдер-

жавший шесть изданий, последнее из которых было осуществлено в 1960 году. Многие положения в гидромелиоративной науке, приведенные в этой книге, не утратили своего значения и в настоящее время.

Неоценим вклад в гидромелиоративную науку, практику и подготовку кадров профессора Харитона Алексеевича Писарькова, проработавшего в Ленинградской лесотехнической академии около 45 лет. Писарьковым много сделано в области теории действия осушительных систем, выделены виды водного питания осушительных каналов, предложены формулы для расчета каналов и расстояний между осушителями, для определения коэффициентов фильтрации и др. На основе многолетних исследований в лесных насаждениях Лисино установлены нормы осушения для основных лесообразующих пород в зависимости от возраста древостоя и характера почв. Совершенствовался и учебный курс. Х. А. Писарьковым совместно с А. Ф. Тимофеевым в 1957 году был издан учебник по курсу гидромелиорации, переизданный в 1964 и 1968 годах. С приходом Писарькова на преподавательскую работу в Лесотехническую академию началось регулярное издание методической литературы для студентов высших учебных заведений. Ученики Писарькова развили идеи учителя, возглавив крупные научные коллективы.

Наиболее часто осушаемыми объектами являются болота. Стратиграфия болот и строение почвенного профиля отличаются от строения профиля минеральных земель. Своеобразна и их гидрология. Последняя в значительной степени разработана профессорами К. Е. Ивановым и В.Д. Лопатиным. Ими выделено наличие двух различных горизонтов в строении торфяной залежи – деятельного и инертного, в значительной степени определяющих сток с болот, величину понижения грунтовых вод и обеспечение норм осушения.

Развитие гидромелиорации основывалось на исследованиях результатов осушения. Первые такие работы выполнены в Лисинском лесничестве лесничим Д. М. Кравчинским. Его выводы, полученные на основе изучения результатов осушения и опубликованные в 1908-1912 годах, послужили основой для дальнейших исследований Х. А. Писарькова и П. И. Давыдова, выполненных на постоянных пробных площадях в Лисино, и М. П. Елпатьевского -

в ЛенНИИЛХ. Вообще работы НИИ лесного хозяйства (ныне СПбНИИЛХ) - определенная эпоха в гидромелиоративных исследованиях. Существенна роль в этом профессора В. К. Константинова. Значителен вклад в гидромелиорацию института «Союзгипролесхоз» и, в частности, профессора Е. Д. Сабо. Его исследования в различных зонах России позволили уточнить оценку эффективности осушения. Сабо является пионером внедрения вычислительных машин в проектирование осушительных систем.

С течением времени исследования результатов осушения с эпизодических 2-3-летних перешли в стадию стационарных. Прекрасные стационары созданы учеником Х.А. Писарькова С. Э. Вомперским - директором Института лесоведения РАН (Западно-Двинский стационар).

Стационарные исследования проводятся с 1961 года и кафедрой почвоведения и гидромелиорации С.-Петербургской лесотехнической академии под руководством проф. Б. В. Бабикова. Сотрудниками кафедры создано в Ленинградской области три стационара: Ушакинский и Тосненский (см. форзац) в лесхозе Лисинского лесного колледжа и Малиновский в Лисинском учебно-опытном лесхозе.

В настоящее время гидромелиорация является важным направлением в лесной отрасли, обеспечивающим повышение продуктивности лесов и стабилизацию их состояния. Не обойтись без гидромелиорации и в садово-парковом строительстве, и в ландшафтном хозяйстве.

Раздел I

ГИДРОЛОГИЯ, ГИДРОМЕТРИЯ, ГИДРАВЛИКА

Глава 1
ГИДРОЛОГИЯ СУШИ

Гидрология - наука, изучающая гидросферу, ее свойства, протекающие в ней процессы и явления во взаимосвязи с атмосферой, литосферой и биосферой. Гидрология занимается изучением природных вод, их распространением по земной поверхности и в толще почвогрунтов, выявлением процессов, явлений и закономерностей, по которым эти процессы и явления развиваются. Раздел гидрологии, где рассматриваются закономерности распространения поверхностных вод, процессы и явления, протекающие в них, называется гидрологией суши.

Гидрометрия - раздел гидрологии рассматривающий методы измерений гидрологического режима водных объектов.

1.1. Водные ресурсы земли и их формирование

Общий объем воды на земном шаре составляет около 1338 млн. км^3. Основной ее запас (96,5 %) находится в Мировом океане. В жизни человека наибольшую ценность представляют пресные воды. Ледники и постоянный снежный покров содержат 24,1 млн. км^3 пресной воды, т.е. около 69 % общих ее запасов. Свыше 50 % (10,5 млн.км^3) пресной воды сосредоточено в почвогрунтах (подземные воды). Пресные озера России содержат около 28 тыс. км^3 воды, из них 25 тыс. км^3 в озере Байкал. Вода в болотах составляет около 12 тыс. км^3, или 0,03% запаса пресных вод. Годовой сток рек нашей страны составляет 4720 км^3 в год. В руслах рек России единовременно находится около 500 км^3 воды.

Круговорот воды в природе. Вода в природе под влиянием солнечной радиации, вызывающей испарение, и силы земного

притяжения совершает непрерывный круговорот (влагооборот) между гидросферой, почвой и атмосферой. Водяной пар поступает в атмосферу в результате испарения с водной поверхности и поверхности почвы, растительности, снежного и ледяного покрова, а также вследствие транспирации. В атмосфере непрерывно протекают процессы конденсации и сублимации водяного пара, образование облаков и перенос их воздушными массами. Из облаков при определенных условиях выпадает на поверхность земли вода в виде жидких (дождь) или твердых (снег) осадков.

Различают два типа влагооборота - большой и малый. Большой, или мировой, влагооборот захватывает обширные пространства, когда водяной пар, поднявшийся с поверхности океанов, переносится воздушными потоками на материки, выпадает там в виде атмосферных осадков и возвращается в океан в виде стока.

Малый влагооборот происходит на меньших пространствах и бывает океанический, когда водяной пар, образовавшийся при испарении воды с поверхности океанов, снова выпадает в виде осадков в океан, и внутриконтинентальный, когда влага, испарившаяся с поверхности суши, вновь выпадает на сушу в виде атмосферных осадков.

Испарение с поверхности земного шара составляет в среднем за год 577 тыс. км^3 воды. Из этого объема 505 тыс. км^3 приходится на Мировой океан и 72 тыс. км^3 - на сушу. Воздушными потоками на сушу переносится и стекает обратно в океан 47 тыс. км^3 воды. Из этого объема реками выносится в океан 45 тыс. км^3, поступает в океан в виде стока грунтовых вод 2 тыс. км^3. Если распределить этот объем воды равномерно по поверхности суши, получится слой осадков, равный 515 мм.

Единовременно объемы воды в руслах рек мира почти полностью заменяются в среднем за 16 дней. Воды озер в среднем возобновляются в течение 17 лет, изменяясь от нескольких лет (для малых озер в засушливых областях) до нескольких сотен лет. В озерах ежегодно возобновляется в среднем 1-2 % воды от их объема.

В водном балансе нашей страны приход влаги с осадками составляет 11 700, испарение - 7340, сток - 4360 км^3.

Водный баланс. Соотношение прихода и расхода влаги за определенный интервал времени называется водным балансом. Его принято выражать уравнением, которое составляют для определенного участка территории: бассейна, реки, страны, материка или зем-

ного шара в целом. Под бассейном понимается часть земной поверхности, включая и толщу почвогрунтов, откуда происходит сток воды в определенную реку, речную систему или озеро. Синонимом понятия «бассейн» является понятие «водосборная площадь».

Составляя уравнение водного баланса за ограниченный период времени (месяц, год), необходимо учитывать изменение запасов влаги в бассейне (снежном покрове, почве, поймах рек и пр.). Величина этих изменений в многоводные годы может быть положительной, а в маловодные - отрицательной. Следует учитывать и подземный водообмен с соседними бассейнами. С учетом сказанного, уравнением водного баланса будет

$$O = C + E \pm \Delta W \pm \Delta U, \qquad (1)$$

где O - осадки; C - сток; E - испарение (суммарное); ΔW - изменение запасов влаги в бассейне; ΔU - подземный водообмен с прилегающими участками.

С увеличением площади водосбора относительная величина водообмена с соседними бассейнами уменьшается. При больших водосборах и длительных наблюдениях можно использовать более простое уравнение водного баланса:

$$O = C + E \pm \Delta W, \qquad (2)$$

позволяющее определить баланс влаги при известных влагозапасах в начале и конце периода, для которого определяется водный баланс. Его можно использовать и в интервале гидрологического года. Гидрологический год в отличие от календарного начинается не с 1 января, а со времени стабилизации запасов влаги в бассейне, когда переходящие остатки ее из одного года в другой минимальны. Для большинства районов России началом гидрологического года принимается 1 октября или 1 ноября.

По мере увеличения длительности периода уменьшается влияние на баланс влаги различий в величинах изменения ее запасов в бассейне. Для длительных периодов годы с пониженными запасами влаги перекрываются годами с повышенными влагозапасами. То же относится и к водообмену с окружающими участками. Поэтому величины ΔW и ΔU могут быть очень небольшими и уравнение для многолетнего периода принимает упрощенный вид:

$$O = C + E. \qquad (3)$$

Уравнение водного баланса позволяет установить степень обводненности территории, выявить избыток или недостаток влаги. Оно широко используется для различных водно-балансовых расчетов. Если приходная часть водного баланса превышает расходную, то наблюдается избыток влаги и требуется осушение, если расходная часть больше приходной, то необходимо орошение.

Средние многолетние значения составляющих уравнения водного баланса (элементов водного баланса), которые при увеличении длительности периода наблюдений существенно не меняются, называются нормой гидрологических величин (норма осадков, норма стока, норма испарения).

1.2. Элементы водного баланса

Превышение приходной или расходной части уравнения водного баланса определяет возможное заболачивание или иссушение территории. Поэтому необходимо знать особенности формирования и количественные характеристики элементов водного баланса в различных климатических зонах. Основными элементами водного баланса являются атмосферные осадки, испарение и сток.

Атмосферные осадки. Роль осадков в формировании водного режима почв очень велика. Как отмечалось выше, на территории России выпадает 11700 км^3 осадков. При равномерном распределении по территории средний слой осадков (норма осадков) составляет 530 мм в год. Однако выпадающие осадки распределяются по отдельным районам неравномерно (рис. 1). По берегам Северного Ледовитого океана в условиях арктического климата выпадает до 300-400 мм осадков, в западных и центральных районах европейской части России, в Западно-Сибирской низменности - 500-600 мм, в Нижнем Поволжье - 300-400 мм, в Арало-Каспийской низменности 100-150 мм. Неравномерность выпадения осадков усугубляется изменчивостью их величин в разные годы. Так, в лесостепной и степной зонах недостаток осадков часто сопровождается неравномерностью их выпадения в течение года, особенно в период вегетации. В засушливых районах Средней Азии неблагоприятно складывается внутригодовое распределение осадков: при малой сумме за год в холодные сезоны их выпадает в 1,5-2 раза больше, чем в теплые.

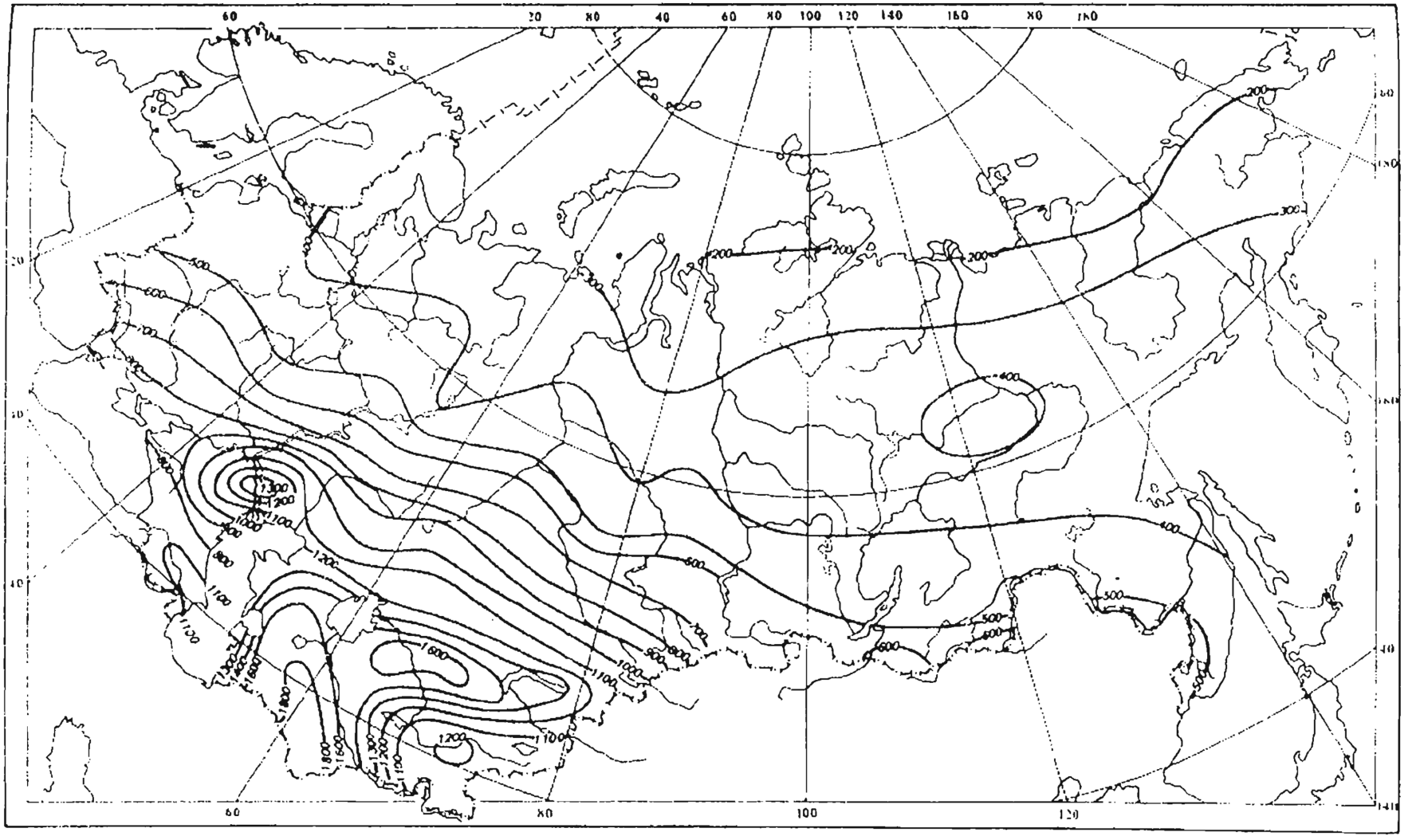


Рис. 1. Среднегодовое количество осадков, мм

Осадки оказывают огромное влияние на заболоченность территорий, хотя и не являются единственной причиной заболачивания. Заболоченные территории страны находятся в основном в районах, где годовая сумма осадков превышает испарение.

На величину осадков существенное влияние оказывает лес. На облесенных территориях за счет шероховатости поверхности древесного полога количество осадков несколько увеличивается. Особенно велика роль леса в задержании выпавших осадков и аккумуляции их лесной подстилкой. Большое влияние оказывает лес на распределение твердых осадков. Он задерживает снег, удлиняет на 1-2 недели период снеготаяния, способствует замедлению стока талых вод весной и обеспечивает инфильтрацию значительной их части в почву с последующим внутрипочвенным стоком.

Испарение. Испарение - процесс перехода влаги из жидкой или твердой фазы в парообразное состояние и перенос пара на определенные расстояния от испаряющей поверхности (земли, растений) в результате солнечной радиации (физического испарения) и за счет транспирации растениями в процессе их жизнедеятельности. Общий расход влаги на физическое испарение и транспирацию называется с у м м а р н ы м испарением (эвапотранспирацией).

При определении испарения следует различать понятия «испарение» и «испаряемость». Под испарением понимают расход воды, который происходит с поверхности земли в конкретных почвенно-климатических условиях. Под испаряемостью подразумевают максимально возможное испарение при неограниченном поступлении влаги к испаряющей поверхности. Обычно испаряемость определяют по величине испарения с водной поверхности.

Испарение колеблется в значительных пределах в зависимости от количества осадков, температуры воздуха и испаряющей поверхности, относительной влажности воздуха, геоморфологии местности и экспозиции склона, водно-физических свойств почвогрунтов, их влажности, характера растительности и др.

Среднегодовые величины испарения (норма испарения) с водной поверхности для некоторых районов европейской части России приведены на рис.2. Годовая величина испарения сильно колеблется по климатическим зонам, составляя 100-200 мм в северных районах, увеличиваясь до 1000 мм и более на юге (табл. 1).

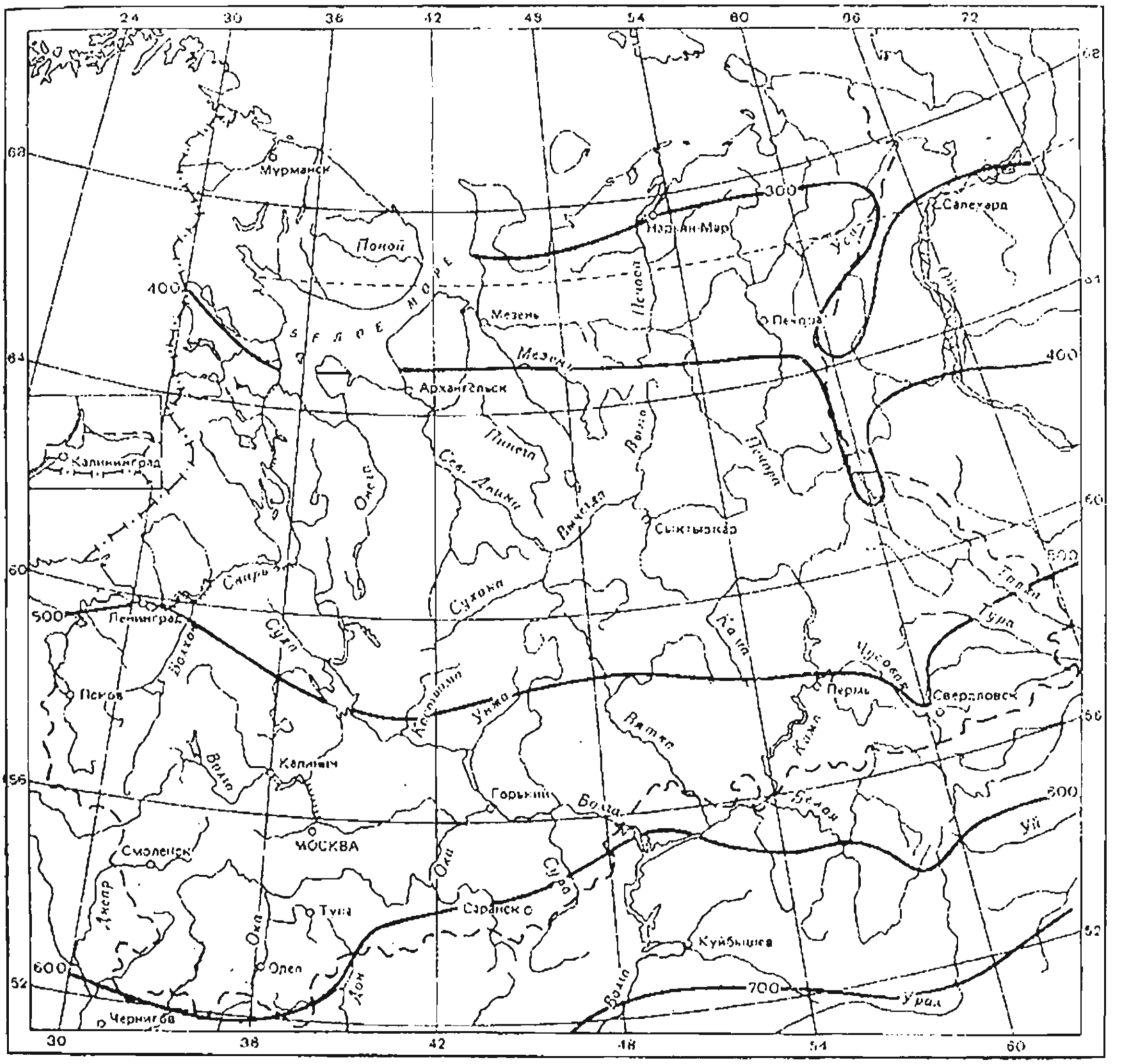


Рис.2. Среднегодовая сумма испаряемости, мм

Таблица 1

Испарение с водной поверхности по некоторым районам территории СНГ, мм

Район	Испарение	Район	Испарение
Архангельск	300	Харьков	650
С.-Петербург	400	Саратов, Краснодар	700
Москва	460	Самара	720
Смоленск	480	Ростов-на-Дону	850
Минск	550	Волгоград	900
Воронеж	560	Астрахань	1000

Испарение в течение года сильно меняется, достигая максимальных значений летом, уменьшаясь осенью и резко снижаясь зимой. Например, в Вологде, по данным А.Р. Константинова, в июле испарение с поверхности суши составляет 84 мм, т.е. почти 3 мм в сутки, в октябре среднесуточное испарение снижается до 0,5 мм при суммарной величине за месяц 21 мм. В зимние месяцы испарение происходит с поверхности снега и не превышает 5-8 мм в месяц.

На величину испарения большое влияние оказывает характер растительности. В лесу древесный полог снижает проникновение солнечной радиации к поверхности почвы, уменьшает скорость ветра, в результате чего физическое испарение снижается. Уменьшает испарение и слой лесной подстилки. Обладая малой теплопроводностью, она уменьшает нагревание минеральных горизонтов почвы, предохраняя почву от воздействия солнечной радиации и снижая приток воды по капиллярам к испаряющей поверхности. Однако суммарное испарение в лесу может оказаться выше, чем на безлесной площади, за счет активной транспирации воды древесными растениями. Исследованиями С.Ф.Федорова *[33]* установлено, что в лесу транспирационный расход влаги выше физического испарения.

Величина суммарного испарения зависит от состояния и производительности древостоя. По нашим исследованиям, проведенным на осушенных торфяниках в Ленинградской области в сосновом древостое IV класса бонитета, суммарное испарение составило 373 мм в год, а в сосняке I-II классов бонитета - 451 мм. В летние месяцы среднесуточная величина суммарного испарения превышала 3 мм.

Академик А.Н.Костяков, сопоставляя приход влаги с расходом на испарение с учетом эффективности использования осадков, разделил Европейскую часть России на зоны различной обеспеченности почв и растений влагой. В зоне избыточного увлажнения коэффициент отношения осадков к испарению превышает 1 (рис.3). В зоне неустойчивого увлажнения величина осадков близка к величине испарения, в зоне недостаточного увлажнения испарение постоянно превышает осадки.

Основным видом гидромелиорации в зоне избыточного и неустойчивого увлажнения является осушение переувлажненных земель, в зоне недостаточного увлажнения - орошение, которое в засушливый год или в сухие периоды года может применяться в других зонах.

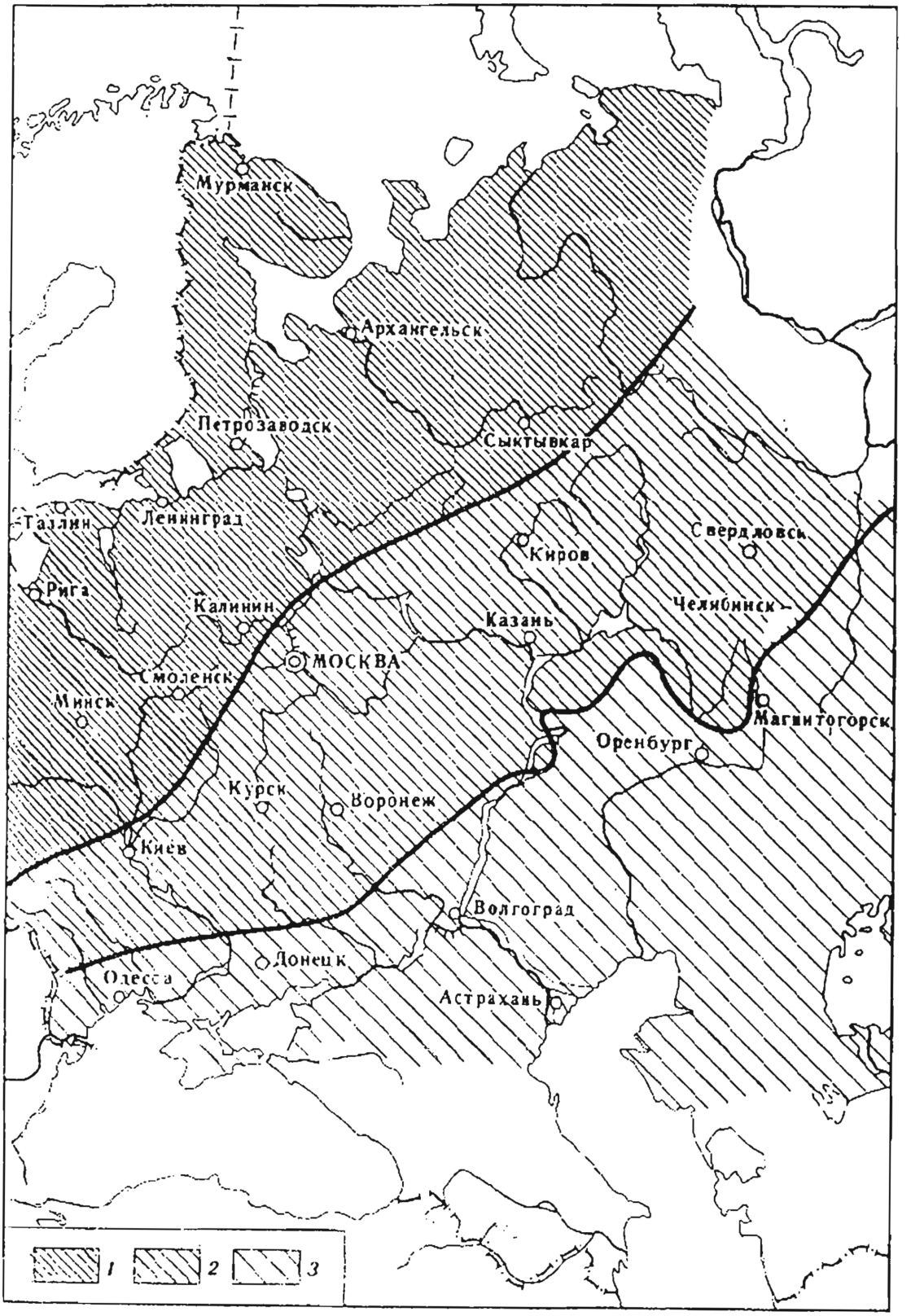


Рис. 3. Зоны водообеспеченности Европейской части России:
1 - избыточное; *2* - неустойчивое; *3* - недостаточное увлажнение

Методы определения испарения в лесу. Изучению испарения посвящены многочисленные исследования как в нашей стране, так и за рубежом. Для определения испарения применяют разные методы: весовой, метод водного и теплового баланса, турбулентной диффузии и др. Использовать эти методы при определении испарения в условиях лесной растительности по сравнению с полевыми условиями сложно, поэтому экспериментальных данных, характеризующих физическое испарение в лесу, в научной литературе пока мало. Для определения испарения в лесу хорошие результаты дает метод водного баланса, позволяющий по уравнениям (1-3) рассчитать суммарное испарение, для чего необходимо иметь данные наблюдений за стоком с лесных площадей и величины осадков. Вследствие слабой изученности стока с лесных земель для примера приводим результаты наблюдений, полученные автором на стационарах кафедры почвоведения и гидромелиорации в сосновых древостоях на осушенных торфяниках Ленинградской области. Годовое суммарное испарение в древостоях II и IV классов бонитета оказалось равным соответственно 454 и 393 мм. Известно, что испарение в течение года по месяцам распределяется пропорционально испаряемости, поэтому среднемесячное испарение может быть вычислено по формуле Н.Н. Иванова:

$$E = 0{,}0018\,(25 + t)^2\,(100 - a), \qquad (4)$$

где E - испаряемость; t - среднемесячная температура воздуха; a - среднемесячная относительная влажность воздуха. Зная процентное распределение испаряемости по месяцам и вычислив суммарное испарение за год по уравнению (3), можно определить суммарное испарение по месяцам (табл.2).

Таблица 2

Суммарное испарение с осушенных болот в сосновых древостоях, мм

Класс бонитета	Месяцы												Всего за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
II	3	7	18	37	79	100	88	68	27	16	7	4	454
IV	3	6	16	32	68	86	76	59	24	13	6	4	393

Максимальный расход влаги на суммарное испарение в лесу оказывается наибольшим в июне, когда грунтовые воды стоят довольно

близко к поверхности, влажность почвы высокая и создаются хорошие условия для расхода влаги на испарение и транспирацию.

Древостой более высокого класса бонитета больше расходует влаги на суммарное испарение. Абсолютное превышение расхода влаги на испарение в сосняке II класса бонитета по сравнению с древостоем IV класса составили за май-сентябрь 50 мм, или 17 %. Расход влаги на испарение летом составляет 40-60 % общего расхода влаги, превосходя на 30-90 % величину осадков. Годовой расход влаги на суммарное испарение в 1,5-2 раза превышает сток, что следует учитывать при осушении лесных земель.

1.3. Сток

Стоком называется движение воды по поверхности земли, а также в толще почв и горных пород в процессе круговорота ее в природе.

В зависимости от условий и среды прохождения сток подразделяется на поверхностный, проходящий по земной поверхности, склоновый - по склонам, почвенный - в почвенной толще, русловой и речной - по русловой и речной сети. К русловому можно отнести и сток по каналам осушительной сети.

Факторы стока. Сток воды зависит от множества природных и антропогенных факторов.

Гидрогеология и геоморфология. Значительное влияние на сток оказывают сложение и состав слоев горных пород, глубина залегания водоносных и водоупорных горизонтов, направление и величина их уклона. В районах с выраженным рельефом, наличием холмов со значительными уклонами атмосферные осадки стекают быстрее, чем на ровных участках с малыми уклонами, где вода больше расходуется на испарение.

Величина и форма водосборной площади. При больших водосборных площадях, когда вода движется по длинным склонам, потеря воды на испарение и глубинную внутрипочвенную фильтрацию увеличивается. Это приводит к уменьшению стока. На сток влияет и форма водосборной площади. Если она вытянута вдоль водотока, сток происходит в более короткий срок и потери стока меньше, чем на вытянутом водосборе, примыкающем к водотоку короткой стороной.

Климатические факторы. К основным из них относятся атмосферные осадки, температура и влажность воздуха, а также температура испаряющей поверхности. Влияние осадков проявляется через интенсивность их выпадения. Осадки, выпадающие в виде ливней, в большей степени расходуются на сток, чем осадки слабой интенсивности. Осадки, выпадающие на сухую поверхность почвы в малых количествах, особенно в лесу, вообще не образуют стока. Осадки в виде снега накапливают воду к весне и при интенсивном снеготаянии с наступлением высоких температур воздуха образуют интенсивный сток. При низких температурах воздуха весной снеготаяние растягивается, сток происходит медленно, вследствие чего значительное количество воды расходуется на испарение и фильтрацию.

Температуры воздуха и почвы оказывают постоянное влияние на испарение. Температура, повышаясь, способствует уменьшению стока. Особенно усиливается испарение при высокой температуре воздуха и малой его относительной влажности в ветреную погоду.

Озерность и заболоченность водосборов. Озера воздействуют на сток по двум направлениям: накапливая воду половодий и паводков и отдавая ее в межень, они выполняют роль регуляторов стока; имея значительную открытую водную поверхность с повышенным расходом влаги на испарение, озера несколько снижают сток.

Болота аккумулируют сток, поскольку моховая растительность является мощным накопителем влаги. Известно, что в единице объема сфагнового мха может аккумулироваться до 20 объемов воды. Постоянно нарастая в высоту и в стороны, болота увеличивают объем аккумулированной воды. Сток воды из болот происходит слабо, поэтому по мере роста заболоченности территории сток с нее, особенно летом, уменьшается. При насыщении болот влагой в сырые годы болота увеличивают речной сток, в сухие годы - уменьшают.

Растительность, особенно лесная, регулирует сток. В лесных сообществах образуется лесная подстилка, обладающая большой аккумуляционной емкостью и высокой фильтрационной способностью. Поэтому лес поверхностный сток переводит в почвенный. Регулирование стока происходит путем аккумуляции воды в период половодий, паводков и ливневых дождей и постепенной отдачи ее почвенным стоком в период с пониженным количеством

осадков. Поскольку часть выпадающих над лесом осадков задерживается кронами, то средний коэффициент стока на облесенных территориях несколько снижается, однако аккумулированная в почве вода постепенно стекает, растягивая сроки половодья и паводка, что увеличивает питание рек в межень.

Водохранилища, аккумулируя воду периода половодий и паводков, позволяют обеспечивать подачу воды в реки по мере необходимости в маловодные периоды. Следовательно, водохранилища, как и озера, регулируют сток.

Характеристика стока. Количественно сток характеризуется объемом, модулем, коэффициентом и слоем стока.

Объем стока W_c - объем воды, стекающей с водосбора за определенный интервал времени. Определяется по расходу воды в водотоке (реке, ручье, канале и т.д.) за определенный период времени (сутки, месяц, год, период года и т.д.), м^3:

$$W_c = Q\,t, \tag{5}$$

где Q - средний расход воды, м^3/с; t - время расчетного периода.

Модуль стока q - количество воды, стекающей с единицы площади водосбора в единицу времени, л/с с 1 га или м^3/с с 1 км^2:

$$q = Q/F, \tag{6}$$

где q - модуль стока; Q - расход воды в водотоке, л/с; F - величина водосборной площади, га.

Слой стока h_{cm} - количество воды, стекающее с водосбора за определенный интервал времени, равное толщине слоя воды, равномерно распределенной по площади этого водосбора. Слой стока определяется по формуле, мм:

$$h_{cm} = W_c\,1000/F, \tag{7}$$

где W_c - объем стока, м^3; F - площадь водосбора, м^2.

Годовой слой стока (мм/год) по модулю стока можно вычислить по зависимости:

$$h_{cm} = 3154q, \tag{8}$$

где q - среднегодовой (или средний за период) модуль стока, л/с с 1 га.

Коэффициент стока σ - отношение величины (объема или слоя) стока к количеству выпавших на площадь водосбора осадков, обусловивших сток:

$$\sigma = C/O, \qquad (9)$$

где C - величина стока; O - величина осадков.

Средняя многолетняя величина стока называется нормой стока.

Методы изучения стока. Существует несколько методов изучения стока. Для изучения особенностей формирования стока в зависимости от характера почвогрунтов и состояния растительности используют *метод стоковых площадок.*

Стоковые площадки устраивают на местности, имеющей уклон с определенной площадью водосбора. Во избежание притока поверхностных вод по границам стоковых площадок устраивают оградительные канавки. Для предотвращения притока грунтовых вод на необходимую глубину врезают водонепроницаемый экран из глины или бетона (в отдельных случаях можно использовать полиэтиленовую пленку). Для регистрации стока в нижней части склона площадки устраивают сооружения для сбора воды. На стационарных стоковых площадках длительного действия для учета стока на глубине ниже поверхности почвы в нижней части площадок устраивают траншеи, собирающие воду, и сооружают землянки, в которых устанавливают емкости для сбора воды, оборудованные самописцами, позволяющими отдельно учитывать поверхностный сток и сток с различных горизонтов почвы.

Особенности режима стока с осушенных земель и определение суммарного испарения на основе метода баланса проводят на небольших водосборах с помощью гидрометрических водосливов (глава 2). При устройстве водосливов на каналах строят простейшие плотины с вырезом определенного сечения для пропуска воды. Определяют площадь водосбора, с которого стекает вода в данный канал (каналы). Расход воды через водослив вычисляют по величине напора (глава 2) путем измерения уровней воды с помощью самописцев (глава 3). Расход воды рассчитывают по формулам расхода или по кривой расхода (глава 3), построенной для данного водотока. Данный метод можно применять и при определении стока с малых водосборов, дренируемых естественными водотоками.

При определении стока с больших водосборов в целях выявления характеристик стока, получения расчетных модулей стока (глава 6) для определения размеров проводящих каналов осушительных систем используют гидрологические посты на реках (глава 3).

Сток с осушенных лесных земель. Особенности такого стока исследовались на стационарах кафедры почвоведения и гидромелиорации Лесотехнической академии, выполненных в Ленинградской области. Работы проводили на верховых и переходных болотах с сосновыми древостоями II и V классов бонитета, а также на землях с минеральными грунтами. Осушение проводили открытыми каналами глубиной 0,9-1,1 м, проведенными через разные расстояния. Исследования вели круглогодично. При анализе 15-летних данных (табл. 3) за начало гидрологического года принято 1 октября.

Таблица 3

Внутригодовое распределение стока на осушенном верховом болоте (1968-1981 гг.), мм

Расстояние между каналами, м	Месяцы												Год
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	V	VIII	IX	
65	21	26	15	6	3	13	76	30	12	8	8	10	228
150	19	26	13	6	3	10	72	28	9	7	7	9	209
205	13	20	12	4	2	9	56	17	5	4	4	7	153

Исследования показывают увеличение стока по мере уменьшения расстояний между осушителями. Снижение расстояний с 205 до 65 м, т.е. в 3 раза, увеличило сток более чем на 50 %. На интенсивно осушенных болотах летний сток более устойчив.

Влияние на сток степени облесенноети осушенных болот видно из табл. 4.

Таблица 4

Сток с болот различной облесенности, мм

Характеристика древостоя	Расстояние между каналами, м	Месяцы					Сумма за 5 мес.
		V	VI	VII	VIII	IX	
Сосна по болоту, частично леса нет	100	21	6	12	24	25	88
Сосняк IV класса бонитета	65	27	8	8	14	12	69

На безлесных или слабооблесенных болотах весной происходит интенсивное снеготаяние, сопровождающееся быстрым сбросом талых вод. К маю грунтовые воды понижаются, и сток в мае и июне оказывается ниже, чем на болотах, занятых древостоями, где медленнее происходит таяние снега. Исследованиями А.Д.Дубаха *[5]* было установлено замедление снеготаяния и стока в лесах на 1-2 недели по сравнению с безлесными площадями.

Летом грунтовые воды понижаются. Порозность торфяного грунта высокая с крупными размерами пор. Капиллярный подъем влаги к поверхности почвы затруднен (глава 5). В связи с этим физическое испарение снижается.

На участках, занятых древостоем, кроме испарения происходит значительный расход влаги на транспирацию, увеличивающей суммарное испарение влаги (табл. 2), поэтому сток на покрытых лесом землях оказывается ниже, чем на необлесенных болотах.

Влияние древостоя на сток с осушенных земель с течением времени по мере улучшения состояния древостоя усиливается (табл. 5).

Таблица 5

Сток с осушенных болот
в зависимости от состояния соснового древостоя, мм

Класс бонитета	Месяцы												Год
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
V	18	23	13	7	3	II	74	28	10	8	6	9	210
II	7	13	10	5	3	5	53	29	9	5	3	4	146

В высокобонитетных древостоях годовая величина стока уменьшается в основном за счет снижения стока вод весеннего половодья. На торфяных почвах сток обычно наблюдается и в зимний период. На землях с минеральными грунтами сток зимой по каналам часто прекращается.

При осушении болот сток увеличивается по мере уменьшения расстояний между каналами. Соответственно увеличиваются и модули стока. Среднегодовой модуль на верховых болотах изменяется от 0,047 до 0,075 л/с с 1 га при расстояниях между каналами 205 и 65 м. Наибольшие модули 0,248 и 0,310 л/с с 1 га отмечены в апреле в период стока талых вод. Максимальный среднесуточный модуль, равный 2,1 л/с с 1 га, отмечен при расстоянии между каналами 65 м в первый год осушения. Последующие 15-летние наблюдения показа-

ли уменьшение максимальных модулей стока. Послепаводковые модули стока в мае оказываются в 2-4 раза ниже паводковых (апрельских). Наименьшие летние модули отмечаются в июле-августе, зимние - в феврале.

Уменьшение расстояний между каналами при осушении болот обеспечивает равномерность стока, особенно летом. С неосушенных болот сток летом может прекратиться на длительный срок. На осушенных болотах, где каналы проведены через 205 м, сток в них за 15 лет наблюдений не отмечается в среднем за год в течение 51 дня. При расстояниях между каналами 65 м сток с болота не наблюдался только 20 дней. В течение 8-10 лет сток летом не прерывался вообще.

По мере улучшения состояния древостоя и повышения класса бонитета увеличивается расход влаги на транспирацию, что должно снизить расход влаги на сток. За 15 лет после осушения на верховом болоте класс бонитета увеличился с IV-Va до III-IV. Уменьшение стока за этот период не отмечено. На переходном болоте, где класс бонитета увеличился с IV до I-II, древостой снижает сток.

Контрольные вопросы. 1. Что такое водный баланс? Элементы водного баланса? 2. В каких случаях можно пользоваться упрощенным уравнением водного баланса? 3. Какие факторы оказывают влияние на сток воды в природе? 4. Какими величинами характеризуется сток? 5. Какие методы применяют при изучении стока? 6. Как влияет осушение на сток? 7. В чем особенности стока с осушенных болот в лесу?

Глава 2
ЭЛЕМЕНТЫ ГИДРАВЛИКИ

Гидравлика изучает законы равновесия и движения жидкостей. На законах гидравлики основаны решение многочисленных инженерных и гидрологических задач, расчеты каналов, гидротехнических сооружений, водопроводов, движение речных потоков и др.

2.1. Гидростатическое давление

Гидростатикой называют раздел гидравлики, рассматривающий законы равновесия жидкости и ее взаимодействие с твердыми телами.

Покоящаяся в любом сосуде жидкость оказывает давление на дно и стенки сосуда. Среднее давление $P_{ср}$, оказываемое силой P на единицу площади ω, определяется соотношением

$$P_{ср} = P / \omega . \qquad (10)$$

Предел этого отношения при стремлении площадки к нулю выражает гидростатическое давление в данной точке

$$P = \frac{\Delta p}{\Delta \omega} . \qquad (11)$$

Гидростатическое давление действует во всех направления одинаково. Любое изменение давления в покоящейся жидкости передается одинаково во все точки занятого жидкостью пространства (закон Паскаля).

Давление воды на плоское горизонтальное дно сосуда (без учета атмосферного давления) равно

$$P = f\, h\, \gamma, \qquad (12)$$

где P - давление на дно; f - площадь дна; h - глубина воды (расстояние от поверхности воды до дна); γ - удельная масса воды.

Полное (абсолютное) гидростатическое давление P_a в любой точке покоящейся жидкости равно весу столба жидкости над данной точкой (площадкой) плюс внешнее давление P_0 на свободную поверхность жидкости.

$$P_a = P_0 + p\,g\,h, \qquad (13)$$

где p - плотность жидкости; g - ускорение свободно падающего тела; h - глубина погружения точки, для которой определяется давление.

Нормальное атмосферное давление равно столбу жидкости высотой 10,3 м.

В системе СИ единицей давления является Паскаль (Па). Атмосферное давление в инженерных расчетах принимается (в системе СИ) равным 98 000 Па (округленно 100 000 Па, или 100 кПа), во внесистемных единицах 1атм = 1 кгс/см^2.

Поскольку гидростатическое давление в жидкости действует во всех направлениях одинаково, то все точки на определенной глубине испытывают одинаковое давление. Оно передается и на расстояние. Для его измерения присоединим к сосуду на уровне точки A (рис. 4) тонкую стеклянную трубку (пьезометр) с открытым концом. Жидкость поднимается по трубке и остановится на уровне жидкости в сосуде. Высота h_1 называется пьезометрической высотой, величина h, равная h_1 - пьезометрическим (гидростатическим) напором.

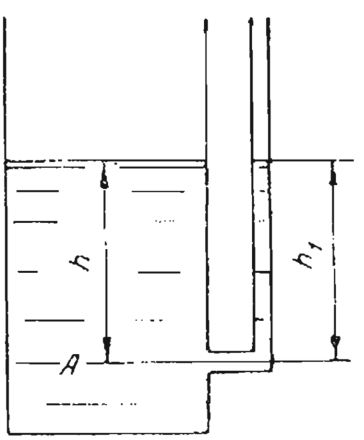


Рис.4. Схема формирования пьезометрического напора

2.2. Закон движения жидкости

Законы движения жидкости, определение скорости и сопротивлений движению изучает гидродинамика. В применении к курсу гидромелиорации г и д р о д и н а м и к а является основным изучаемым разделом гидравлики.

По характеру скорости и расхода движение воды бывает установившимся и неустановившимся. У с т а н о в и в ш и м с я называется такое движение, при котором скорость и расход воды, а следовательно, и давление во всех точках потока неизменны за рассматриваемый промежуток времени. Такое движение наблюдается в реках, когда уровень воды остается неизменным или, при истечении воды из резервуара, при неизменной отметке свободной поверхности.

Н е у с т а н о в и в ш и м с я называется такое движение, при котором скорость и расход воды в пределах рассматриваемого периода меняются, например, в реке при изменении уровней (при паводке, во время сбросов воды через водосбросные вооружения при плотинах).

По характеру перемещения потока по длине водотока установившееся движение подразделяется на равномерное и неравномерное. Р а в н о м е р н ы м является такое движение воды, при котором форма и площадь поперечного сечения русла, а также средние скорости и скорости во всех точках потока по длине одинаковы. Н е р а в н о м е р н о е движение отличается изменяемостью площадей сечения потока, глубин, скоростей потока по длине. В настоящем учебнике рассматриваются расчеты при равномерном движении.

По характеру режима движение воды подразделяется на ламинарное и турбулентное. Л а м и н а р н ы й режим движения характеризуется перемещением воды без перемешиваний струй (преимущественно в вертикальном направлении). Такой режим наблюдается при движении грунтовых вод или воды в тонких капиллярных трубках. Т у р б у л е н т н ы й режим характеризуется перемешиванием частиц воды, которые кроме поступательного движения с большими скоростях имеют и вращательное движение. Такой режим наблюдается в трубах, реках, каналах и т.п.

По характеру сил, вызывающих движение жидкости, оно может быть напорным и безнапорным. Б е з н а п о р н о е д в и ж е н и е происходит под действием сил тяжести. Поверхность потока

не ограничена, находится под атмосферным давлением. Этот вид движения наблюдается в реках, каналах, трубах при неполном их заполнении. Н а п о р н о е движение происходит под действием давления (напора), создаваемого насосами, водонапорной башней или при подаче воды по трубам из прудов, располагающихся выше потребителей (например, петергофские фонтаны) и т.п. Движение воды характеризуется уравнением Бернулли:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + h_\omega \quad , \qquad (14)$$

где Z_1 и Z_2 - геометрическая высота центров тяжести потока в сечениях I- II (рис. 5); P_1 и P_2 - гидростатическое давление; γ - удельная масса воды; V_1 и V_2 - скорости движения воды; α - поправочный коэффициент на среднюю скорость потока (равный в среднем 1,1); P_1/γ и P_2/γ - пьезометрическая высота давления в сечениях 1-II; $Z_1 + P_1/\gamma$ и $Z_2 + P_2/\gamma$ - пьезометрический напор, характеризующий удельную потенциальную энергию в сечениях I-II; $V_1^2/2g$ и $V_2^2/2g$ - скоростной напор, характеризующий удельную кинетическую энергию в сечениях I и II; h_ω - потери напора или удельной энергии. Все величины имеют размерность скорости.

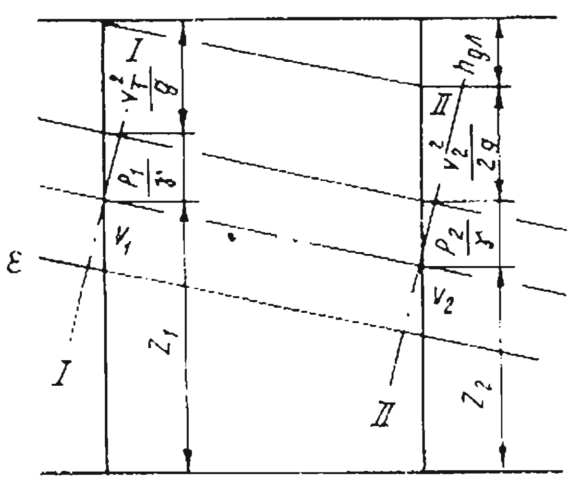


Рис. 5. Схема к уравнению Бернулли

Гидравлические характеристики потока. Различают следующие характеристики потока (рис. 6): живое сечение, смоченный периметр, гидравлический радиус.

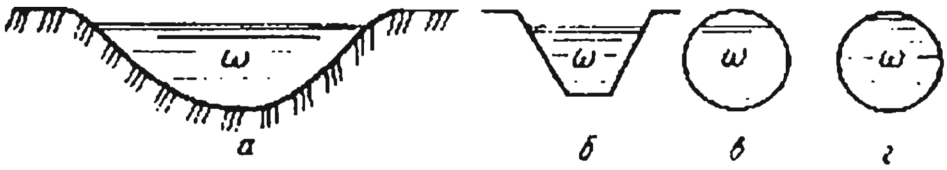


Рис. 6. Живое сечение потока:
а – в реках; *б* – в каналах; *в, г* – в трубах

Ж и в о е с е ч е н и е ω - поперечное сечение потока, направленное перпендикулярно его движению.

С м о ч е н н ы й п е р и м е т р χ - линия, направленная перпендикулярно потоку, по которой он соприкасается с руслом (дном реки, ручья, дном и стенками искусственных русел).

Г и д р а в л и ч е с к и й р а д и у с R - отношение живого сечения к смоченному периметру:

$$R = \omega / \chi. \qquad (15)$$

При напорном движении в круглой трубе гидравлический радиус равен четверти диаметра трубы:

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\pi d^2}{4} : \pi d = \frac{d}{4}. \qquad (16)$$

2.3. Гидравлические сопротивления и потери напора

При движении жидкости в реках, каналах, лотках, трубах и т.п. происходят затраты энергии потока на преодоление сопротивлений движению, вызывая потери напора, возникающие при движении жидкости. Гидравлическое сопротивление можно разделить на два вида: сопротивления по длине потока и местные сопротивления. Сопротивления по длине потока обусловливаются силами трения о дно и стенки русла и зависят от длины потока и шероховатости русла. М е с т н ы е сопротивления вызываются местными препятствиями течению воды (поворотом русла, резким его расширением или сужением и др.). В соответствии с видами потерь напора выделяются два вида сопротивлений: по длине потока $h_{дл}$ и местные $h_{м}$.

Общие потери напора $h_{тр}$ равны их сумме:

$$H_{тр} = h_{дл} + h_{м}. \qquad (17)$$

Все потери напора (местные и по длине) в общем виде определяются по формуле Вейсбаха:

$$h_{тр} = \xi_{тр} \frac{V^2}{2g}, \qquad (18)$$

где $\xi_{тр}$ - коэффициент, показывающий долю скоростного напора, затраченного на преодоление данного сопротивления; V - скорость движения потока.

Потери напора по длине определяют по формуле:

$$h_{дл} = \xi_{дл} \frac{V^2}{2g}. \qquad (19)$$

Местные потери определяют по формуле:

$$h_{м} = \xi_{м} \frac{V^2}{2g}. \qquad (20)$$

Коэффициент сопротивления по длине определяют по формуле:

$$\xi_{дл} = \lambda \frac{l}{4R}, \qquad (21)$$

где λ - коэффициент сопротивления трению по длине; l - длина рассматриваемого участка; R - гидравлический радиус.

При равномерном движении воды в открытых руслах, характеризуемых равными глубинами в рассматриваемых сечениях, имеем:

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma}; \qquad V_1 = V_2; \qquad \frac{\alpha V_1^2}{2g} = \frac{\alpha V_2^2}{2g}. \qquad (22)$$

Потери напора происходят только по длине потока $h_{дл}$ и равны разности геометрических высот. В этом случае уравнение Бернулли примет вид

$$H_{дл} = Z_1 - Z_2. \qquad (23)$$

Обозначив расстояние между рассматриваемыми сечениями через l, найдем потери напора на единицу длины пути движения воды:

$$\frac{h_{дл}}{l} = \frac{Z_1 - Z_2}{l}. \qquad (24)$$

Отношение $h_{дл} / l$ равно гидравлическому уклону i.

Потери напора по длине потока зависят от скорости V, гидравлического радиуса R, шероховатости стенок (русла), в которых движется поток, его длины l и плотности жидкости и определяется по формуле:

$$h_{дл} = \frac{\lambda l}{4R} \cdot \frac{V^2}{2g}. \qquad (25)$$

Подставляя значение $i = \frac{h_{дл}}{l}$ в формулу (25), получим:

$$i = \frac{\lambda l}{4R} \cdot \frac{V^2}{2g} \qquad (26)$$

откуда

$$V = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \sqrt{R\,i}. \qquad (27)$$

Обозначив выражение $\sqrt{8\,g/\lambda}$, характеризующее потери энергии на преодоление сил трения по длине потока через C, получим формулу Шези:

$$V = C\sqrt{R\,i}, \qquad (28)$$

где V - средняя скорость потока; R - гидравлический радиус; i - уклон поверхности воды или дна потока; C - скоростной коэффициент.

Скоростной коэффициент можно вычислить по формуле Н.Н.Павловского или И.И. Агроскина.

1. Формула Н.Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n} R^y, \qquad (29)$$

где n - коэффициент шероховатости русла, изменяющийся в зависимости от его состояния (см. прил. I); R – гидравлический радиус; y - переменный показатель степени, определяемый по формуле:

$$y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}\,\cdot(\sqrt{n} - 0{,}10). \qquad (30)$$

2. Формула И.И. Агроскина:

$$C = \frac{1}{n} + 17{,}72 \lg R. \qquad (31)$$

Для предварительных расчетов C можно определить по таблице (прил. 2).

Формула Шези имеет большое практическое значение. С помощью ее можно определить расход воды, размеры проводящих каналов, вычислить уклон потока, определить гидравлический радиус.

Для русел, ширина которых превосходит глубину, величину гидравлического радиуса можно заменить средней глубиной потока, и тогда формула Шези примет вид:

$$V = C\sqrt{h_{ср}\ i}. \qquad (32)$$

2.4. Движение воды в напорных трубах

При напорном движении все сечение трубы занято водой. Напор воды создается или высоким расположением источника воды (пруд, озеро), из которого вода поступает в трубу, или насосами. Напорное движение встречается в водопроводных трубах, дождевальных трубопроводах, фонтанах и пр.

При напорном движении воды по трубам, как и в открытых водотоках, происходят потери напора. При подаче воды по трубам и поступлении ее под уровень (рис. 7) общий напор H (энергия напора) полностью затрачивается на преодоление сопротивлений по длине $h_{дл}$ и местных сопротивлений $h_{м}$ на входе и выходе.

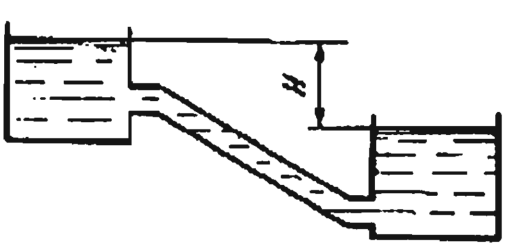


Рис. 7. Схема формирования и потерь напора при истечении под уровень

При истечении воды в атмосферу за счет остаточного напора (конечный напор h_{c}) создается скорость при выходе из трубы:

$$H = h_{дл} + h_м + h_с. \quad (33)$$

При равномерном движении жидкости потери напора по длине и местные определяются по формулам (17) - (21).

Потери по длине при напорном движении в круглых трубах можно рассчитать по формуле:

$$h_{дл} = \frac{\lambda l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}. \quad (34)$$

Для стальных и чугунных труб

$$\lambda = 0{,}02\,(1 + \frac{1}{40\,d}), \quad (35)$$

где d - диаметр трубы, м.

Потери напора по длине трубы можно определить по формуле:

$$h_{дл} = \frac{A}{Q^2} \quad , \quad (36)$$

где A - удельное сопротивление трубы на 1 м при расходе воды 1 м^3/с; l - длина трубопровода, м; Q - расчетный расход, м^3/с.

Величина A для новых труб может быть вычислена по формуле:

$$A = \frac{0{,}0013877}{d^{5{,}2857}}. \quad (37)$$

Вычисленные удельные сопротивления для труб некоторых диаметров приведены в табл. 6.

Таблица 6

Удельное сопротивление труб

d, мм	A	d, мм	A	d, мм	A	d, мм	A
35	41840	100	268	200	6,86	400	0,176
50	10340	125	82,4	250	2,11	450	0,094
75	1113	150	31,4	300	0,805	500	0,021

Для старых труб вычисленные значения А нужно умножить на 1,17. Местные потери определяют по формуле

$$h_м = \xi_м \frac{V^2}{2g}. \quad (38)$$

Значения коэффициента местных потерь $\xi_м$ приведены в справочниках. Вот некоторые из них:

при входе в трубу $\xi_{вх}$ без закругления кромки 0,50
при входе в трубу $\xi_{вх}$ с плавным очертанием входа.....0,05-0,10
при выходе из трубы $\xi_{вых}$ у под уровень воды.....1,0
при движении через задвижку $\xi_{задв}$ открытую:
на 3/4.....0,26
на 1/2.....2,0
на 1/4.....17,0

Общие потери напора определяют по следующим формулам:

при истечении под уровень:

$$H = \frac{\lambda l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} + \xi_M \frac{V^2}{2g}; \qquad (39)$$

при истечении в атмосферу:

$$H = \frac{\lambda l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} + \xi_M \frac{V^2}{2g} + \frac{V^2}{2g}. \qquad (40)$$

Из этих уравнений можно получать скорости движения воды в трубах:

при истечении под уровень

$$V = \sqrt{\frac{2gH}{\frac{\lambda l}{d} + \sum \xi_M}}, \qquad (41)$$

при истечении в атмосферу

$$V = \sqrt{\frac{2gH}{\frac{\lambda l}{d} + \sum \xi_M + 1}}. \qquad (42)$$

При большой длине труб местными потерями можно пренебречь, суммарно эти потери не превышают 5-10 % потерь по длине трубы.

2.5. Истечение воды из отверстий, насадков, водосливов и коротких труб

В гидротехнической практике с такими видами движения воды приходится встречаться при устройстве шлюзов, водосливов, трубопереездов, дюкеров, расчете фонтанов и пр.

Истечение воды из отверстий. Вытекающая струя может выходить в атмосферу или поступать под уровень жидкости. На выходе струи происходит ее сжатие и уменьшение живого сечения жидкости. Сжатие струи характеризуется коэффициентом сжатия ε, представляющим собой отношение сжатого живого сечения ω к площади отверстия ω_c

В идеальном случае при постоянном напоре скорость истечения воды из отверстия можно определить по формуле Торичелли, м/с:

$$V = \sqrt{2gH}\,, \qquad (43)$$

где g - ускорение свободного падения, м/с; H - напор над центром отверстия, м.

Вследствие сжатия струи происходят потеря напора и снижение скорости, поэтому необходимо ввести коэффициент скорости φ. Расход через отверстие определяют по формуле:

$$Q = V\omega = \varepsilon\,\varphi\,\varpi\sqrt{2gH}\,. \qquad (44)$$

Коэффициент сжатия и коэффициент скорости, определяющие расход, можно заменить коэффициентом расхода μ:

$$Q = \mu\ \varpi\sqrt{2gH}\,. \qquad (45)$$

Обычно коэффициенты сжатия, скорости и расхода мало меняются и их можно приближенно принять такими: ε = 0,62-0,64; φ = 0,97; μ = 0,60-0,62.

Если отверстие затоплено и истечение происходит под уровень, то в формуле (45) применяют разность уровней Z перед отверстием и за отверстием.

Истечение из насадков. Насадком называется короткая труба, присоединенная к отверстию. Насадки изменяют пропускную способность отверстий. В практике применяют насадки следующих типов (рис. 8): *а* - цилиндрические, *б* - конические (сходящиеся), *в* - расходящиеся, *г* - коноидальные. По условиям работы насадки могут быть затопленными и незатопленными.

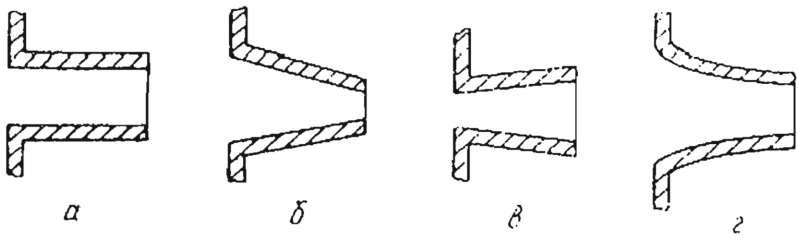


Рис. 8. Типы насадков

Применительно к рассматриваемому курсу в расчетах наиболее приемлемы цилиндрические, конические (сходящиеся) и коноидальные насадки.

Для расчета расхода воды при истечении через насадок используют формулу Торичелли. Скорость вытекания определяют по формуле (43), расход по формуле (45). Для цилиндрических насадков коэффициент расхода $\mu = 0{,}82$, для конических (сходящихся) он зависит от угла конусности δ. При углах конусности 5, 13, 45° μ составляет соответственно 0,92; 0,945; 0,857.

Коноидалъные насадки имеют большой коэффициент расхода (до 0,97-0,98) вследствие плавного закругления входа. Благодаря способности конических насадков давать сплошную струю с большой скоростью они получили широкое распространение в дождевальных устройствах, фонтанах и др.

Истечение воды через короткие трубы. Короткими называются трубы, длина которых несколько превышает длину насадков. К ним относятся трубы, укладываемые под дорогами, насыпями, часто используемые в качестве дюкеров и др.

Скорость и расход при истечении воды через короткие трубы при полном заполнении поперечного сечения определяют по формулам истечения из отверстий и насадков, но при иных коэффициентах скорости и расхода. Потери напора на трение рассчитывают по формуле (18)

Если труба состоит из нескольких различающихся по площади сечения участков, то следует учитывать все виды потерь системы.

При истечении воды через незатопленное выходное отверстие трубы расход определяют по формуле (45). Коэффициент расхода рассчитывают по формуле

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \xi_{дл} + \sum \xi_{м}}} = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \xi}}, \qquad (46)$$

где α приближенно равна 1.

При истечении под уровень воды через затопленное отверстие

$$Q = \mu \ \varpi \sqrt{2gZ}, \qquad (47)$$

где Z - разность отметок уровней воды перед трубой и за трубой;

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\sum \xi}}. \qquad (48)$$

Течение воды через водосливы. Водосливом называют установленную на пути движения водного потока преграду, через которую переливается вода. Преграда может быть сплошной или с вырезом в ней разной формы. Водосливы широко применяют в качестве подпорных плотинных устройств гидрометрических сооружений для определения расхода воды, шлюзов-регуляторов, водосбросных сооружений при плотинах и пр. Основные элементы водосливов приведены на рис.9.

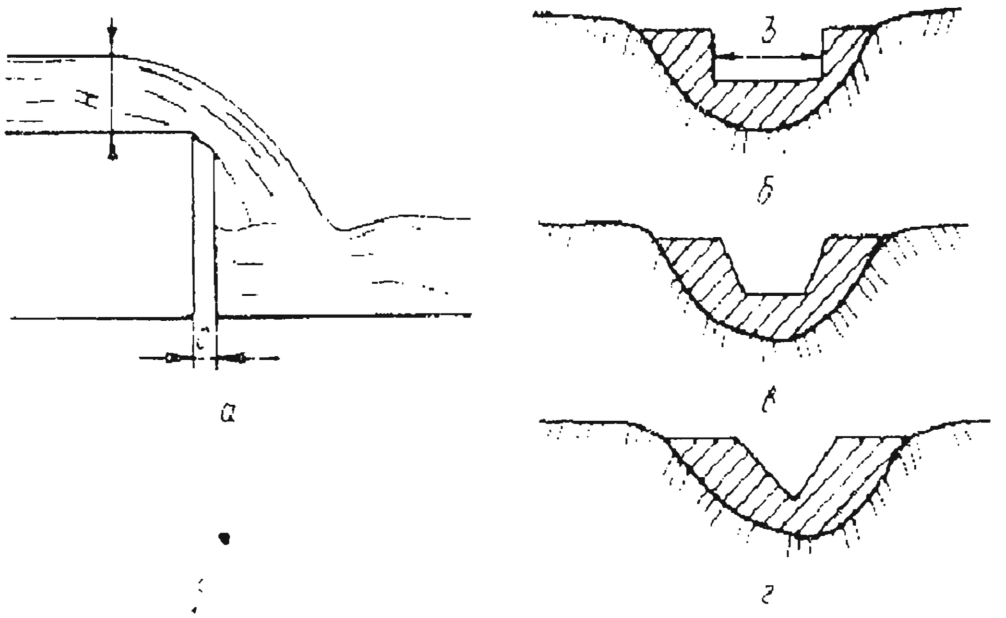


Рис. 9. Водосливы:

а – общий вид; *б* – прямоугольный; *в* - трапециедальный; *г* - треугольный

Участок водосливного сооружения, где происходит перелив воды, называется порогом водослива. Превышение уровня воды перед водосливом (в верхнем бьефе УВБ) над порогом водослива образует напор H (рис. 9, а). Напор измеряется на расстоянии трехпяти величин H от порога. Величина c характеризует толщину порога водослива.

В зависимости от формы водосливного отверстия водосливы подразделяются на прямоугольные (рис. 9, б), трапецеидальные (рис. 9, в) и треугольные (рис. 9, г). Разделяют водосливы и по толщине порога (толщине стенки). Если толщина порога составляет не более $0{,}5H$, то их относят к водосливам с тонкой стенкой, если более $2H$, то - с широким порогом.

На пропускную способность водослива влияет уровень воды ниже водослива (в нижнем бьефе). У незатопленных водосливов уровень нижнего бьефа ниже порога водослива и не влияет на расход воды через водослив. У затопленных уровень нижнего бьефа, располагающегося выше порога водослива, снижает расход.

Расход воды через водослив определяют по формуле:

$$Q = \mu_0 bH\sqrt{H}\ , \qquad (49)$$

где Q - расход воды, м^3/с; b - ширина порога, м; H - величина напора, м; μ_0- модуль расхода воды, для незатопленных водосливов, равный 1,95.

Расход воды через прямоугольный водослив с широким порогом определяют по формуле:

$$Q = m b\sqrt{2g}\ H^{3/2}, \qquad (50)$$

$$Q = 1{,}4\, bH\sqrt{H}\ , \qquad (51)$$

где m - коэффициент расхода ($\approx$ 0,38-0,39).

Расход воды через водосливы с тонкой стенкой прямоугольного ($Q_п$), трапецеидального ($Q_{тп}$) и треуголъного ($Q_{гр}$) сечений (с углом выреза 90°) определяют по формулам

$$Q_{П} = 1{,}95\, b\, H\sqrt{H}\,, \qquad (52);$$

$$Q_{П} = 1{,}86\, b\, H\sqrt{H}\,, \qquad (53);$$

$$Q_{II} = 1{,}4\ \ H^2\sqrt{H}\,. \qquad (54)$$

Контрольные вопросы. 1. Что такое гидростатическое давление? 2. Виды движения жидкости. 3. Гидравлические характеристики потока жидкости. 4. Уравнение Бернулли. 5. Чем обусловлены потери напора? 6. Формула Шези и ее практическое значение. 7. Почему при истечении воды из труб в атмосферу возникает конечный напор, а при истечении под уровень его нет? 8. Как увеличить дальность струи при истечении воды из отверстий? 9. Для чего применяются и как подразделяются водосливы?

Глава 3
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК

Важным водным объектом, изучаемым в курсе гидротехнических мелиораций, являются реки. От состояния реки может зависеть степень увлажнения территории. Высокие уровни воды в реках могут быть причиной заболачивания (намывной, некоторые виды грунтового типа водного питания). Реки часто служат водоприемниками для воды, отводимой с осушаемых территорий. Вода рек широко используется для водоснабжения и орошения. По расходам воды в реках вычисляют расчетные модули стока для определения размеров каналов осушительных систем и сооружений на них.

Речная система. Углубление на земной поверхности, по которому движется вода в направлении уклона, называется водотоком. Водоток значительных размеров, имеющий свой водосбор (как правило) и четко выраженное русло, называется рекой. Каждая река имеет исток, на крупных реках выделяют верхнее, среднее, нижнее течения и устье.

И с т о к - начало реки. Истоком могут служить ключи, озера, болота (в далеком прошлом бывшие часто озерами), ледники (в горных районах). У с т ь е - место впадения реки в другую более крупную реку, озеро, море и пр. Устье крупных рек часто заканчивается дельтой. В засушливых районах Средней Азии, Кавказа река может не иметь постоянных русла и устья и заканчиваться в песках (Терек и Терско-Кумские пески).

Г у с т о т а р е ч н о й с е т и $K_г$ определяется как отношение длины рек l на площади к этой площади F

$$K_l = l / F. \qquad (55)$$

Извилистая часть реки называется меандром. Извилистость характеризуется коэффициентом извилистости - $K_{изв}$, определяемым как отношение общей длины реки с учетом длины всех извилин l_l к длине прямой, соединяющей начало и конец извилистого участка, l:

$$K_{изв} = l_l / l. \qquad (56)$$

Извилистость реки, увеличивая длину пути текущей по реке воды, снижает расход воды. При осушении, когда в реку увеличивается приток воды с осушаемой территории, извилистость может вызвать подъем воды в реке и подтопление прилегающих земель.

Наиболее извилистыми являются молодые реки равнин, большей частью в северных районах нашей страны. Реки южных районов, где закончился процесс формирования русел рек, о чем сказано при изучении курса геологии, менее извилисты (Дон, Волга).

Место, по которому течет вода в водотоке, называется р у с л о м. Низкая часть пологого берега, заливаемая водой во время половодья или в паводок, называется п о й м о й или пойменной террасой. С течением времени русло углубляется, берег перестает затопляться и пойма превращается в надпойменную террасу. Эрозионная работа рек продолжается постоянно, поэтому в долинах крупных старых рек может быть до 10 и более надпойменных террас.

Согласно закону Бэра, реки подмывают один из берегов, спрямляют меандры, формируя широкие, относительно ровные террасы. Например, на Волге тысячелетиями подмывается правый берег, левобережье оформилось в виде низкой равнины, простирающейся от современного русла реки в восточном направлении местами на сотни километров. Грунты надпойменных террас сложены речными аллювиальными отложениями, в большей части песками. Пойменная терраса часто заболачивается, образуются относительно маломощные торфяники. При осушении их необходим особый подход, о чем будет сказано ниже.

Движение воды в реках в немалой степени определяется уклоном. Уклон i дна реки обычно выражается в виде десятичной дроби, высчитываемой как отношение отметок дна в начале и конце рассматриваемого участка (превышение или напор), отнесенной к длине участка (например 0,0039). Иногда уклон выражают в процентах (0,39%) или в промиле (3,9‰, например, $i = 0{,}0039 = 0{,}39\% = 3{,}9‰$.

Территория, с которой стекает вода в реку (или другой водоток), называется водосборной площадью, или б а с с е й н о м. Ее можно определить по горизонталям местности.

Под гидрологическим режимом понимают совокупность закономерно повторяющихся изменений состояния водного объекта (в

данном случае реки), присущих ему и отличающих его от других водных объектов. Основными характеристиками режима служат уровень, скорость и расход воды.

Поступление воды в реки обусловлено круговоротом воды в природе. Объем воды, поступающей в реки, следовательно, и объем годового стока в разные годы не одинаковы. Однако ежегодно отмечаются характерные периоды режима рек, зависящие от условий водного питания. Такое характерное состояние водного режима реки, повторяющееся в определенные сезоны, называется ф а з о й в о д н о г о р е ж и м а р е к и. Основные фазы: половодье, паводок, межень зимняя и летняя.

П о л о в о д ь е - фаза водного режима, ежегодно повторяющаяся в данных климатических условиях, в один и тот же сезон, характеризующаяся наибольшей водностью, высоким и длительным подъемом уровня воды и вызываемая снеготаянием или совместным таянием снега и ледников.

П а в о д о к - фаза водного режима, которая может многократно повторяться в различные сезоны года; характеризуется интенсивным, обычно кратковременным увеличением расходов и уровней воды и вызывается дождями или снеготаянием во время оттепелей.

М е ж е н ь - фаза водного режима, ежегодно повторяющаяся в одни и те же сезоны, характеризующаяся малой водностью, длительным стоянием низких уровней воды и возникающая вследствие сокращения водного питания реки. Водное питание обычно уменьшается летом и зимой, поэтому различают летнюю и зимнюю межень.

По времени наступления половодья и паводка выделяют реки (табл. 7): с весенним половодьем (р. Ока), с весенним и летним половодьем (р. Бия) и с летними паводками (р. Чита). Доля весеннего стока в реках увеличивается от зоны тундры до пустыни. В пустынях весь сток может приходиться на весну. В горных районах формирование стока определяется особенностями водного питания рек. Здесь наибольший сток наблюдается при таянии снега в горах. Часто в этих условиях наблюдается два типа половодий: при таянии снегов предгорий и таянии горных снегов и ледников.

По характеру распределения внутригодового стока реки делят на три основных типа: 1) реки с преобладающим весенним половодьем (большая часть климатических зон); 2) реки с весенним

Таблица 7

Распределение стока рек по сезонам

Реки	Сток, % от годового			
	весна	лето	осень	зима
Ока	68,0	14,8	8,1	9,1
Бия	48,0	37,4	10,5	4,1
Чита	31,5	63,0	5,5	0,0

половодьем и летними паводками (в предгорьях Кавказа, Карпат, в Средней Азии); 3) реки с преобладающими летними паводками (в высокогорьях и на Дальнем Востоке), часто вызываемыми муссонными дождями.

Равнинные реки в России по длине и площади водосбора подразделяются на малые, средние и большие. В литературе последних лет *[18]* дается более дробное подразделение рек: 1) самые малые длиной до 25 км; 2) малые - 26-100 км; 3) средние - 101-500 км; 4) большие - 501-1000 км. На долю самых малых рек, имеющих протяженность русла менее 10 км, приходится около 25 % водотоков.

3.1. Гидрологические посты

Гидрологические посты устраивают для проведения систематических наблюдений на реках при изучении гидрологического режима. Для целей гидромелиорации немаловажное значение имеют наблюдения за уровнями и расходами воды, проводимые на водомерных постах, являющихся составной частью гидрологических постов. Простейшие водомерные посты бывают двух видов - свайные и реечные.

С в а й н ы й водомерный пост устраивают на прямолинейном участке реки, где нет подпора воды, возникающего вследствие какого-либо препятствия, замедляющего ее течение. При устройстве поста перпендикулярно течению воды намечают створ, по которому устанавливают репер (на незатопляемой части берега) и сваи (рис. 10).

Сваи устанавливают на берегу и по дну реки на одной линии. Нумерация свай идет от репера. Их число зависит от крутизны берега и амплитуды колебания уровня воды. Превышение верха свай друг над другом должно составлять 0,6-0,8 м. Первая свая устанавливается выше максимального уровня воды на 0,3-0,5 м, последняя - на 0,5 м ниже минимального уровня.

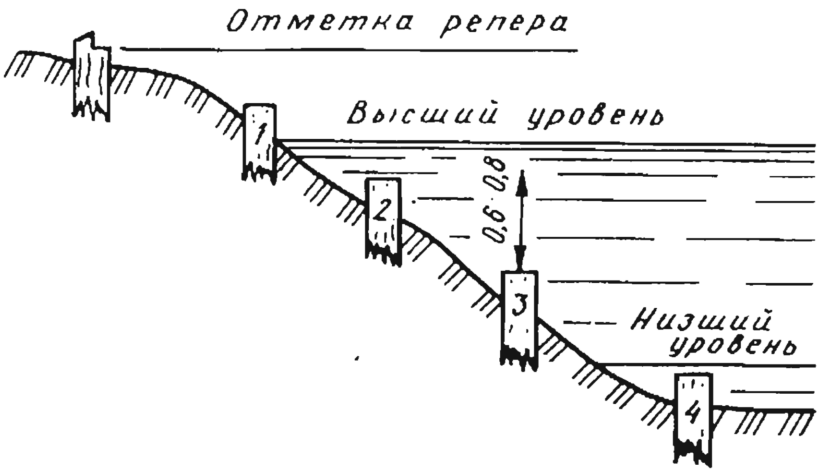


Рис. 10. Свайный водомерный пост:
1-4 – номера свай

До устройства постов положение наибольших и наименьших уровней часто выясняется опросом у местного населения.

Используют металлические сваи, серийно выпускаемые заводами, или деревянные, изготавливаемые из древесины хвойных пород (лучше из лиственницы) или твердолиственных (лучше из дуба). Диаметр сваи - 15-20 см. На верх сваи перед забивкой надевают металлическое кольцо. После забивки сваю ровно опиливают и в центре ее забивают гвоздь с широкой шляпкой, на которой при замере уровней воды устанавливают рейку. Верх свай и репер связывают нивелировкой.

Реечный водомерный пост устраивают на участках рек с устойчивыми обрывистыми берегами (при необходимости с креплением их), на набережных, опорах мостов, как правило, при относительно небольшой (до 5 м) амплитуде годового колебания уровня воды. Измерение уровней ведется по водомерной рейке, являющейся основной частью поста. Водомерные рейки бывают деревянными (из твердых пород) или металлическими. Внешне рейка несколько напоминает нивелировочную. Длина ее 2 м (при необходимости устанавливают две рейки), ширина 13 см, толщина 2,5 см. Рейка разделена на части с ценой деления 2 см, с нумерацией с правой и левой части лицевой стороны. На водомерных постах ведут ежедневные измерения уровней воды (в 8 и 20 ч).

Водомерные посты с самописцами (лимниграфами) применяют на специальных объектах наблюдения. Часто используют самопишущий водомерный пост берегового типа (рис. 11).

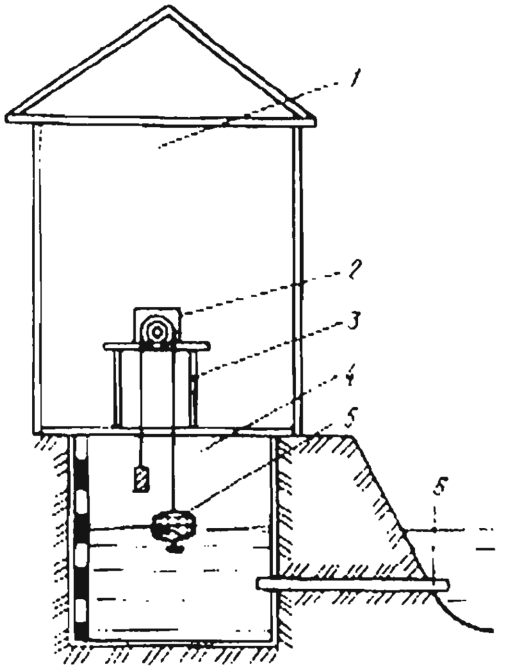


Рис. 11. Схема установки самописца берегового типа:
1 - будка; *2* - самописец; *3* - столик; *4* - колодец; *5* – поплавок; *6* - соединительная труба

Устройство при измерении уровней воды самописцами включает лимниграфическую будку *1*, колодец *4*, соединенный трубой *6* с водотоком, и самописец *2*, устанавливаемый на столике *3*. Колодец устраивают закрытым. Вода в колодце за счет соединительной трубы поддерживается на уровне водотока (реки, ручья и др.). Трубу укладывают ниже минимального горизонта воды в водотоке. Дно колодца располагают несколько глубже нижней плоскости соединительной трубы. Для предохранения от замерзания колодец закрывают плотной двойной крышкой, располагая нижнюю крышку на 0,3-0,5 м от поверхности почвы. Для регистрации уровней воды можно использовать самописцы, сконструированные Государственным гидрологическим институтом. В настоящее время применяют самописцы типа «Валдай», работающие в режиме записи уровней 12 и 24 ч, и ГР-38 длительного действия. Часовое устройство позволяет вести запись в течение 8, 16 или 32 сут.

Самописец «Валдай» (рис. 12) работает следующим образом.

Поплавок, перемещаясь при изменении уровня воды в колодце, передает через блок *6* вращение на барабан *7*, на котором крепится специальная разграфленная лента. Гиря *8* перемещает с помощью направляющего каната каретку с пером *9*. При вращении переме-

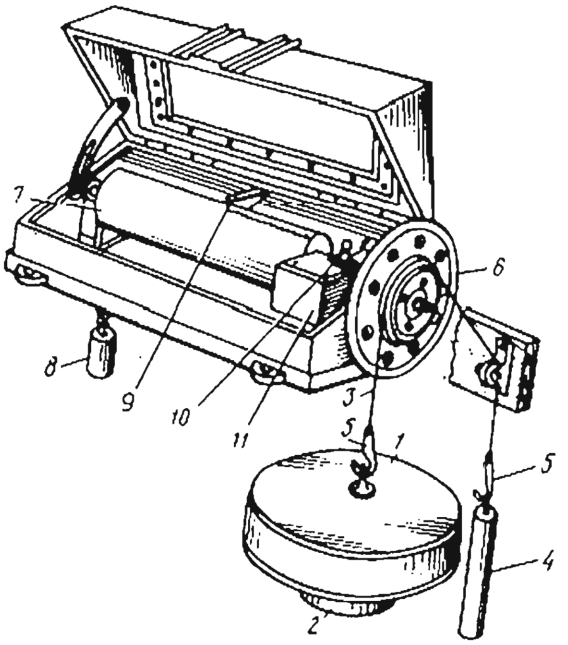


Рис. 12. Общий вид самописца «Валдай»:
1- поплавок с грузом; *2,3*- трос системы поплавок-противовес; *4*- противовес; *5*- крючья; *6*- поплавковый блок; *7*- барабан; *8*- гиря с тросом; *9*- каретка с пером; *10*- головка завода механизма часов; *11*- часовой механизм.

щаемое перо ведет запись изменения уровня воды. Сняв ленту с самописца и обработав ее, устанавливают средний уровень воды за каждый день наблюдений.

3.2. Режим уровней воды в реках

Положение уровня воды в реках имеет важное значение. При высоких уровнях воды происходит затопление пойм рек и подтопление прилегающих к рекам земель за счет подъема грунтовых вод. Уровень стояния воды в реках влияет на глубину проводящих каналов при впадении их в реки, используемые в качестве водоприемников. От глубины воды зависят возможности передвижения по ним различных судов и грузов.

Уровни воды в реках (рис. 13) сильно меняются как в течение года, так и в годы с разным количеством осадков. На равнинных реках наиболее высокие уровни наблюдаются весной в период половодий, реки предгорий характеризуются двумя максимумами уровней: в периоды весенних половодий и летних паводков (см. выше).

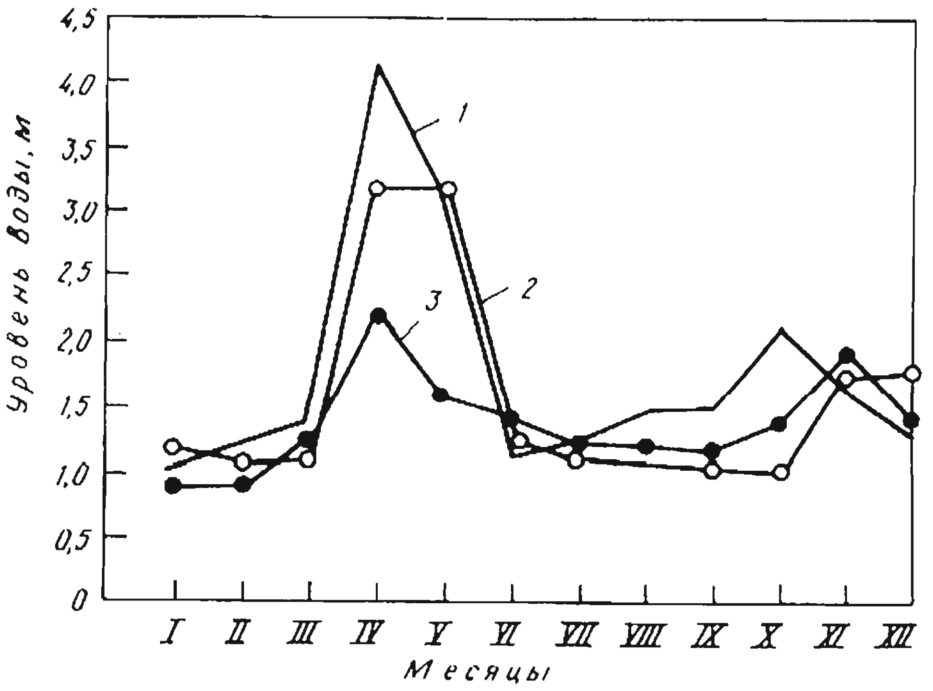


Рис. 13. График колебания уровня воды в р. Тосно:
1 - 1965 г.; *2* - 1969 г.; *3* - 1973 г.

Как отмечено выше, наблюдения за уровнями воды ведутся на водомерных постах. По результатам наблюдений составляют таблицы ежедневных уровней, по которым можно построить хронологический график изменения уровня воды в реке. Для удобства использования на практике материалов наблюдений за уровнями воды их обрабатывают, строя графики частоты и обеспеченности (рис. 14) как для любых отдельных периодов года, так и для года в целом.

Для построения графиков уровень воды в реке от нижнего до верхнего пределов разбивают на 10-15 интервалов. Измеренные в течение анализируемого периода уровни группируют по этим интервалам.

По отложенному на миллиметровке числу дней стояния горизонтов в пределах интервалов строят график частоты. Горизонт, на котором вода в водотоке находится наиболее часто, называется горизонтом бытовых вод (ГБВ). Суммируя количество дней стояния уровней в пределах каждого интервала от верхних уровней к нижним, выявляют общее количество дней стояния воды выше того или иного уровня. Отмечая эти величины на графике по нижним грани

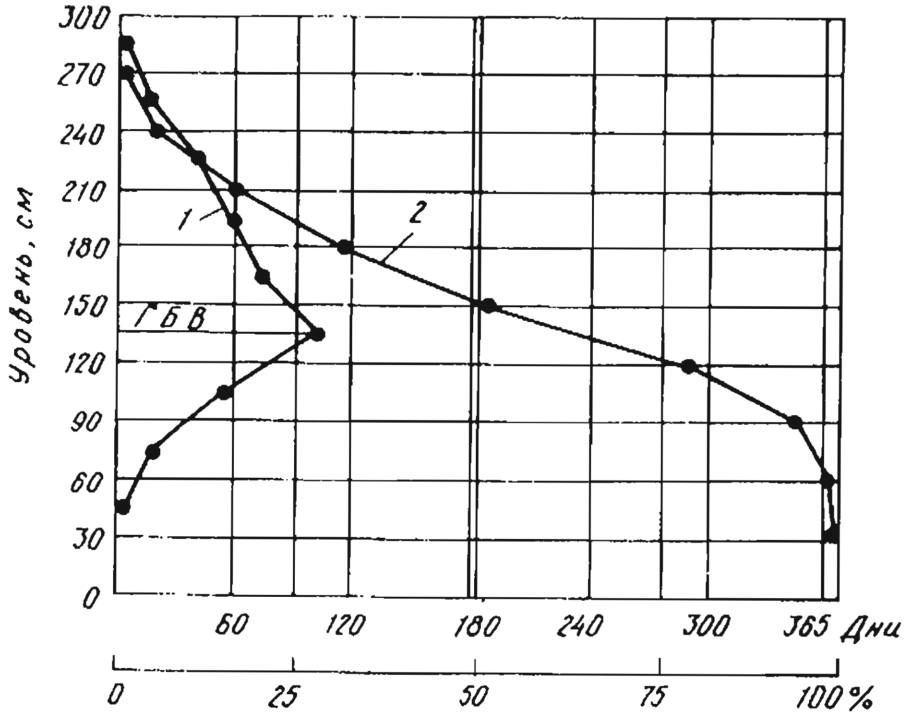


Рис. 14. Графики частоты (*1*) и обеспеченности (*2*) уровня воды

цам интервалов, получают график обеспеченности стояния горизонтов. Обеспеченность показывает, с какой вероятностью данный уровень может быть превышен более высоким уровнем.

3.3. Режим расходов воды в реках

Расходом называется объем воды Q, проходящий в единицу времени через данное живое сечение потока ω (рис. 17):

$$Q = v\,\omega. \tag{57}$$

Для определения расхода воды надо знать скорость течения и живое сечение потока. Скорость течения воды можно вычислить по формуле Шези (28):

$$Q = \omega\, c\sqrt{R\,i} \quad . \tag{58}$$

Существует множество экспериментальных методов измерения скоростей, из них наибольшее распространение получил способ поплавков и гидрометрических вертушек.

Определение скорости движения воды поплавками. Для этого на прямом участке реки выбирают место, где нет подпора воды. При наличии подпора протяженность его l вычисляют по формуле

$$l = \frac{h_1 - h_2}{i} \quad , \tag{59}$$

где h_1 и h_2 - глубина воды в реке в начале и конце подпора; i - уклон дна реки.

На выбранном участке реки закладывают три поперечника (створа) - верхний B, средний C и нижний H (рис. 15). Расстояние между створами устанавливают, в зависимости от наибольшей скорости, с таким расчетом, чтобы время прохождения поплавка между верхним и нижним створом было не менее 20 с. Для пуска поплавков выше верхнего створа на расстоянии $0{,}2L$ намечают пусковой створ $П$.

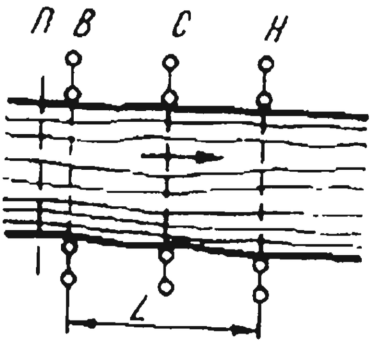


Рис. 15. Схема разбивки створов

Положение створов закрепляют вешками, устанавливаемыми на берегах реки и урезах воды. На маленьких речках между вешками, установленными возле урезов воды, натягивают канат (шпагат). Момент прохождения поплавков через створы фиксируют с помощью геодезических инструментов (теодолита, мензулы), а на малых водотоках - визуально по канату, натянутому поперек реки. Для измерения скорости движения воды применяют или поверхностные, или глубинные, или двойные поплавки. Наибольшее распространение получили поверхностные поплавки: отрезки ствола дерева определенных размеров (рис.16).

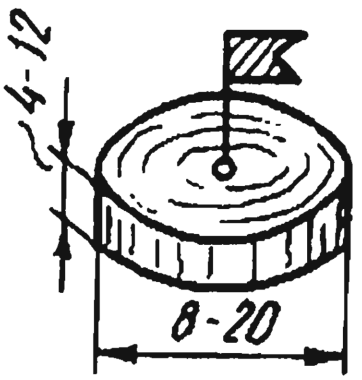


Рис. 16. Поплавок

В центре поплавка для лучшей видимости можно установить флажок. Поплавки запускают несколько выше пускового створа на средине потока. Время прохождения поплавком пути от верхнего до нижнего створов определяют по секундомеру.

Число поплавков в зависимости от ширины реки колеблется от 8 до 15, но пускают их раздельно. Зная время прохождения расстояния между крайними створами, определяют поверхностную скорость, м/с:

$$V_{пов} = L / t . \qquad (60)$$

Средняя поверхностная скорость $V_{с.п.}$ определяется как среднеарифметическая по сумме скоростей:

$$V_{СП} = \frac{\sum V_{ПОВ}}{n} , \qquad (61)$$

где n - число поплавков.

Упрощенно поверхностную скорость можно определить по двум поплавкам, прошедшим расстояние между крайними створами наиболее быстро.

Переход от средней поверхностной к средней скорости потока по живому сечению реки можно определить по формуле

$$V_{ср} = K V_{сп} . \qquad (62)$$

Значение коэффициента K зависит от уровня воды, шероховатости русла, уклона дна:

$$K = \frac{C}{C + 14}, \qquad (63)$$

где C - скоростной коэффициент формулы Шези.

Для вычисления расходов по формуле (57) определяют площади живых сечений и смоченные периметры на каждом створе. Для этого через определенные расстояния (0,1-1,0 м и более) производят промер глубин. Чем уже река и больше колебания в глубинах, тем чаще необходимо промерять глубины, тем меньше устанавливают расстояние между промерами.

Площадь живого сечения каждого створа определяют как площадь элементарных геометрических фигур - трапеций, треугольников (рис. 17). Смоченный периметр вычисляют как сумму гипотенуз треугольников ($c_1 + c_2 + ... + c_n$). Средние значения живого сечения и смоченного периметра определяют по формулам:

$$\omega_{ср} = \frac{\omega_в + 2\omega_с + \omega_н}{4} \quad ; \qquad (64)$$

$$\chi_{ср} = \frac{\chi_в + 2\chi_с + \chi_н}{4} \quad ; \qquad (65)$$

где ω и χ - живое сечение и смоченный периметр верхнего (*в*), среднего (*с*) и нижнего (*н*) створов.

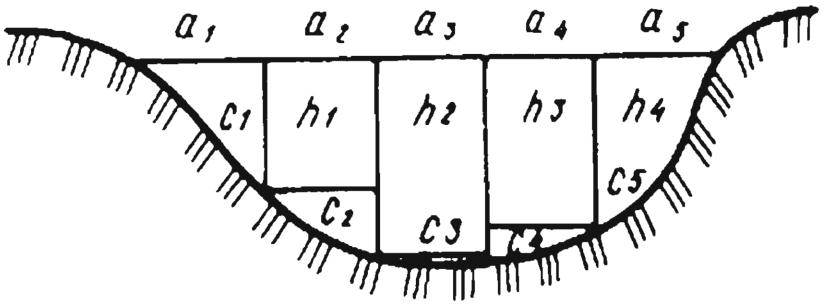


Рис. 17. Схема промера живого сечения реки

Определение скорости движения воды в водотоке гидрометрическими вертушками. Гидрометрическая вертушка позволяет определить скорость течения более точно, чем поплавки. В настоящее время пользуются вертушкой Н.Е. Жестовского (рис. 18).

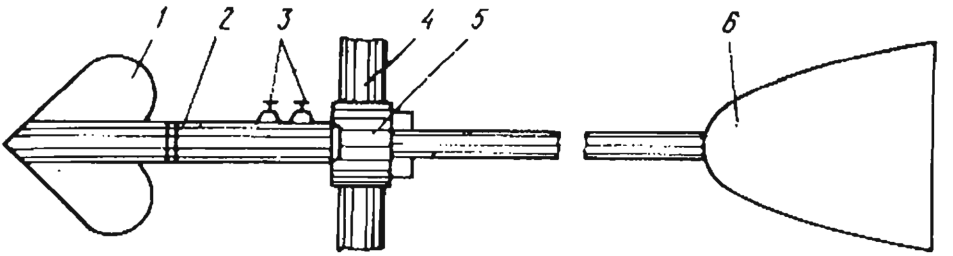


Рис. 18. Общий вид гидрометрической вертушки:
1 - лопастной винт; *2* - корпус; *3* - клеммы звонка; *4* - штанга; *5* - втулка; *6* - хвостовое оперение

Скорость движения воды определяют по частоте вращения лопастного винта, которую учитывают с помощью электрического тока, подводимого от батарей через клеммы. Вертушка погружается в воду на требуемые глубины, перемещаясь по штанге. Скорость вращения лопастного винта фиксируется с помощью звонка. Одно замыкание электрической сигнальной цепи соответствует 20 оборотам винта. Скорость вычисляет после тарировки вертушки по специальным графикам или таблицам, в которых приводится скорость в зависимости от частоты вращения лопастного винта.

Расход воды в небольших водотоках, осушительных и оросительных каналах можно определить при помощи гидрометрических водосливов (гл. 2.5).

Расход воды в реке или ином водотоке находится в зависимости от уровня воды, увеличиваясь по мере повышения уровня. Имея измеренные расходы воды в реке при разных уровнях воды, можно построить кривую расходов (рис. 19). Кривую строят в прямоугольной системе координат, откладывая по оси ординат

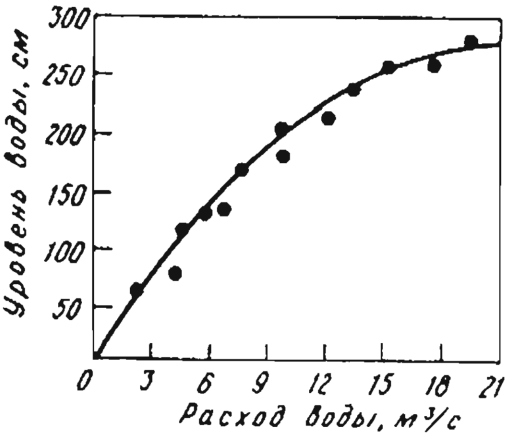


Рис. 19. Кривая расходов

уровни воды над нулем графика (H, см), по оси абсцисс - расход воды (Q, м^3/с).

Кривая расходов позволяет быстро определять расходы воды в реках непосредственно по измеряемому уровню воды.

3.4. Обработка наблюдений за расходами воды

Расходы воды в реках, постоянно изменяющиеся в течение года (рис. 20) и по годам, используют для определения расчетных модулей стока по фактическим наблюдениям, вычисления величины твердого стока, планирования водохозяйственных мероприятий.

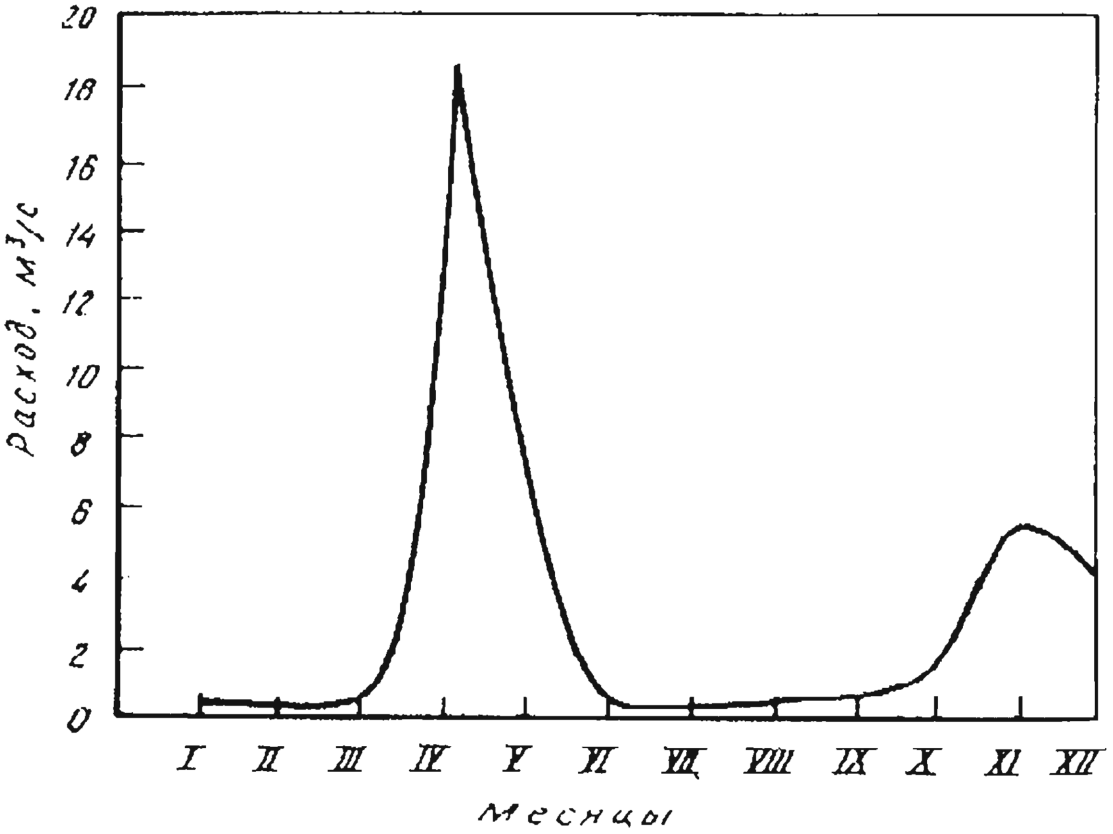


Рис. 20. Гидрограф стока р. Тосно (1980 г.)

Построение кривой обеспеченности расходов. При проектировании осушительных систем для определения размеров проводящих каналов, расчета диаметров труб, ширины отверстий водосбросных сооружений, пролетов мостов и других целей вследствие большой изменчивости расходов необходимо знать их обеспеченность (веро-

ятность превышения). Обеспеченность определенного значения расхода, модуля или уровня показывает вероятность появления и превышения данных величин и вычисляется в процентах (от 100 %), Например, с вероятностью 100 % можно утверждать, что в непересыхающих водотоках будет постоянно наблюдаться движение воды, но с очень малой вероятностью возможен катастрофически большой расход (или уровень). Обеспеченность наглядно характеризуется теоретической кривой обеспеченности (рис. 21).

Вследствие большой изменчивости расходов для построения кривой обеспеченности необходимо иметь достаточно продолжительный ряд наблюдений. Вполне достоверный результат можно получить при использовании только длительных, не менее 30-50 лет, наблюдений. Однако в практике гидрологических расчетов, особенно при проектировании осушения лесных земель в удаленных районах, не всегда есть возможность вести длительные наблюдения, приходится ограничиваться краткими 15-20-летними наблюдениями.

Построению кривой обеспеченности предшествует обработка результатов наблюдений. В табл. 8 приведена обработка 15-летних наблюдений за расходами воды в р. Тигода. В основу обработки положены методы математической статистики.

По расходам разных лет Q по мере убывания их величины (графа 3) определяем среднеарифметическую величину расхода Q (среднее значение):

$$\overline{Q} = \Sigma Q_i / N . \qquad (66)$$

Зная среднее значение расхода, вычисляем модульный коэффициент (графа 4), который определяется отношением величины расхода каждого из членов ряда наблюдений Q_i к среднему значению:

$$K = Q_i / \overline{Q} . \qquad (67)$$

Проведя вычисления (графы 5 и 6), находим коэффициент вариации по формуле

$$C_v = \sqrt{\frac{(K-1)^2}{N}} , \qquad (68)$$

Таблица 8

Вычисление параметров кривой обеспеченности средних годовых расходов (р. Тигода; F = 58 900 га)

№ п/п	Год	Расход, $м^3/с$	K	$K - 1$	$(K - 1)^2$	Обеспеченность, %
1	2	3	4	5	6	7
1	1966	6,00	1,57	0,57	0,324	4,5
2	1978	4,88	1,28	0,28	0,078	11,0
3	1974	4,84	1,27	0,27	0,073	17,5
4	1968	4,82	1,26	0,26	0,068	24,0
5	1971	4,62	1,21	0,21	0,044	30,5
6	1977	4,31	1,13	0,13	0,017	37,0
7	1969	4,13	1,08	0,08	0,006	43,5
8	1970	4,07	1,07	0,07	0,005	50,0
9	1967	3,52	0,92	-0,08	0,006	56,5
10	1976	3,47	0,91	-0,09	0,008	63,0
11	1975	3,33	0,87	-0,13	0,017	69,5
12	1965	2,89	0,76	-0,24	0,058	75,8
13	1972	2,48	0,65	-0,35	0,122	82,5
14	1964	2,44	0,64	-0,36	0,130	89,0
15	1973	1,39	0,36	-0,64	0,409	95,4

где K - модульный коэффициент; N - число лет наблюдений. В нашем примере

$$C_v = \sqrt{\frac{1{,}365}{15}} = 0{,}30 \quad .$$

Кривая обеспеченности обычно асимметрична относительно среднего значения, ее характеризует коэффициент асимметрии C_s. При небольших коэффициентах вариации коэффициент асимметрии принимается равным удвоенному коэффициенту вариации:

$$C_s = 2C_v \quad . \qquad (69)$$

Коэффициент асимметрии, вычисленный по формуле (69), для данных табл. 8 оказывается равным 0,60.

По данным табл. 8 можно вычислить эмпирическую обеспеченность каждого члена ряда по формуле Н.Н.Чегодаева:

$$P_{\%} = \frac{m - 0{,}3}{N + 0{,}4} 100 , \qquad (70)$$

где m - порядковый номер члена ряда в ранжированном ряду; N - общее число членов ряда.

Вычисления обеспеченности членов ряда приведены в графе 7 табл. 8.

Для построения теоретической кривой обеспеченности ведут вычисления по форме табл. 9. Ординаты кривой обеспеченности вычисляют по формуле

$$Q_{p\%} = (\Phi_{p\%} C_v + 1) , \qquad (71)$$

где $Q_{p\%}$ - расход воды данной обеспеченности; $\Phi_{p\%}$ - отклонения ординат кривой Пирсона III типа от середины для соответствующего коэффициента асимметрии C_s - (принимается по таблице прил. 3); C_v - коэффициент вариации; Q - средний расход.

Таблица 9

Вычисление обеспеченности среднегодовых расходов (р. Тигода, C_v = 0,30, C_s = 0,60)

Расчетные величины	Обеспеченность, %									
	1	3	5	10	25	50	75	90	95	0,97
Φ	2,75	2,12	1,80	1,33	0,61	-0,10	-0,72	-1,20	-1,45	-1,61
ΦC_v	0,82	0,71	0,54	0,44	0,18	0,03	0,22	0,36	-0,43	-0,48
$\Phi C_v + 1$	1,82	1.71	1,54	1,44	1,18	0,97	0,78	0,64	0,57	0,52
$(\Phi C_v + 1)M_0 = Q_{p\%}$	6,93	6,51	5,82	5,48	4,50	3,70	2,97	2,44	2,17	1,98

В табл. 9 приведено вычисление обеспеченности среднегодовых расходов р. Тигода. Площадь водосбора реки 58 900 га. С учетом коэффициента асимметрии по таблице прил. 3 находят отклонения ординат Φ, вводят поправку с учетом коэффициента вариации и по формуле (71) вычисляют расход воды для соответствующей обеспеченности. По данным табл. 9 строят теоретическую кривую обеспеченности (рис. 21). Для построения кривой по оси ординат откладывают расходы (м^3/с), по оси абсцисс - обеспеченность $P_{\%}$. Для

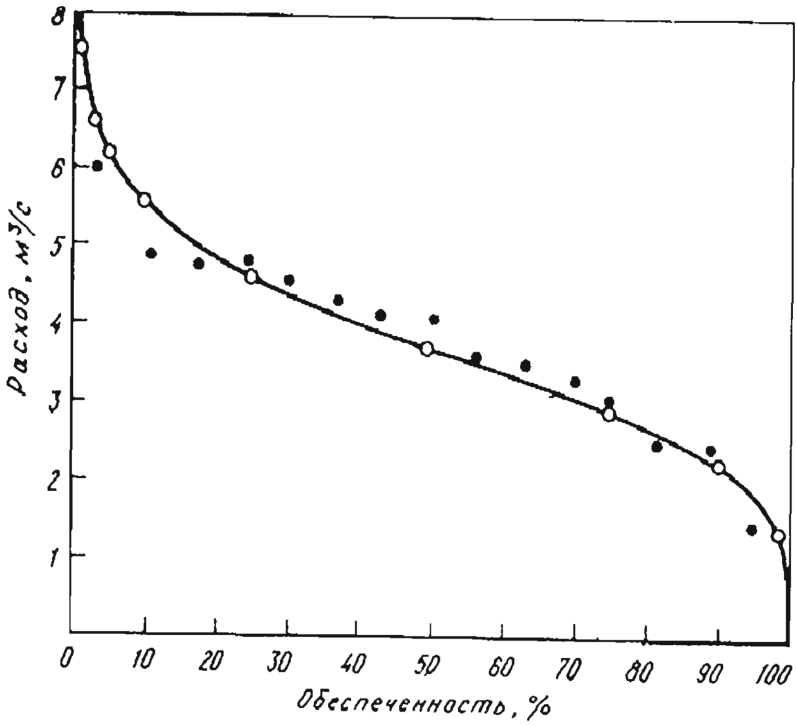


Рис. 21. Теоретическая кривая обеспеченности:

• эмпирические данные; ° расчетные значения

сравнения данных на этом же графике по табл. 8 откладывают расходы (графа 3) соответствующей обеспеченности (графа 7).

Построенная таким образом теоретическая кривая обеспеченности сглаживает эмпирические данные и позволяет определять величины для малых и больших значений обеспеченности за пределами экспериментального ряда.

3.5. Твердый сток

Стекающая по земной поверхности вода разрушает ее. Различают два вида деятельности поверхностных вод: смывание и размывание. При движении в руслах вода вызывает разрушение (размыв) берегов. Продукты смыва и размыва попадают в реки, образуя наносы. Наносы имеют большое экологическое влияние и промышленное значение. Они изменяют профиль дна и глубину рек в разных местах, влияют на жизнь водоемов и на рыбное хозяйство, воздействуют на работу гидроэлектростанций, на формирование дельты и пр.

Наносы могут быть взвешенными и влекомыми. В з в е ш е н н ы е наносы переносятся водой во взвешенном состоянии, в л е к о м ы е - перемещаются по дну без подъема и в основном служат материалом для формирования отложений в руслах.

Твердый сток в основном определяется величиной взвешенных наносов. Степень насыщенности воды наносами (твердыми частицами) называют м у т н о с т ь ю в о д ы . Мутность измеряется весом наносов в определенном объеме воды (г/м^3, мг/л). В реках России мутность изменяется от нескольких граммов до десятков килограммов в 1 м^3 воды. Средняя мутность р. Невы - 5 г/м^3, р. Аму-Дарьи - 2,4 кг/м^3, рек Кавказа - 10-15 кг/м^3. Мутность рек в течение года изменяется, наименьшая мутность наблюдается в зимнее время, наибольшая - в период половодий и паводков, а в горах - в период интенсивного таяния ледников.

Приборы, с помощью которых определяют мутность воды, называют батометрами, имеют форму бутылок различного типа (можно использовать и обычные бутылки). Поскольку мутность воды различна по глубине и ширине реки, то пробы нужно отбирать в различных точках живого сечения потока.

Вычисление стока взвешенных наносов производится по мутности воды и расходам. Среднесуточные расходы определяют по формуле:

$$R_{ср} = 0{,}001\rho Q, \qquad (72)$$

где $R_{ср}$ - среднесуточный расход взвешенных наносов; ρ - средняя мутность воды за сутки, г/м^3; Q - среднесуточный расход воды, м^3/с.

Если мутность воды определяли в течение года (или периода года), то, имея данные по расходам воды (гидрограф стока, рис. 20), можно узнать общий расход твердого стока за год или любой период года.

Контрольные вопросы. 1. Что такое гидрологический режим рек? 2. Фазы водного режима рек. 5. Как устроены свайные и реечные водомерные посты? 4. Можно ли и каким образом обеспечить постоянную регистрацию уровней воды в реках, каналах? 5. Какие графики характеризуют режим уровней воды в реках? 6. Как определяется скорость движения воды в реках? 7. Как определить расход воды в реке? 8. Что такое обеспеченность? 9. Для чего необходима теоретическая кривая обеспеченности? 10. Что такое твердый сток?

Глава 4
ПОЧВЕННЫЕ И ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ

Вода в почвогрунтах может находиться в твердом, жидком и парообразном состоянии. Основы классификации видов воды в почве были предложены А.Ф.Лебедевым *[13]*. Почвенная влага детально изучена А.А.Роде *[26]*. Существенным качеством почвы и почвогрунта является пористость (порозность), характеризующая суммарный объем всех пор в единице объема грунта:

$$\sigma = V_1 / V_2 , \qquad (73)$$

где σ - порозность; V_1 - объем всех пор в единице грунта; V_2 - общий объем единицы грунта.

Размер пор колеблется от долей микрона до 2-5 см. Величина пористости выражается в процентах от общего объема почвы и может варьировать от 30-35 % в глинах до 90-98 % в крупнозернистых песках и торфах. Почвенная вода заполняет поры почвы, находясь в них в парообразном или жидком состоянии.

4.1. Виды воды в почве

Влага в почве подразделяется на парообразную, связную и свободную.

Парообразная влага заполняет свободные пустоты (поры) грунта в форме пара, передвигаясь из областей с повышенной упругостью в места с более низкой.

Связная влага подразделяется на гигроскопическую и пленочную. Гигроскопическая влага накапливается в почве за счет сорбционных сил почвенных частиц и удерживается молекулярными силами. Содержание гигроскопической влаги зависит от количества парообразной влаги в воздухе. Высший предел гигроскопической влаги, сорбированной почвой, соответствует максимальной гигроскопичности. Пленочная вода, удерживаемая молекулярными силами почвенных частиц и воды, может увеличиваться до максимальной молекулярной влагоемкости. Передвижение такой воды возможно только путем перетекания от частиц почвы с толстыми пленками влаги к части-

цам с тонкими пленками. Перемещение влаги идет очень медленно без участия силы тяжести.

Свободная влага удерживается в почве за счет сорбционных сил и капиллярных свойств почв или грунтов. Она подразделяется на стыковую, капиллярно-подвешенную и капиллярно-подпертую. Максимальное содержание капиллярно-подвешенной влаги в почве соответствует полевой влагоемкости (наименьшей влагоемкости). Под полевой влагоемкостью понимают способность почвы удерживать в капиллярах максимально возможное количество воды без стекания вниз. Передвижение воды в таком состоянии возможно только при увеличении увлажнения, проявляясь путем увеличения слоя промачивания. Свободной фильтрации воды нет. Максимально возможное содержание воды в почвогрунтах, когда происходит полное заполнение всех пор влагой, определяет понятие полная влагоемкость. Вода, заполняющая поры почвы и передвигающаяся под влиянием сил тяжести, называется гравитационной. При полном насыщении водой почвогрунтов, когда заполнены все поры, движение воды происходит вследствие гидродинамического давления. Гравитационную воду часто называют грунтовой водой. Движение грунтовой (или гравитационной) воды в пористой среде называется фильтрацией, измеряемой скоростью и количеством расхода воды, протекающей в единицу времени через единицу площади, выделенную в пористой среде. Закономерности движения жидкости в пористой среде установлены в середине прошлого века французским инженером Дарси.

4.2. Закон Дарси

В пористой среде, каковой является почва, фильтрующаяся вода вследствие вязкости испытывает большое сопротивление. Движение воды может происходить только при наличии определенного уклона, изменяющегося в зависимости от водно-физических свойств почв и, прежде всего, пористости грунта.

Рассмотрим такой опыт. Соединим два цилиндра трубкой. Трубку длиной l (рис. 22) заполним песком, удерживая его от размыва на концах трубки сеткой. Затем заполним водой левое колено. При поступлении фильтрующейся воды из левого в правое колено она образует напор h_2, меньший напора h_1 в левом колене.

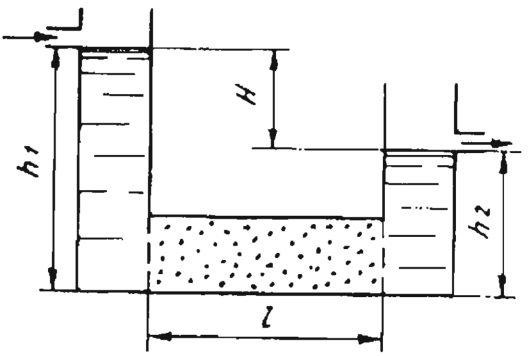


Рис. 22. Схема опыта по проверке закона Дарси

Гидравлический уклон i принимается равным отношению разности напоров $h_1 - h_1 = H$ к длине пути фильтрации l. Скорость фильтрации можно определить по формуле

$$V = K\frac{h_1 - h_2}{l} = K\frac{H}{l}. \qquad (74)$$

Для многих грунтов (песка, глины, торфяных почв и т.д.), где происходит ламинарное движение воды, скорость фильтрации очень мала и гидравлический уклон равен пьезометрическому. Наблюдается линейная зависимость скорости фильтрации от пьезометрического уклона:

$$V = K\,i\,, \qquad (75)$$

где K - коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом фильтрации; он равен скорости фильтрации при уклоне, равном единице.

Равенство (75), установленное в 1856 г. французским гидротехником Дарси, называется законом Дарси.

В гидравлике величину i, определяющую уменьшение полной энергии потока на единицу длины, называют гидравлическим уклоном, или градиентом напора, определяя ее как отношение потерь напора $\Delta h = h_1 - h_2$ к пути Δl. В грунтах и почвах, где вода содержится в молекулярно связанном состоянии, явление фильтрации возникает лишь тогда, когда величина градиента напора превышает некоторое значение i_0, называемое начальным градиентом. В этом случае

$$V = K\,(i - i_0). \qquad (76)$$

Для очень плотных глин i_0 = 20-30.

В порах крупнозернистых грунтов (гравий, галька, щебень и др.) скорость фильтрации может быть очень большой и не зависеть от пористости; в таком случае вода движется как в открытом потоке и ее движение не подчиняется закону Дарси, что является верхней границей применения уравнения Дарси.

К грунтовой следует относить гравитационную воду, движение которой в почве подчиняется закону Дарси независимо от глубины залегания в почве или грунте. Существующие в почвоведении понятия «верховодка», «почвенная вода», «грунтовая вода» - суть разновидности грунтовой воды.

4.3. Методы определения коэффициента фильтрации

Для определения скорости фильтрации грунтовых вод, как видно из уравнения (75), необходимо знать коэффициент фильтрации и пьезометрический или гидравлический уклон грунтового потока. Существуют лабораторные и полевые методы определения коэффициента фильтрации. В лабораторных условиях коэффициент фильтрации для песков можно определять по механическому составу грунта, для торфов используют монолиты, взятые с ненарушенным строением грунта *[10]*.

В практике гидромелиоративных исследований и изысканий для определения коэффициентов фильтрации воды применяют полевые методы. Наибольшее распространение получили метод восстановления воды в скважине после откачки, применяемый в условиях высокого стояния грунтовых вод, и метод инфильтрации при низких уровнях грунтовых вод (способ Болдырева).

Метод восстановления воды в скважине после откачки сводится к следующему. На выбранном участке тарелочным буром диаметром 10-20 см делают скважины на глубину слоя грунта, для которого необходимо определить коэффициент фильтрации. Количество скважин зависит от целей и степени точности исследований. Скважины следует устраивать при высоком стоянии грунтовых вод. Если есть необходимость раздельного определения коэффициентов фильтрации на разных глубинах и изучения их изменения в зависимости от глубины, то следует определять коэффициенты весной при высоком положении грунтовых вод и летом, когда грунтовые воды несколько понизятся.

После устройства скважины и прекращения подъема уровня воды в ней (т.е. когда уровень займет положение, характеризующее уровень грунтовых вод) начинают измерения. Измеряют следующие величины (рис. 23): глубину стояния воды от поверхности h, глубину скважины T, глубину воды в скважине H, диаметр скважины d. Затем воду из скважины вычерпывают металлической банкой на длинной ручке. Диаметр банки должен быть на 3-4 см меньше диаметра скважины.

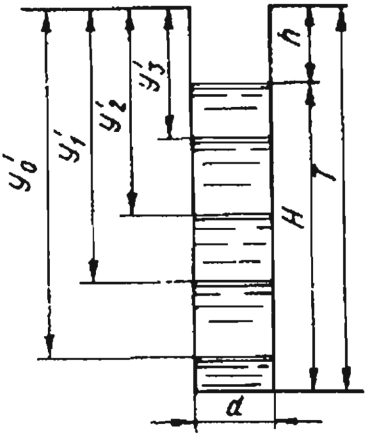


Рис. 23. Изменение подъема воды в скважине

После откачки воды тотчас же измеряют расстояние y_1 и отмечают время замера. Измеренные уровни и время записывают в специальную ведомость. Пока уровень не займет первоначальное (до откачки) положение, производят не менее шести-семи замеров. Записи ведут в специальных бланках (прил. 4).

Из полученных величин $y_0', y_1', \ldots. y_n'$ вычитают глубину грунтовых вод h: $y_0 = y_0' - h$, $y_1 = y_1' - h$, $y_2' = y_2' - h$, ..., $y_n = y_n' - h$. Величину y_0, делят последовательно на вычисленные $y_0, y_1 \ldots, y_n$. Для полученных частных определяют логарифмы и величины этих логарифмов делят на время в секундах между измерениями y_0 и y_1; y_0 и $y_2, \ldots..$, y_0 и y_n, вычисляя условные тангенсы:

$$\mathrm{tg}\alpha_1 = \frac{\lg \frac{y_0}{y_1}}{t_1}; \quad \mathrm{tg}\alpha_2 = \frac{\lg \frac{y_0}{y_2}}{t_2}; \quad \mathrm{tg}\alpha_3 = \frac{\lg \frac{y_0}{y_3}}{t_3} \quad \text{и т.д., (77)}$$

затем находят средний тангенс.

Среднее значение тангенса можно определить графически (рис. 24), если точки на графике располагаются примерно по прямой линии. Для построения графика по оси ординат откладывают значения логарифмов, вычисленные по отношению, приведенному в числителе формулы (77), по оси абсцисс - время в секундах для каждого измерения величины y, прошедшее с момента откачки.

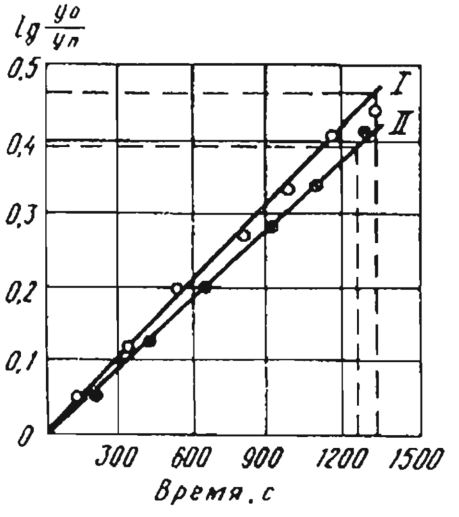


Рис. 24. Определение тангенса при расчете коэффициентов фильтрации

Для вычисления коэффициента фильтрации имеется несколько формул. Чаще пользуются формулой Доната-Писарькова:

$$K = 32{,}6 \frac{r^2}{H} \operatorname{tg}\alpha g\,, \qquad (78)$$

где K - коэффициент фильтрации, см/с; r - радиус скважин, см; H - глубина воды в скважине ($H = T - h$); $\operatorname{tg}\alpha$ - условный тангенс (средний).

Откачку и измерения по каждой скважине повторяют дважды. По полученным данным вычисляют средний коэффициент фильтрации.

Метод инфильтрации (способ Болдырева) применяют в условиях глубокого залегания грунтовых вод.

На выбранном месте устраивают скважину диаметром не менее 0,2 м. Вместо скважины можно устроить шурф размером 0,2 х 0,2 м. При определении фильтрации в глубоких горизонтах сначала нужно выполнить почвенный разрез на необходимую глубину, а на дне

устроить шурф или скважину для измерения коэффициента фильтрации. На дно скважины насыпают слой мелкого гравия (около 2 см) и устанавливают колышек высотой 5-10 см. В скважину наливают воду, слой которой должен несколько превышать размер колышка. Вода фильтруется через дно скважины и стенки до высоты колышка. Как только уровень воды снизится до верха колышка, в скважину доливают 0,5 или 1,0 л воды. Время долива воды записывают в специальные ведомости. Поскольку исследования ведутся на участках с низким уровнем грунтовых вод, где обычно почва сухая, то одновременно с фильтрацией идет впитывание воды почвой. В этот период уровень воды в скважине понижается быстро. При насыщении почвы водой расход ее снижается. Исследования продолжаются до тех пор, пока фильтрационный расход не стабилизируется. Коэффициент фильтрации вычисляют по формуле

$$K = Q / F, \tag{79}$$

где K – коэффициент фильтрации, см/с; Q – установившийся расход воды, см^3/с; F – площадь поверхности скважины, через которую идет фильтрация воды, см^2.

Средний коэффициент фильтрации для значительного участка осушенных земель можно определить на основе формулы Роте по модулям стока:

$$L = 2H\sqrt{\frac{q}{K}}, \tag{80}$$

где L - расстояние между каналами, м; H - величина напора, м (гл. 5); q - модуль стока л/с с 1 га.

$$K = \frac{qL^2}{40H^2} \quad [\text{см/с}] \quad . \tag{81}$$

Некоторое представление о коэффициентах фильтрации грунтов (см/с) дают следующие данные:

песок чистый 1,0-0,01
супесь 0,005-0,003
глина 0,0005-0,000005
торф осоковый слаборазложившийся 0,006-0,002
торф среднеразложившийся 0,0008-0,0002
торф сфагновый слабо разложившийся 0,008-0,0002
торф сфагновый хорошо разложившийся 0,002-0,0001

Коэффициент фильтрации не является постоянным. На минеральных грунтах он уменьшается с глубиной в несколько десятков раз, оказываясь высоким в верхних органогенных горизонтах. На торфяных почвах фильтрация зависит от степени увлажнения. На осушенных землях при одинаковой степени разложения торфа с глубиной коэффициент фильтрации изменяется мало. Осушение, вызывая осадку, уплотнение и разложение торфа, уменьшает коэффициент фильтрации. При использовании осушенных земель под сельскохозяйственные культуры увеличивается коэффициент фильтрации в пахотном горизонте. Отмечается увеличение коэффициентов фильтрации в корнеобитаемой зоне и при выращивании высокопродуктивных древостоев на осушенных землях, поскольку здесь формируется слой лесной подстилки из опада растений и вследствие рыхлящей деятельности корней растений.

Контрольные вопросы. 1. Что такое гравитационная вода в почве? Ее влияние на почву и растение. 2. Что такое фильтрация, что ее определяет? 3. В чем сущность закона Дарси? 4. Что такое коэффициент фильтрации? 5. Как определить коэффициент фильтрации при высоком и низком (глубоком) стоянии грунтовых вод? 6. Изменяется ли водопроницаемость грунта после осушения и освоения болот?

Раздел II

ОСУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ

Глава 5
ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫЙ ФОНД

5.1. Требования растений к водно-воздушному режиму почв

Известно, что растения на 70-85 % состоят из воды. Степень насыщенности водой тканей растений имеет важное значение для их жизнедеятельности. Почти все физиологические процессы в растениях протекают при наличии воды, поэтому обеспеченность растений водой является обязательным условием для нормального обмена веществ. Вода входит в состав протоплазмы, участвует в фотосинтезе, служит растворителем для минеральных солей газов, поступающих в растения и перемещающихся в них. Проникающая через корни путем десукции вода в основном испаряется в процессе транспирации, небольшое ее количество используется при обмене веществ, обеспечивая развитие и рост растений. Важность воды очевидна, однако нормальная жизнедеятельность растений возможна только при соблюдении правильного соотношения между подачей воды корнями в процессе десукции и расходованием ее надземными частями в процессе транспирации. Это условие выполнимо при оптимальной увлажненности почвы. Исследования показывают, что нормальная увлажненность наблюдается тогда, когда примерно 2/3 почвенных пор занято водой, а 1/3 заполнена воздухом. Такое состояние возникает при увлажненности на уровне полевой влагоемкости.

Содержание воздуха в почве можно определить по формуле:

$$V = P - \alpha r, \qquad (82)$$

где V - количество воздуха, % от объема почвы; P - порозность почвы, % от ее объема; α - объемная масса почвы; r - весовая влажность, % к массе сухой почвы.

При малом содержании воздуха ухудшается аэрация, в почве возрастает концентрация CO_2 и уменьшается содержание O_2, что

приводит к нарушению аэробного дыхания и появлению гликолиза. Продукты гликолиза ингибируют рост корней.

Аэрация почвы оценивается диффузией газов, являющейся основным фактором аэрации. Иногда ошибочно аэрацией называют содержание воздуха в почве. Диффузия зависит от объема пор, свободных от воды. Поэтому содержание воздуха в почве является показателем аэрации, но не ее синонимом. Для обеспечения нормальной аэрации необходимо устранить избыток влаги в целях освобождения необходимого количества пор от воды. По исследованиям Н.П.Поясова *[22]*, диффузия в темно-каштановых почвах по мере уменьшения порозности почвы уменьшалась и практически прекращалась, когда содержание воздуха в почве снижалось до 12% общей порозности. В условиях переувлажнения почв значительную часть времени летом и постоянно весной и осенью почва почти полностью лишена воздуха. Высоким концентрациям CO_2 способствует и интенсивная минерализация органического вещества в верхних слоях почвы выше уровней грунтовых вод.

Отрицательное влияние избытка влаги на растения проявляется не только в уменьшении содержания воздуха в почве и ухудшении аэрации, но и непосредственно в виде подтопления корневых систем. Наши исследования показали, что грунтовые воды торфяных почв почти постоянно полностью лишены кислорода.

Содержание кислорода в грунтовых водах болот, мг/л

На глубине, см:	Май	Июнь	Июль
10	0,7	0,6	0
25	0,1	0,2	0
50	0	0	0

Роль кислорода, растворенного в воде, показана в работах А.Я. Орлова *[19]*, которыми доказано, что при подтоплении водами с содержанием кислорода менее 1-2 мг/л на протяжении более 4-5 дней происходит отмирание корней. В переувлажненных почвах ухудшается режим питания. По данным А.В. Хотяновича *[34]*, ассимиляция азота корнями при недостаточной аэрации резко снижается. В условиях избытка влаги и плохой аэрации отмечалось замедленное поступление фосфора. При недостаточной аэрации происходят изменения и в самой почве - накапливаются соединения закисного железа и сульфидов, токсичных для растений, активизируются процессы глееобразования. При больших

концентрациях закисного железа образуются фосфатные соли железа, фосфор которых практически недоступен для растений.

При подъемах уровней воды в реках в периоды весенних половодий или летне-осенних паводков может наблюдаться затопление участков леса. Жизнедеятельность растений, подвергнувшихся затоплению, зависит от его длительности и физиологического состояния деревьев в период затопления. Менее отрицательны последствия при затоплении леса до периода вегетации. Наблюдения при подъеме воды в р. Тосно и затоплении участков леса в период с 15 апреля по 10 мая не выявили отрицательной реакции сосны, березы и осины. В.И. Рубцов, проведя исследования устойчивости к затоплению лиственных пород в парке Петродворца, установил, что при весеннем затоплении, длившемся до конца мая, деревья не гибнут. При продолжении затопления до половины июня отмечено отмирание дуба, ясеня, клена, липы, ильмовых. По данным Союзгипролесхоза, древесные растения от наименее устойчивых к более устойчивым располагаются в следующий ряд: ель сибирская, пихта сибирская, сосна обыкновенная, ива остролистная, осина, береза пушистая, ольха серая, ива двуцветная, ива русская, ива трехтычинковая.

Осушение земель, достигаемое понижением почвенно-грунтовых вод, ликвидирует затопление, увеличивает аэрационную порозность почвы и запасы воздуха в ней. Однако осушение лесных земель предполагает освобождение от гравитационной воды только корнеобитаемой зоны почвы. Подтопление различных горизонтов почвы возможно и после осушения. Длительность подтопления корнеобитаемой зоны болот, осушенных каналами, проведенными через 130 м при глубине их около 1 м, приведена в табл. 10.

Таблица 10

Продолжительность подтопления зоны аэрации за май-сентябрь, сут.

Тип болота	Глубина от поверхности почвы, см									
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Переходное	9	21	32	42	60	75	86	108	121	133
Верховое	21	39	93	118	136	145	152	153	153	153

Известно, что наиболее высоко грунтовые воды располагаются весной, поэтому подтопление верхних горизонтов почвы отмечается прежде всего в мае. На верховом болоте подтопление верхнего 5-сантиметрового слоя частично отмечалось и в сентябре. В остальные месяцы (июнь-август) грунтовые воды на верховом болоте располагались ниже глубины 10 см, на переходном - ниже 15-20 см.

Слой почвы выше уровня грунтовых вод содержит почвенный воздух, состав которого (табл. 11) по сравнению с атмосферным воздухом характеризуется повышенным содержанием CO_2 при уменьшении концентрации кислорода.

Таблица 11

Содержание CO_2 и O_2 в воздухе осушенного переходного торфяника

Газ	Май		Июнь		Июль		Август		Среднее	
	Глубина, см									
	10	30	10	30	10	30	10	30	10	30
CO_2	0,39	5,5	0,32	6,7	0,44	7,8	0,31	7,5	0,38	7,1
O_2	20,28	6,5	20,32	4,5	20,21	7,2	20,16	6,1	20,24	6,3
$CO_2 + O_2$	20,67	12,0	20,64	11,2	20,65	15,0	20,47	13,6	20,62	13,4

Известно, что для нормального роста растений нежелательно повышение концентрации CO_2 в ризосфере корней свыше 2 %. Поскольку концентрация CO_2 в почве возрастает по мере ее прогревания и усиления микробиологических процессов, в мае его количество увеличивается при уменьшении O_2 (рис. 25).

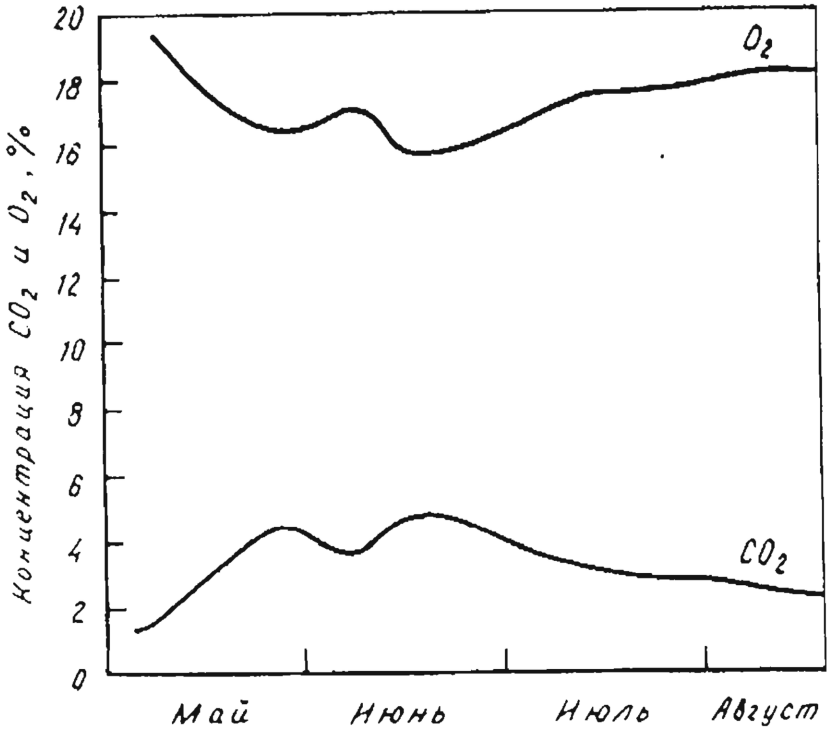


Рис. 25. Изменение концентрации CO_2 и O_2 в воздухе осушенной торфяной почвы

При снижении уровней грунтовых вод летом происходит уменьшение влагозапасов почвы, ведущих к увеличению запасов воздуха и улучшению аэрации, поэтому концентрация CO_2 снижается. Приведенные данные показывают, что состав почвенного воздуха после осушения в слое почвы 0-10 см, где располагается основная масса корней, вполне благоприятен для роста растений.

5.2. Заболачивание суши и образование болот

Заболачивание суши и формирование избыточно увлажненных земель происходит в том случае, когда приходная часть водного баланса превышает расходную. Приходная часть баланса может быть разного типа.

Типы водного питания. Под типом водного питания понимается комплекс природных факторов, которые характеризуют условия поступления воды на участки суши, определяют химический состав воды и формируют водный режим объекта. При определении типа водного питания из большого разнообразия участвующих в формировании водного режима факторов можно выделить главный, определяющий увлажнение территории. По нему определяют следующие основные типы водного питания: атмосферный, грунтовый, грунтово-напорный, намывной, смешанный (рис. 26).

А т м о с ф е р н ы й тип водного питания наблюдается на участках, расположенных на водоразделах и в верхних частях склонов. В таких условиях на слабоводопроницаемых грунтах при наличии понижений образуются заболоченные земли и формируются болота за счет атмосферных осадков. Грунтовые воды, как правило, не участвуют в заболачивании. Поскольку атмосферные осадки в своем составе содержат мало зольных питательных веществ, то на водоразделах можно ожидать образования бедных верховых болот (рис. 26, болото 1).

Г р у н т о в ы й тип водного питания отмечается на пониженных элементах рельефа, в замкнутых понижениях и в условиях притока (подъема) фильтрационных вод из рек и водохранилищ. Заболачивание наблюдается в следующих случаях:

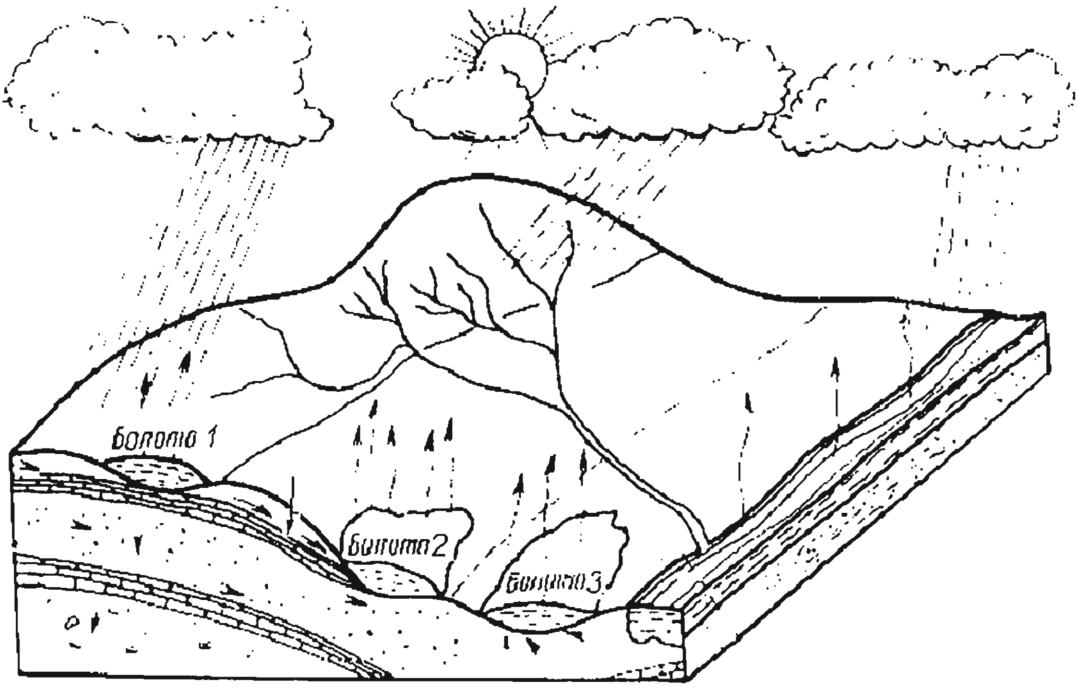


Рис. 26. Схема заболачивания при разных типах водного питания

а) на пониженных элементах рельефа с малым уклоном на слабоводопроницаемых или песчаных и супесчаных почвах, подстилаемых водоупором, когда грунтовые воды, стекающие с верхних частей водосбора, создают избыток влаги в понижениях и нижних частях склонов; фильтрующиеся воды за счет вымывания минеральных веществ из пород, в которых они сформируются и перемещаются, обычно обогащены питательными веществами; на землях с таким водным питанием, как правило, образуются низинные или переходные болота (рис. 26, болото 2);

б) в условиях замкнутых понижений, с хорошо водопроницаемыми грунтами, подстилаемыми водоупором, где вода, стекающая с водосбора и выпадающая непосредственно при атмосферных осадках, создает переувлажнение почв; в таких условиях идет интенсивное заболачивание с образованием преимущественно низинных и частично богатых переходных болот со значительной мощностью торфа. Наиболее крупные болотные массивы такого типа сформировались на послеледниковых зандровых полях Полесья и Мещерской низменности (рис.26, болото 3);

в) при высоком положении уровней грунтовых вод в реках и водохранилищах за счет инфильтрации воды на прилегающих

землях может происходить подъем грунтовых вод не только вблизи, но и на значительных удалениях от рек и водохранилищ. Это приводит к развитию процессов заболачивания вначале на пониженных элементах рельефа, а затем и на значительной или на всей территории в зоне подпора. Примером такого заболачивания является прогрессирующий процесс образования болот в зоне Рыбинского водохранилища; например, в Весьегонском лесхозе Тверской губернии встречаются болота, образовавшиеся в понижениях рельефа среди сосняков лишайниковых.

Грунтово-напорный тип водного питания обычно встречается в нижних частях склонов, часто в долинах рек, когда напорный водоносный горизонт, подводящий воду, располагается между слабоводопроницаемыми или водоупорными слоями. Уровень напорных вод может располагаться как в верхних почвенных горизонтах, так и выше поверхности земли. Например, по исследованиям П.П. Залитиса *[8]*, заболачивание значительной части территории Латвии происходит за счет притока напорных вод с вышерасположенных по геодезическим отметкам районов Литвы и Беларуси. В условиях грунтово-напорного питания обычно образуются низинные болота.

Заболачивание при грунтово-напорном типе водного питания происходит в следующих случаях:

- в местах разгрузки грунтовых вод, когда они выходят (выклиниваются) на поверхность, образуя ряд озер, расположенных цепочкой, часто соединенных протоками, или ряд заболоченных участков;
- в местах подъема по капиллярам, без выхода на поверхность грунтовых вод; заболачивание в таких случаях усиливается выпадающими осадками.

Намывной тип водного питания вызывается регулярным поступлением на пониженные участки долин или пойменных террас рек аллювиальных или делювиальных вод. Заболачивание происходит в следующих случаях:

а) когда речные воды поступают в период весенних половодий или летне-осенних паводков вследствие подъема уровней рек (или озер), затопляя пониженные участки; в таких условиях образуются богатые низинные пойменные болота, обычно с небольшой мощностью торфа;

б) когда выпадающие осадки не успевают фильтроваться вглубь и стекают по склонам в виде делювиальных потоков (заболачивание делювиальными водами начинается с пониженных частей склонов); в таких условиях чаще образуются переходные, а иногда и верховые болота.

С м е ш а н н ы й тип водного питания наблюдается в случаях совместного действия нескольких из названных выше типов.

Заболачивание и образование болот может происходить в различных местах, где имеются понижение рельефа или участки пологих склонов, подпитываемых грунтовыми водами. Отмечается заболачивание речных пойм, мелководных водохранилищ. Заболачивание может проходить в несколько стадий и заканчиваться образованием болота или длительное время оставаться на определенных стадиях переувлажнения без накопления торфа и образования болот.

Заболачивание и болотообразование может наблюдаться в условиях всех типов водного питания. Болота могут образовываться как на суше, так и на месте озер путем их зарастания.

Заболоченные земли по продолжительности наличия избытка влаги подразделяются на временно или постоянно избыточно увлажненные.

В р е м е н н о и з б ы т о ч н о у в л а ж н е н н ы е земли испытывают переувлажнение, как правило, всегда весной после снеготаяния. Иногда избыток влаги отмечается и осенью. Летом ее избыток наблюдается крайне редко, обычно в многоводные годы. Поскольку на таких участках нет постоянного избытка влаги, то в таких условиях нет моховой растительности, нет достаточного опада и травяной растительности, не образуется торфяный горизонт, а следовательно, не происходит и заболачивания.

П о с т о я н н о и з б ы т о ч н о у в л а ж н е н н ы е земли – переувлажненные в течение всего года. Гигрофитная растительность здесь представлена в значительной степени различного вида сфагновыми мхами, кукушкиным льном по кочкам, осоками. При ее отмирании в условиях избытка влаги вследствие недостаточной аэрации разложение опада происходит медленно, и при этом формируется торфяный горизонт. По величине мощности торфа постоянно избыточно увлажненные земли подразделяются на з а б о л о ч е н н ы е и б о л о т а . К заболоченным относятся участки

суши с глубиной торфяного горизонта не более 0,3 м. Участки с глубиной торфа более 0,3 м относят к болотам. Болота в зависимости от характера (типа) водного питания относят к верховому или низинному типу. Если основная часть влаги на участок поступает в виде осадков, то в таких условиях формируются бедные верховые болота. Если влага поступает путем фильтрации через грунт, то формируются богатые низинные болота. Низинные болота с течением времени могут за счет нарастания торфа трансформироваться в переходные и верховые.

5.3. Виды заболачивания

З а б о л а ч и в а н и е л е с о в происходит при определенных условиях. Например, на тяжелых почвах в Лисино в нижних частях пологих склонов Х. А. Писарьков отмечал заболачивание с понижением класса бонитета с I-II в верхней части склона до IV класса в нижней. Обычно в таких условиях процесс заболачивания, как правило, не приводит к образованию болота, если на заболачиваемой территории сохраняется древостой. При вырубке леса или лесном пожаре в таких условиях процесс заболачивания может вызвать образование болота.

Заболачивание может вызвать или способствовать ему подзолообразовательный процесс. По исследованиям А. А. Роде в Лисино, на тяжелых почвах, сформировавшихся на ленточных глинах в результате подзолообразования, происходит выщелачивание верхних горизонтов с выносом вниз мелких фракций. В образовавшемся подзолистом пористом влагоемком горизонте накапливается верховодка. Капиллярный расход влаги в крупных порах почв в связи с малым подъемом влаги к поверхности небольшой, невелик и грунтовый сток в подстилающих глинах. Вследствие устойчивого избытка влаги появляется влаголюбивая растительность, а в дальнейшем - и сфагновые мхи. Образуется оторфованный горизонт, и происходит заболачивание. По-видимому, таким путем образовалось болото Суланда в Лисинском учебно-опытном лесхозе. Может наблюдаться заболачивание лесов и при подъеме грунтовых вод вблизи крупных водохранилищ с песчаными почвами. При создании Рыбинского водохранилища, расположенного в значительной части на

территории песчаных водно-ледниковых отложений, грунтовые воды в прилегающих лесах поднялись к поверхности, местами вышли на поверхность, что и привело к образованию болот.

Заболачивание лесосек (вырубок). Процесс заболачивания вырубок подробно изучен и изложен в монографии А. Л. Кащеева *[12]*. Известно, что древостой на кронах задерживает до 30-40 % осадков. В летние периоды, при осадках невысокой интенсивности, кроны могут задерживать большую часть атмосферной влаги. Величина зимних осадков (мощность снежного покрова) в лесу на 20-30 % меньше, чем на безлесных участках. Древостой, задерживая осадки, значительно больше, чем безлесные участки, расходует влагу на суммарное испарение за счет транспирации. Поэтому при вырубке древостоя увеличивается поступление влаги на поверхность почвы, а суммарное испарение уменьшается. Кроме того, при вывозке леса с лесосеки происходит разрушение напочвенного покрова и лесной подстилки, образуются углубления и понижения. Все это способствует увеличению и накоплению влаги в понижениях. Появляется гигрофитная растительность – осоки, кукушкин лен, сфагновые мхи. Начинается заболачивание вырубки. Однако обычно на вырубках с течением времени появляется вначале кустарниковая, а затем и древесная растительность, которая задерживает влагу на кронах и усиливает транспирацию. Происходит разболачивание лесосек. В большинстве случаев при небольшой ширине лесосек и соблюдении при рубке сроков примыкания болота на вырубках не образуются. При больших площадях рубок на концентрированных лесосеках (вырубках) возможно образование болот.

Заболачивание горельников. Схема заболачивания горельников близка к заболачиванию лесосек. Заболачивание происходит вследствие нарушения составляющих водного баланса. После сгорания леса увеличивается поступление влаги на поверхность почвы и снижается ее расход на суммарное испарение. Поскольку площадь сгоревших лесов может быть значительной, то возможность образования болот здесь очень велика. Например, в Лисинском учебно-опытном лесхозе в 1826 г. площадь сгоревшего леса в I отделении Лисинской дачи составила 3553 га. В результате образовалось Хейновское болото, составившее вместе с примыкающими заболоченными землями площадь около 2000 га.

Заболачивание речных пойм и стариц. Как отмечалось выше, поймой называется ежегодно затапливаемая половодьем часть речной долины. Весенние воды приносят в пойму большое количество взвешенных веществ, богатых органикой. Поэтому исстари пойменные луга считались наиболее продуктивными. В случаях с широкими поймами при малых их уклонах долго застаивающаяся вода намывного питания приводит к появлению вначале гигрофитной растительности (таволга вязолистная, рогоз, лютик кашубский, осока и др.). Растительный опад, образующийся в большом количестве, совместно с илистыми отложениями реки создает богатый торфяник низинного типа. В дальнейшем с появлением сфагновых мхов в этих условиях может сформироваться и переходное болото.

Заболачивание может происходить в зоне разгрузки грунтовых вод в местах выхода ключей в нижней части пологих склонов. В таких случаях образуются присклоновые (висячие) болота.

Нарушение режима стока. В настоящее время в болотообразовании приобретает значение антропогенный фактор. При строительстве дорог, прокладке трубопроводов и различного рода кабелей нарушается естественное движение грунтовых вод. Изменяется сложившийся веками режим грунтового стока. Поэтому нередко при движении по шоссе можно наблюдать усыхание древостоя с той стороны дороги, где грунтовые воды поднялись, и некоторое улучшении роста с противоположной стороны, где произошло некоторое понижение их уровня. В результате такого воздействия образуются тысячи гектаров заболоченных земель.

Зарастание водоемов. Образование болот часто происходит на местах бывших озер путем их заторфовывания *[32]*. В северной части европейской территории России озера довольно молодые, в большей части послеледникового происхождения. В таких озерах в начальном периоде не было признаков животной и растительной жизни. Однако в процессе их изменения формировались осадочные отложения за счет привноса минеральных веществ ручьями, речками, ветровой эрозией, а также смыва почвенных частиц с поверхности дождями или вследствие абразии берегов. При этом в озера поступало определенное количество извести в виде двууглекислого кальция – $Ca(HCO_3)_2$. Нередко образовывался на

дне слой озерного мергеля, «вскипающего» при действии на него соляной кислоты. Такие озерные отложения сохраняются недолго. В озерах появляется органическая жизнь, вначале в виде свободно взвешенных мелких растительных и животных организмов. Среди водорослей встречаются, прежде всего, сине-зеленые. Представители животных – различные мелкие ракообразные. Большую роль играют планктонные растительные остатки, образующие при разложении вещество, называемое сапропелем. Наличие сапропелевых отложений в торфе болота указывает на формирование болота на месте озера.

Одновременно с развитием планктона и накоплением сапропеля происходит развитие прибрежной водной растительности: при глубине не более 1 м появляются осоки, ситник, стрелолист, водяная гречиха, рдест. Далее идет зона камышей и тростников. Обычно в этих зонах встречаются и плавающие растения – ряска, пузырчатка, телорез с острозубчатыми листьями на поверхности воды. В зоне растительности постоянно идет отложение и накопление растительных остатков. На дне и в мелководной зоне вместе с сапропелем при участии кислорода идет формирование торфяного слоя, вначале сапропелевого с большим количеством гуминовых кислот, а в дальнейшем и торфа.

В более глубокой камышовой зоне при большой массе растительного опада идет формирование настоящего растительного торфа (рис. 27). Со временем в мелководной зоне образуется осоковый

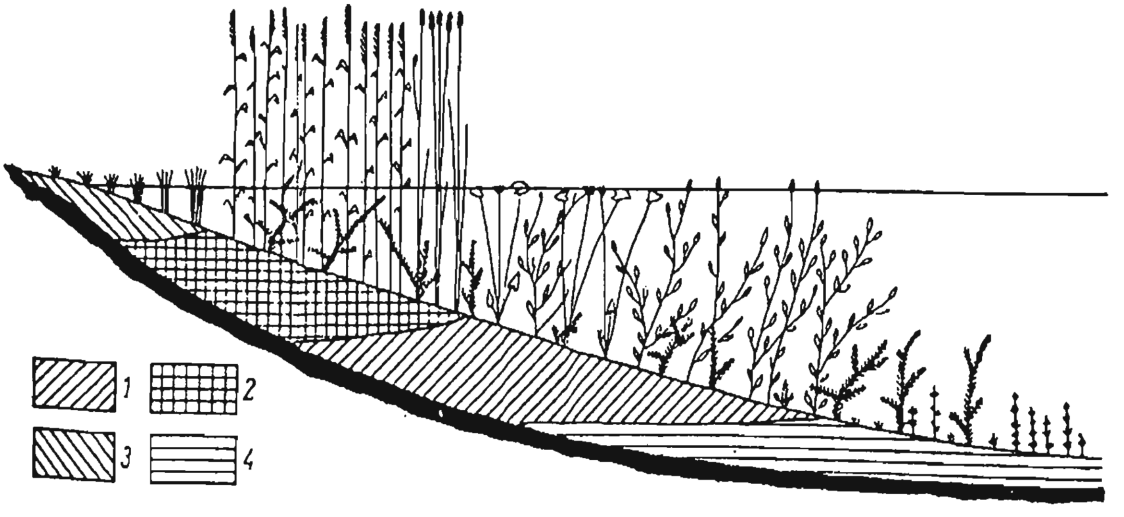


Рис. 27. Схема зарастания озера

Торф: *1* – сапропелевый; *2* – тростниковый и камышовый; *3* – осоковый; *4* – сапропелит

торф, в глубоководной – камышовый или тростниковый. Водоем мелеет, дно поднимается и с годами полностью зарастает (заторфовывается).

Оказывают влияние на заполнение водоемов торфом и неукореняющиеся растения, особенно на участках, где нет ветра и волн. Вначале появляются трифоль, сабельник, белокрыльник с мощными корневищами, которые, переплетаясь, образуют плавающую растительность – сплавину.

Здесь в дальнейшем появляются и другие растения - осоки, вех, водяной лютик и др. Опад растений заполняет промежутки между корневищами. Образуется своеобразный «почвенный» горизонт в виде плотного плавающего ковра из различных растений (рис. 28). Со временем появляется моховая растительность, представленная мхами *Callergon* и *Drepanocladus* или сфагновыми и осоками. Образуется моховое и осоковое болото. Формирование торфа происходит со дна, где идет накопление сапропеля, илов (мутты). С течением времени весь водоем, заторфовываясь, превращается в болото.

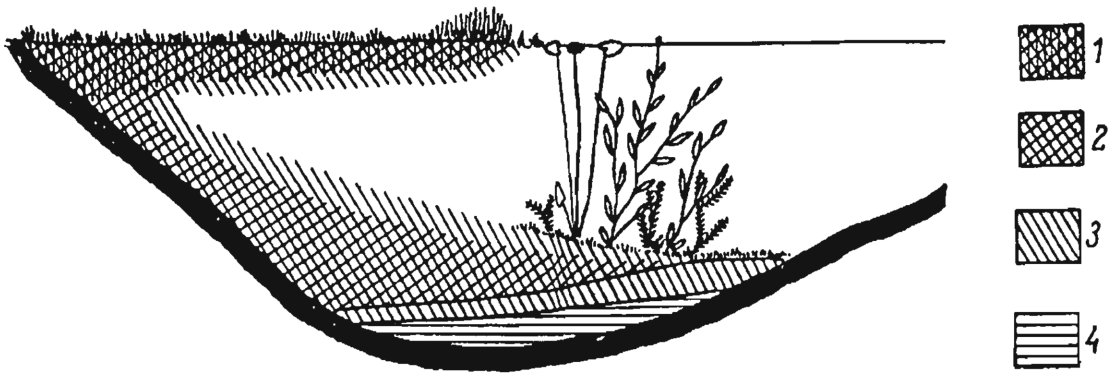


Рис. 28. Схема нарастания сплавины на озеро:
1 – торф сплавины, *2* – ил (мутта), *3* – сапропелевый торф, *4* – сапропелит

Образовавшиеся болота со временем меняются. Первоначально возникшее на месте озера болото, как правило, богато питательными веществами. Это низинное, или евтрофное болото. Здесь достаточно азота, обычно с грунтовыми водами идет поступление и минеральных веществ (фосфора, калия). Тип водного питания вначале грунтовый. Появившаяся гигрофитная болотная растительность вызывает нарастание торфа и рост болота в высоту. Интен-

сивность роста торфяника в значительной степени зависит от вида растительности и скорости разложения растительного опада. По данным М.П.Елпатьевского, сфагновые мхи могут прирастать в высоту до 5-7 см в год. Однако торфонакопление идет медленнее. В верхних горизонтах мощность торфа может увеличиваться до 2-3 см в год. В зоне болот умеренного климата, где условия заболачивания и торфонакопления оптимальны, прирост торфяной залежи в нижних придонных слоях не превышает 1 мм в год.

Прирост болота в высоту постепенно изменяет характер водного питания. Если в начальном периоде при зарастании озер формируются болота низинного типа, где преобладает поступление воды снизу, то со временем по мере нарастания торфа поверхность болота поднимается относительно уровня грунтовых вод. Верхний слой болота, обладая крупными порами и большой пористостью, затрудняет подъем грунтовых вод к поверхности. Водный режим в значительной степени начинают определять атмосферные осадки, и низинный тип залежи постепенно переходит в верховой, при этом на промежуточном этапе длительное время низинная залежь сменяется на переходную (мезотрофную). При дальнейшем развитии болотообразовательного процесса на месте низинного болота может сформироваться верховое (олиготрофное) болото.

В различных условиях формирования не всегда верховые болота образуются на месте низинных, проходя через стадию переходных болот. На суходольных местах в понижениях, особенно на бедных песчаных почвах, сразу начинает формироваться верховое болото. Образующиеся в поймах рек, особенно в условиях намывного водного питания, болота длительное время могут оставаться в низинной или переходной стадии.

Рост болот происходит не только в высоту. Они «растут» и в горизонтальном направлении, заболачивая прилегающие земли. Интенсивность роста в сторону в значительной степени определяется уклоном и рельефом местности.

Исследования показали, что когда болото полностью заполняет впадину и его поверхность поднимается выше прилегающих территорий, иногда достигая нескольких метров, начинается заболачивание окружающих земель. По данным Н.И. Пьявченко, в Карелии в период интенсивного болотообразовательного процесса ежегодно возникало до 7 тыс. га болот. В настоящее время площадь

болот в лесном фонде России составляет около 130 млн. га *[35]*, и увеличение этой площади продолжается.

Рост болота в высоту можно определить по природным индикаторам – росянке или дереву сосны. Росянка каждый год образует одну пару листьев. Между этими парами годичный прирост. Со временем побег оседает в торфяный слой. Аккуратно откопав побег до определенной глубины и измерив глубину, где заканчивается побег, подсчитав число «мутовок» листьев, определяют возраст. Сопоставив возраст и глубину, находят прирост болота в высоту. Можно определить рост болота и по сосне. Всходы сосны появляются на поверхности болота, с ростом дерева растет и болото. Корневая шейка, оставаясь на бывшей поверхности болота, оказывается ниже фиксируемой поверхности болота в настоящее время. Измерив расстояние от поверхности болота до корневой шейки и сопоставив это расстояние с возрастом сосны, определяемым по годичным кольцам, находят рост болота в высоту.

По сосне же можно определить и рост болота в сторону. Сосна, росшая вблизи болота, при его наступлении оказавшаяся в болотных «объятиях», по причине ухудшения водно-воздушного режима и подъема грунтовых вод резко снижает прирост. Годичные кольца становятся более мелкими. Болото продолжает расти. Измерив расстояние от дерева до края болота и сопоставив это расстояние с числом мелких годичных колец, определяют годичный прирост болота в сторону. Величина прироста различна. В значительной степени она зависит от уклона прилегающей к болоту местности и может колебаться от нескольких сантиметров до нескольких метров. Среда обитания болотной растительности определяется водным и пищевым режимами для больших территорий однотипных болот. Малое число факторов, характеризующих среду обитания, вызывает резкую реакцию растений на небольшие изменения того или иного фактора.

Наиболее существенным из названных факторов, определяющим жизнь болот, является уровень грунтовых вод. В зависимости от положения этого уровня формируется соответствующая моховая и древесная растительность. На олиготрофных же болотах произрастают соответствующие виды сфагновых мхов. Так, при уровнях грунтовых вод, располагающихся вблизи поверхности, могут произрастать сфагнумы куспидатум и дузени. Сфагнум ангустифоли-

ум может произрастать при уровнях грунтовых вод 3-5 см. При уровнях 6-25 см произрастает сфагнум магелланикум. Наиболее требователем к пониженному уровню грунтовых вод сфагнум фускум. Он произрастает при уровнях 26-37 см. Поэтому сфагнум фускум занимает наиболее высокое положение в микрорельефе. Таким образом, моховая растительность в определенной степени может служить индикатором среднего многолетнего уровня грунтовых вод на болотах.

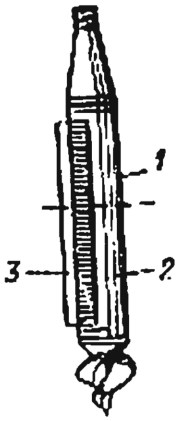
Классификация болот. В ее основу положен тип водного питания, в значительной степени определяющий наличие в торфе питательных веществ. Торфяные залежи, виды торфа различают по трофности (trophe – греч. пища, питание). Выделены три основных типа болот: низинные (евторфные) – обогащенные болота, переходные (мезотрофные) – средние по богатству, олиготрофные (олиго – греч. мало) – бедные болота.

Для целей осушения СПбНИИЛХ предлагает более детальную классификацию типов болот (прил. 8), добавляя к вышеназванным трем типам (верховые, переходные, низинные) шесть подтипов: 1) низинные травяные (собственно низинные); 2) переходные травяно-сфагновые (начальная стадия переходного болота); 3) переходные бедные травяно-кустарничково-сфагновые (собственно переходные); 4) верховые пушицево-сфагновые (начальная стадия верхового болота); 5) верховые кустарничково-сфагновые (сформировавшиеся верховые болота); 6) верховые грядово-озерково-мочажинные (исключительно бедные верховые болота – дистрофные).

У каждого вида болота свои торфообразователи. Евтрофным болотам свойственны торфа: тростниковый, камышовый, хвощевой, осоковый, гипновый (представленный мхами *Callirgon, Dreponocladus, Mnium*), древесный – из остатков древесных растений, например, ольшаниковый. Мезотрофные болота формируются в условиях умеренного содержания питательных веществ или при переходе в процессе трансформации от низинной стадии к верховой, о чем сказано выше. Торф таких болот состоит из разных видов мхов и часто из кукушкина льна. Олиготрофные болота формируются в условиях низкого плодородия. Торфообразователями являются сфагновые мхи (фускум, медиум, пушица, шейхцерия, клюква, багульник, вереск). Торфообразователи дали название и

видам торфа: сфагновый, шейхцериево-сфагновый, пушице-сфагновый и т.д.

Исследуя болота, измеряют глубину торфа, производят зондировку. При небольшой мощности торфа используют металлическую трость с боковым желобком вдоль трости. При большой мощности применяют сборный зонд из металлических свинчивающихся штанг. Для отбора образцов торфа одновременно с зондировкой используется специальный бур Гиллера. У такого бура имеется наконечник, состоящий из двух цилиндров: внутреннего и внешнего (рис. 29).



1 - внутренний цилиндр;
2 - прорези цилиндров;
3 - подвижная планка.

Рис. 29. Бур для взятия образцов торфа.

Внутренний цилиндр с прорезью неподвижно прикреплен к штанге, наружный (внешний) с острым выступом свободно перемещается на некоторую величину около внутреннего цилиндра, открывая в него прорезь (щель). При вращении на необходимой глубине через открытую прорезь во внутренний цилиндр поступает торфяная масса. Поворотом в обратном направлении щель закрывается и бур с образцом торфа извлекается на поверхность.

Вид торфа можно определить по ботаническому составу торфообразователей, а также по следующим признакам.

С ф а г н о в ы й т о р ф - обычно бурого цвета, на воздухе темнеет. В торфе встречаются шейхцерия, клюква, вереск. П у ш и ц е – с ф а г н о в ы й т о р ф – характерно присутствие пушицы в виде мочалообразных пучков черно-бурого, а иногда черного цвета. Д р е в е с н ы й т о р ф – черный, бесструктурный. О с о -

ковый торф – цвет различный: от светло-коричневого до бурого, характерно присутствие стеблей осоки.

Осоково-гипновый - цвет различный. Консистенция войлочная, плотность небольшая.

Тростниковый торф - от светлого до темно-коричневого цвета, в зависимости от степени разложения. Характерно присутствие неразложившихся стеблей тростника.

Точно ботанический состав торфа можно определить в лабораториях под микроскопом по остаткам растений.

Важной качественной характеристикой торфа является степень разложения. Глазомерно степень разложения можно определить по таблице Варлыгина (табл. 12).

Таблица 12

Признаки для определения степени разложения торфа (по Варлыгину)

Степень разложения, %	Цвет торфа	Растительные остатки	Вода	Упругость
До 10	Светло-коричневый, иногда желтый	Отчетливо видны стебельки мха с веточками и листьями	Прозрачная светло-желтая отжимается как из губки	Сжатый торф пружинит, возвращается к первоначальному объему
10-20	Светло-коричневый, редко темно-желтый	Стебельки мха без веточек и листьев (длина 1 см и >)	Желтая слегка мутная, отжимается легко	Заметна упругость в отжатом торфе
20-30	Коричневый	Стебельки мха длиной менее 1 см, видны волокна, корешки пушицы	Мутная, коричневатая	Упругость в сжатом торфе не заметна
30-50	Темно-коричневый	На изломе заметны тонкие волокна пушицы	Темно-коричневая, отжимается с трудом, каплями	Отжатый торф эластичен
Более 50	Темно-коричневый, иногда с пепельным оттенком	Заметны волокна пушицы, кусочки древесины и коры сосны	Не отжимается	При сжатии торф продавливается между пальцами

По степени разложения торф принято делить на три категории: слаборазложившийся - 5-25 %, среднеразложившийся - 25-45 %, сильноразложившийся >45 %.

Важной качественной характеристикой торфа является зольность: для верховых торфов зольность колеблется в пределах 2-4 % и менее, для низинных – 10-20 %.

Кислотность торфа (pH) твердых критериев не имеет. Существует мнение, что низинный торф менее кислый – pH 5,5-5,7, верховой более кислый – pH 3,0-4,5.

5.4. Гидрология болот

На сформировавшихся болотных массивах с годами торфяная залежь приобретает своеобразное строение. В результате трансформации болот часто верхние горизонты резко отличаются от нижних. На основе многолетних исследований К. Е. Ивановым *[10]* и В. Д. Лопатиным *[14]* на болотах выделено два принципиально разных горизонта – деятельный (активный) и инертный. Деятельный горизонт – это верхний слой торфяной залежи. Мощность его часто ограничена глубиной 10-20 (реже 50-60) см. Этот горизонт находится в постоянном контакте с атмосферой. Для этого горизонта характерно: 1) колебание в его пределах уровней грунтовых вод; 2) высокая водопроницаемость; 3) изменение содержание влаги в течение вегетации; 4) периодический доступ воздуха, когда понижается уровень грунтовых вод; 5) хорошая аэрация и интенсивная микробиологическая активность и разложение торфа; 6) нахождение корневых систем.

Ниже деятельного располагается инертный горизонт, где отмечается постоянное наличие воды, отсутствие кислорода, а значит, и нет аэробных процессов, а также ничтожно малая водопроницаемость.

Наличие деятельного горизонта обеспечивает саморегулирование и устойчивость болотных систем. В деятельном горизонте коэффициент фильтрации сверху вниз снижается в 100-1000 раз. Такое распределение водопроницаемости обеспечивает быстрый сброс дождевых и весенних талых вод при незначительном понижении уровней грунтовых вод. Высокая порозность торфа (до 90-95 %) позволяет вместить в 10-сантиметровом слое 90-95 мм воды, а это часто больше, чем вся талая вода. При малых уклонах поверхности болот, при небольшом снижении уровней грунтовых вод прекращается го-

ризонтальная фильтрация. При этом уровни грунтовых вод остаются высокими, не происходит обезвоживания торфяной залежи, изменения видового и количественного состава болотного фитоценоза, разрушения болотной системы, обеспечивается ее устойчивость.

Характеристики торфа и их особенности. П о р и с т о с т ь – характеризуется наличием свободных промежутков между твердыми частицами (скелетом) торфа. Свойства твердых частиц торфа сильно отличаются от свойств частиц минеральных грунтов способностью изменять свои размеры при набухании. Таким образом, твердый скелет торфа непостоянен во времени и зависит от степени и длительности увлажнения. Пористость выражается коэффициентом пористости (ε), как отношение объема пор *A* к объему частиц твердой фазы торфа *B:*

$$\varepsilon = A / B. \qquad (83)$$

Общий объем пор в торфяных грунтах может достигать 95-98 %. Высокая пористость и большое количество крупных пор ограничивает подъем влаги по капиллярам к поверхности торфяной почвы. По исследованиям В.В. Романова *[27,* табл. 13*]* при положении уровней грунтовых вод на глубине 30-35 см к поверхности почвы влага от грунтовых вод практически не поднимается.

Таблица 13

Количество капиллярной влаги над уровнем грунтовых вод на верховых торфяниках

Высота над уровнем грунтовых вод, см	3,5-4,0	6,8-7,2	10,8-11,7	14,9-15,6	19,1-19,9	23,3-24,1	27,4-28,1	31,5-35,0
Влажность, % к объему	30,7	25,2	23,3	13,0	11,7	7,8	4,3	0,3

В л а г о е м к о с т ь т о р ф а. Общее количество воды, содержащейся в торфе, определяемое отношением объема воды $V_в$, заключенной в данном объеме торфа V_0, к этому объему

$$\eta = V_в / V_0 , \qquad (84)$$

называется объемной влажностью торфа η и выражается в долях от единицы или в процентах.

Предельное максимальное содержание воды определяет понятие полной объемной влажности или влагоемкости торфа.

Для определения влагоемкости торфа вырезают цилиндром (бур Качинского) образец торфа, помещают его в сосуд с водой 3-4 см и выдерживают до полного насыщения образца водой, поднимающейся по капиллярам. При этом воду в сосуде постоянно доливают и поднимают почти до поверхности бура (цилиндра). Опыт продолжается 15-20 дней.

Содержание влаги в торфяниках может колебаться от 87 до 98 % в зависимости от вида торфа, его ботанического состава и степени разложения.

Водоотдача торфа. Водоотдачей называют способность насыщенного водой торфа обеспечивать ее стекание под влиянием силы тяжести. Количественным показателем служит коэффициент водоотдачи - δ, который характеризуется отношением объема воды, стекающей из залежи выше уровня грунтовой воды, к полному ее объему в этом слое залежи. В естественных условиях водоотдача осуществляется при понижении уровней грунтовых вод послойно из слоев выше уровня грунтовых вод. Общее количество свободно вытекающей воды из грунта выше уровня грунтовых вод, отнесенное к единице объема торфа, выражает удельную водоотдачу.

Величина водоотдачи торфяной залежи зависит от следующих факторов: влагоемкости различных слоев торфа в залежи, распределения пористости в слое торфа над уровнем грунтовых вод и величины понижения уровней грунтовых вод.

В верхних горизонтах водоотдача выше, чем в нижних. В повышенных элементах болотного рельефа (кочках) коэффициент водоотдачи больше, а в пониженных (западинах, мочажинах) – меньше. В целом для грядово-мочажинного комплекса коэффициент водоотдачи составляет 0,40-0,57, для кочек - 0,58-0,65, для мочажин и западин - 0,30-0,48.

Величина водоотдачи характеризует (определяет) величину стока. Удельная водоотдача влияет на выбор расстояний между осушительными каналами, ее показатель входит в расчетные формулы (87,88).

Водопроницаемость торфа. Водопроводимость торфяного грунта, как и любых пористых грунтов, численно характеризуется коэффициентом фильтрации. В торфяных грунтах, в отличие от минеральных, коэффициент фильтрации, а следователь-

но и водопроводимость, сильно варьируют на площади. Если на минеральных грунтах для одинаковой глубины различие водопроницаемости достигает 2-3-кратных расхождений, то на торфяных коэффициент фильтрации может изменяться на несколько порядков. На коэффициент влияют ботанический состав торфа, объемный вес твердой фазы (плотность), влагонасыщенность. Однако основным физическим критерием, определяющим коэффициент фильтрации, является степень разложения торфа. По данным К.Е. Иванова *[9, 10]*, для низинных осоковых, осоково-сфагновых торфов при степени разложения 25-30% коэффициент фильтрации ($К_ф$) колебался в пределах 0,002-0,01 см/сек, при степени разложения 40-55 % - 0,0002-0,002 см/сек. Для верхового слаборазложившегося торфа (10-20 %) $К_ф$ – 0,002-0,007 см/сек, при степени разложения 35-45 % $К_ф$ - 0,00025-0,001 см/сек.

Кроме увеличения степени разложения торфа на водопроводимость его влияет «набухание» частиц торфа за счет внутриклеточной влаги. При набухании внутриклеточная вода закупоривает пористые промежутки, снижая передвижение влаги. Необходимо учитывать и явление анизотропности. При формировании торфяного грунта стебли мха, опадая, располагаются горизонтально, и фильтрующаяся вода движется вдоль них, увеличивая «длину пути» и меняя направление. В таких случаях отмечаются большие различия фильтрации в вертикальном и горизонтальном направлениях. С глубиной водопроницаемость падает. В верхнем деятельном горизонте $К_ф$ выше, чем в инертном, в десятки и тысячи раз.

Осушение изменяет водопроницаемость торфа. После осушения скелет торфа уплотняется, при этом уменьшается активная пористость, а с нею и коэффициент фильтрации. Исследования на осушенных болотах при лесовыращивании показали действительное снижение водопроницаемости в первые годы после осушения. Однако с годами по мере развития корневых систем корни «армируют» торфяной горизонт в верхних слоях, увеличивая активную порозность и водопроницаемость.

С т о к с б о л о т. Освоение и использование болот и заболоченных территорий должно проводиться с учетом сохранения окружающей среды и воспроизводства природных ресурсов.

Формирование и внутригодовое распределение стока на неосушенных и осушенных болотах имеет свои особенности. На развитых

неосушенных болотах имеется, как правило, выпуклая центральная часть и краевые ложбины на границе торфяной залежи с незаболоченной частью водосбора. Сток с болот и его внутригодовое распределение обусловлены, в основном, различием водопропускной способности деятельного и инертного горизонтов. При весеннем снеготаянии, на период которого приходится большая часть годового стока, талые воды быстро сбрасываются с центральных участков болота по деятельному горизонту в краевые ложбины. По ложбинам вода поступает в водотоки и питает реки. Этим вызывается быстрый подъем воды в реках весной. Летом грунтовые воды понижены часто за пределы деятельного горизонта и сток по нему либо прекращается, либо остается крайне низким. Если в краевых ложбинах нет воды, то ее сток в ручьи с болот также прекращается или оказывается незначительным. Длительность прекращения стока летом может достигать на неосушенных болотах как нескольких дней (в сырые годы), так и месяцев (в засушливые годы). Гидрограф стока имеет резкие подъемы весной, часто осенью, иногда летом при выпадении ливневых дождей.

На осушенных болотах формирование и внутригодовое распределение стока иное. В результате осушения в почве создается свободная от воды порозность, обеспечивающая аккумуляцию осадков и постепенный отвод их в осушительные каналы и водотоки. Кроме того, каналы за счет кривой депрессии (гл. 5.7), увеличивая уклон грунтовых вод, способствует стоку воды. Поэтому длительность бессточных периодов (нулевого стока) уменьшается в несколько раз по сравнению с неосушенными болотами.

5.5. Категории осушаемых земель и объекты осушения

При лесохозяйственном производстве осушению в основном подлежат следующие категории земель: избыточно увлажненные земли лесхозов и парклесхозов; лесопарки и парки; земли питомников по выращиванию посадочного материала для лесных культур и озеленения населенных мест; сельскохозяйственные угодья лесхозов и парк-лесхозов. Осушение земель каждой категории имеет свои особенности.

Площадь земель, испытывающих избыточное увлажнение, в гослесфонде Российской Федерации (рис. 30) составляет 224,3 млн.га, или около 22 % общей площади лесных земель *[30]*.

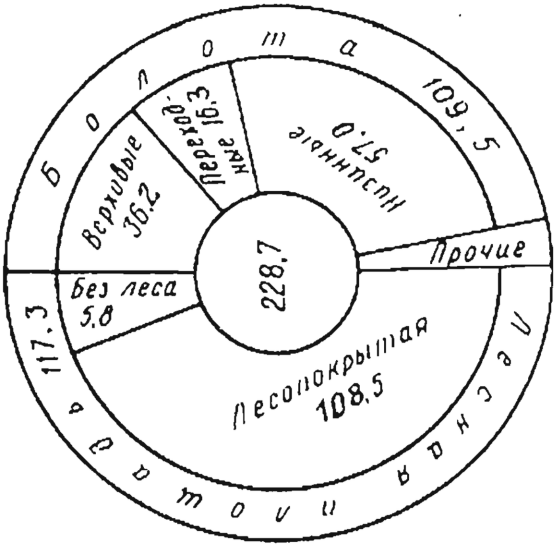


Рис. 30. Распределение гидромелиоративного фонда по видам земель, млн. га

В европейской части наибольшая заболоченность лесного фонда наблюдается в Калининградской области - около 90, в Псковской - 51, Архангельской - 45, Ленинградской - 44, Вологодской - 41, Новгородской - 36%. В Западной Сибири 65 % заболоченных лесных земель приходится на Новосибирскую обл., 53 - на Омскую и 47 % - на Томскую обл. В Беларуси 21 % заболоченных земель. Гидромелиоративный фонд этой республики составляет 1,547 млн.га. Общая площадь гидромелиоративного фонда в Северо-Западном районе европейской части страны составляет свыше 42 млн.га, в Западной Сибири более 67 млн.га.

Объекты осушения лесных земель можно разделить на три основных типа: 1) болота с мощностью торфа не менее 30 см и с постоянным избыточным увлажнением; 2) заболоченные земли с мощностью торфа менее 30 см, характеризующиеся постоянным избыточным увлажнением; 3) временно избыточно увлажненные земли, на которых торфа нет, а избыток влаги наблюдается только весной и осенью и в отдельные многоводные периоды года.

Осушение переувлажненных земель любых категорий может быть полезным в целях лесовыращивания. Однако лесоводственная эффективность осушения (гл. 10) для разных объектов различна.

Исследованиями установлено весьма слабое улучшение роста леса при осушении сфагновых болот. В России малозольные верховые сфагновые болота широко используют для добычи подстилочного торфа, применяемого на животноводческих фермах, с дальнейшим применением его в виде удобрения. Торф используется также для брикетирования и сжигания в качестве топлива и в других целях.

Поэтому большую часть болот верхового типа осушать для лесохозяйственных целей нецелесообразно. Для ограничения разрастания в стороны сфагновые болота следует ограждать защитными каналами.

Низинные болота характеризуются высоким содержанием питательных веществ. В связи с широким развитием работ по освоению Нечерноземной зоны осушение таких болот должно производиться с учетом возможности их сельскохозяйственного использования.

Земли временного избыточного увлажнения обычно заняты древостоями II-III классов бонитета. Осушение таких земель может улучшить рост леса до I-II классов бонитета, т.е. относительное увеличение прироста в этом случае небольшое.

В северных районах европейской части страны и многих районах Сибири дополнительный прирост древесины после осушения пока остается низким. Есть и другие ограничительные факторы для полного освоения гидромелиоративного фонда.

В качестве первоочередного этапа рекомендуются к осушению 38 млн.га, из них в европейской части - около 26 млн. га лесных земель, расположенных преимущественно на Северо-Западе. Намечаемые к осушению объекты в основном представлены заболоченными землями, переходными и частично низинными болотами. Земли временно избыточно увлажненные в лесохозяйственных целях осушаются редко, так как здесь и без осушения произрастает древостой II-III классов бонитета. Осушать их целесообразно в лесах зеленых зон в эстетических целях.

5.6. Способы и методы осушения

Осушение земель в лесном и садово-парковом хозяйствах проводят в основном двумя способами - открытыми каналами и закрытым дренажем. Лесные земли осушают преимущественно откры-

тыми каналами, в садово-парковом хозяйстве используют также дренаж. Применяют два метода осушения: 1) ускорения внутреннего стока с отводом воды через почвогрунт ниже основной массы корней или через корнеобитаемую зону; 2) ускорения поверхностного стока.

В основу выбора метода и способа осушения положен тип водного питания и способ отвода избыточной воды. При атмосферном водном питании осушение должно быть основано на ускорении внутреннего или поверхностного стока. Для этого устраивают открытые каналы. При грунтовом и грунтово-напорном питании отдается предпочтение ускорению внутреннего стока ниже корнеобитаемой зоны путем понижения уровня грунтовых вод открытыми каналами или закрытым дренажом. Для перехвата притока грунтовых вод при неглубоком их залегании можно устраивать перед осушаемым участком специальные ловчие каналы. При склоновом водном питании рекомендуется устройство со стороны склона нагорных каналов с целью перехвата поступающего склонового стока. В условиях намывного водного питания гидромелиоративные мероприятия должны быть направлены на исключение затопления участков во время половодий и паводков. В этих случаях необходимо или регулировать речной сток путем его ускоренного сброса по рекам, или задерживать его в верховьях рек и их притоков с помощью водохранилищ, или устраивать дамбы для защиты затапливаемых участков.

5.7. Действие осушительных каналов

Теоретические основы современной гидрологии земель построены на изучении физических характеристик почвогрунтов, определяющих их водный режим. Гидрологический режим территории есть функция прихода и расхода влаги, определяющая глубину расположения уровней грунтовых вод и их динамику. Осушение земель воздействуя на баланс влаги коренным образом изменяет режим грунтовых вод. После осушения почвенно-грунтовые воды почти постоянно находятся ниже поверхности почвы, особенно возле осушительных каналов. Поскольку с ближайших к осушителям участков грунтовая вода проходит меньший путь при движении к каналам, чем с удаленных, и встречает меньше

сопротивления движению благодаря большим уклонам, то вблизи осушительного канала наблюдается большее понижение грунтовых вод с постепенным повышением их по мере удаления от канала.

На участках, осушенных системой параллельных каналов, формируются кривые депрессии уровней грунтовых вод (рис. 31). Наличие уклона в сторону каналов создает впечатление, что движение грунтовой воды происходит в соответствии с уклоном кривой депрессии. Фактически движение воды подчиняется более сложным законам.

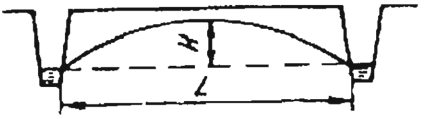


Рис. 31. Кривая депрессии уровня грунтовых вод на осушенных землях

Исследованиями Н.Е. Жуковского установлено, что грунтовая вода может поступать в каналы по всему поперечному профилю ниже уровня грунтовых вод, включая и дно канала. Это движение происходит под действием давления, создаваемого разностью уровней грунтовой воды на полосе между каналами и воды в канале, определяемого величиной напора H. Количество поступающей воды в каналы и величина стока примерно пропорциональны, как это установлено проф. Х.А. Писарьковым, квадрату напора:

$$q = C H^2, \qquad (85)$$

где q - модуль стока; C - коэффициент, зависящий от типа почв и расстояний между каналами; H - величина напора (см. рис. 31).

Теоретически понижение грунтовых вод может распространяться на очень большие расстояния от каналов. Однако сопротивления, встречаемые движущейся водой в грунте, уменьшают, согласно закону Дарси, скорость фильтрации, ограничивают действие каналов определенными, довольно небольшими расстояниями. Скорость движения и количество грунтовой воды, поступающей в каналы, следовательно, и режим грунтовых вод зависят от величины напора и изменения водопроницаемости грунта с глубиной, а на торфяных почвах - и от глубины залегания водоупора. На мелких торфяниках водоупором является минеральный грунт, подстилающий

торф. На болотах с большой глубиной торфа водоупором может оказаться хорошо разложившийся плотный торфяный горизонт. Верхний слой залежи выполняет функции деятельного горизонта (гл. 5.4), и торфяник приобретает двухслойный характер.

Наблюдения показали, что на маломощных однослойных торфяниках (табл. 14) действие каналов распространяется на всю полосу между каналами. При расстоянии между каналами 128 м посередине между ними отмечено понижение грунтовых вод до 60 см. В таких условиях формируется полноценная сомкнутая кривая депрессии уровней грунтовых вод. На двухслойных торфяниках при том же расстоянии между каналами грунтовые воды понизились только до 22 см, а практически действие каналов прекращалось на расстоянии 30-40 м. Уровни грунтовых вод образуют не кривую депрессии, а только кривые спада уровней. Еще меньше влияние каналов на мелких торфяниках, залегающих на тяжелых грунтах. В таких условиях их действие прекращалось на расстоянии 15-20 м от каналов.

Таблица 14

Средние многолетние уровни грунтовых вод, см, по мере удаления от каналов на торфяниках с разным строением залежи

Расстояние между каналами *l*, м	Глубина каналов, м	Удаление от каналов, м						
		1	0,1*l*	0,25 *l*	0,5 *l*	0,25 *l*	0,1 *l*	1
Мощные однослойные торфяники								
128	1,1	84	70	67	60	65	77	80
Мощные двухслойные торфяники								
130	1,1	52	29	24	22	23	27	56
65	1,1	60	-	33	28	32	-	56
Торфяник маломощный на суглинке								
170	0,9	28	22	18	18	20	27	30

По исследованиям проф. Х.А.Писарькова, в условиях, где формируется кривая депрессии, обеспечивается более устойчивое осушение. Каналы отводят всю воду с полосы между ними. Дополнительного подтока со стороны нет. Каналы действуют в условиях сформированного внутреннего водного питания. В тех случаях, когда формируются только кривые спада и уровни грунтовых вод понижаются до определенного расстояния от каналов, а далее остаются на той же глубине, как и до осушения, имеется постоянный приток воды со стороны. Каналы

действуют в условиях внешнего водного питания. Возможность притока воды со стороны уменьшает расстояние действия каналов.

Подавляющая масса воды перемещается выше водоупора. При залегании его ниже дна каналов нет особых препятствий для поступления воды по всему профилю канала, включая и дно. Линии отекания грунтовых вод при глубоком залегании водоупора приведены на рис. 32, а. В этом случае действие осушительных каналов проявляется сильнее и их можно располагать на большем расстоянии друг от друга, определяемом характером грунта и глубиной каналов.

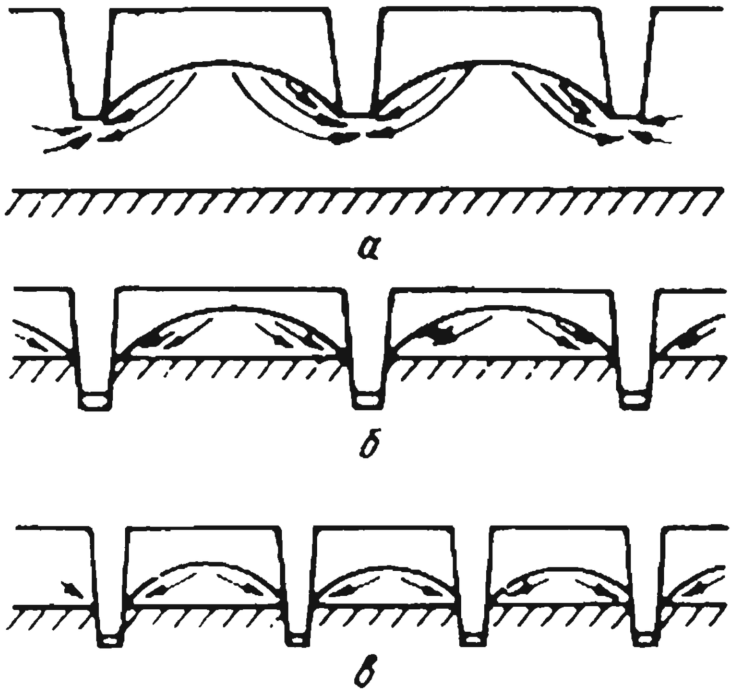


Рис. 32. Действие осушительной сети на болотах с разной глубиной торфа в зависимости от характера подстилающих грунтов

При близком залегании водоупора поступление воды в каналы затруднено водоупорным горизонтом, коэффициент фильтрации которого ничтожно мал. В этом случае вода в каналы поступает в основном только через откосы каналов выше водоупора. Исследованиями К.П.Лундина *[15]* установлено, что увеличение степени разложения на 10 % уменьшает коэффициент фильтрации примерно в 10 раз.

В наших исследованиях на слоистых торфяниках, где верхний слой торфа со степенью разложения 5-10% подстилался торфом со

степенью разложения 30-40%, коэффициент фильтрации верхнего слоя был равен 0,028 см/с, а нижнего подстилающего 0,0026 см/с. Действие каналов на мелких торфяниках с водонепроницаемым ложем и на слоистых торфяниках снижается (рис. 32, б). Для обеспечения необходимой величины понижения почвенно-грунтовых вод необходимо уменьшение расстояний между каналами (рис. 32, в).

При осушении мелких торфяников на песках возможно увеличение расстояний между каналами, если имеется отвод воды из песчаного горизонта, во избежание иссушения торфа.

5.8. Норма осушения

Понятие «норма осушения» введено в гидромелиоративную науку академиком А.Н.Костяковым *[11]*. Под нормой осушения для земель, используемых в лесном хозяйстве, понимается величина, на которую следует понизить грунтовые воды для создания оптимального водно-воздушного режима почв и нормального роста древостоя. На участках, где достигнута норма осушения, можно выращивать древостой максимально возможной в данных почвенных условиях производительности, определяемой плодородием почвы. В идеальном случае норму осушения следует обеспечивать с начала роста растений весной и поддерживать на протяжении всего периода вегетации, желательно также не допускать подтопления корнеобитаемой зоны и вне этого периода.

Максимальный эффект улучшения роста леса может быть получен при условии соблюдения нормы осушения на всей полосе между осушительными каналами с весны до осени. Однако в природной обстановке невозможно обеспечить понижение уровней воды в почве весной к началу роста и поддерживать их на заданной глубине в течение всего периода вегетации. Следует учитывать также, что поскольку между осушительными каналами грунтовые воды располагаются по кривой депрессии, то их уровни различны и по мере удаления от каналов.

Сложность вопроса вызвала необходимость многочисленных исследований для установления норм осушения. Первые придержки на основе собственных исследований и литературных данных провел академик А.Д. Дубах. Он отмечал, что для лесовыращивания

на торфяных землях необходимо понижать грунтовые воды на 30-50 см, на минеральных - до 70 см.

Широкие исследования норм осушения выполнены Х.А.Писарьковым и П.И.Давыдовым *[23]*. Учитывая выводы А.Н.Костякова *[11]* о необходимости поддерживать норму осушения на осушаемой площади в различные фазы роста и развития растений, Писарьков и Давыдов провели длительные исследования режима уровней грунтовых вод в различных древостоях разного возраста. Исследователи установили увеличение глубины стояния грунтовых вод при повышении класса бонитета (табл.15). Наиболее низкие уровни грунтовых вод отмечены в приспевающих древостоях, несколько выше - в молодняках и наиболее высокие уровни - в спелых и перестойных. Пониженные уровни грунтовых вод в приспевающих древостоях объясняются тем, что такие насаждения наиболее интенсивно расходуют влагу и питательные вещества и требуют большого понижения грунтовых вод для увеличения площади питания.

Таблица 15

Средние глубины грунтовых вод за май-август, см

Класс бонитета	Класс возраста					
	I	II	III	IV	V	VI
I	52 -	67 -	- -	- 108	72 109	41 -
II	31 54	54 75	56 78	72 73	43 64	28 -
III	20 43	33 60	34 44	29 42	37 40	18 -
IV	12 13	17 25	11 -	11 17	11 15	7 -

Примечание. В числителе даны значения под насаждениями сосны, в знаменателе - под насаждениями ели.

Многолетние наблюдения за уровнями грунтовых вод (рис. 33) показали, что глубина их понижения на однотипных болотах увеличивается при сгущении осушительных каналов.

На переходных болотах, по сравнению с верховыми при тех же глубинах каналов и расстоянии между ними, уровни понижаются больше вследствие повышенного расхода влаги на суммарное испарение при более высоком подъеме воды по капиллярам

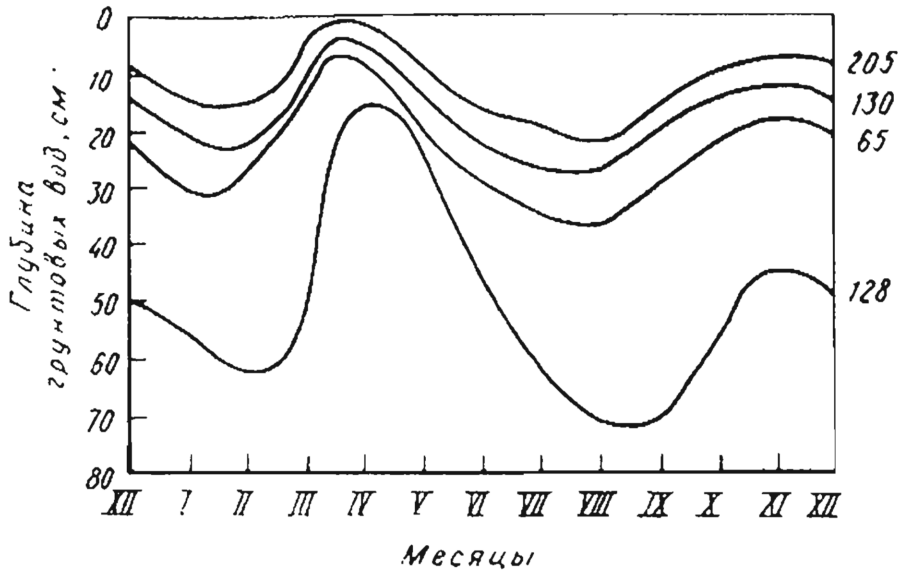


Рис. 33. Динамика грунтовых вод на осушенных болотах (205, 130, 65 м - расстояния между каналами на верховом и 128 м – на переходном)

от грунтовых вод. Наиболее высокие за период вегетации (май-сентябрь) уровни грунтовых вод наблюдаются в мае. Положение грунтовых вод в этом месяце существенно определяет рост леса на осушенных землях, поскольку начинается рост древесных растений. Поэтому в качестве придержек к норме осушения недостаточно принимать только среднюю за период вегетации глубину грунтовых вод, необходимо указать и требуемую глубину на период начала активного роста леса в высоту (табл. 16).

Таблица 16

Глубина грунтовых вод (см) при осушении торфяных почв для сосновых древостоев

Тип болот	Класс бонитета						
	Ia	I	II	III	IV	V	VI
Верховые	-	-	-	20-22 40-45	15-20 30-40	10-15 20-30	5-10 15-20
Переходные	30 60	15-20 50-60	10-15 40-50	5-10 30-40	-	-	-

Примечание. В числителе указана глубина грунтовых вод на 15 мая, в знаменателе - в среднем за май-сентябрь

Необходимая величина понижения почвенной воды в мае в сильной степени зависит от типа почвы. На почвах верховых болот, бедных по содержанию питательных веществ, необходимо большее понижение грунтовых вод, чем на богатых переходных. Меньшая

норма осушения на последних объясняется возможностью корней растений получать необходимое количество пищи из меньшего по мощности слоя почвы.

Исследования норм осушения, проведенные в различных зонах страны, показали, что величины их по зонам довольно близки, изменяясь большей частью в пределах 40-60 см для торфяных почв, увеличиваясь до глубины 70-90 см для минеральных земель.

Существенное влияние на уровень грунтовых вод оказывает не только сток по каналам, но и расход влаги на суммарное испарение, складывающееся, как отмечалось в гл. 1, из физического испарения и транспирации. Физическое испарение с поверхности почвы на верховых и переходных болотах различно.

По исследованиям В.В.Романова *[27]*, капиллярный подъем влаги на микроландшафтах верховых болот не превышает 17-50 см. При снижении уровней ниже 30-40 см (а при осушении возможно и более глубокое снижение) испарение может резко уменьшаться. На переходных торфяниках капиллярный подъем влаги достигает 100-200 см, поэтому физическое испарение здесь достигает больших величин. Формирующийся после осушения древостой за счет транспирации усиливает суммарное испарение. В годовом расходе влаги оно превышает сток в 1,5-3 раза, летом - в 5-10 раз. За летне-осенний период (июнь - сентябрь) сток составляет 8-10% от годовой величины (рис. 34).

В отдельные месяцы стока по каналам на осушенных землях нет вообще. Суммарное испарение летом может превышать сумму выпавших осадков. В гл. 1 указывалось, что в высокобонитетных древостоях оно составляет 400-450 мм.

Наблюдения за изменением уровней грунтовых вод на болотах под влиянием осушения показывают, что после сформирования на болоте сосняка III класса бонитета взамен сосняка V-Va классов грунтовые воды понижались на 20-30 %.

При выращивании культур сосны на осушенном переходном болоте в первые годы их роста грунтовые воды находились на глубине не более 35-45 см. После сформирования на болоте соснового насаждения I-Ia классов бонитета грунтовые воды на этой глубине отмечались только весной. Летом уровень их снижался до глубины 60-80 см и более. Следовательно, обеспечив ному осушения в начальном периоде роста леса, в дальнейшем ее можно в значительной степени поддерживать за счет транспирации влаги древостоем.

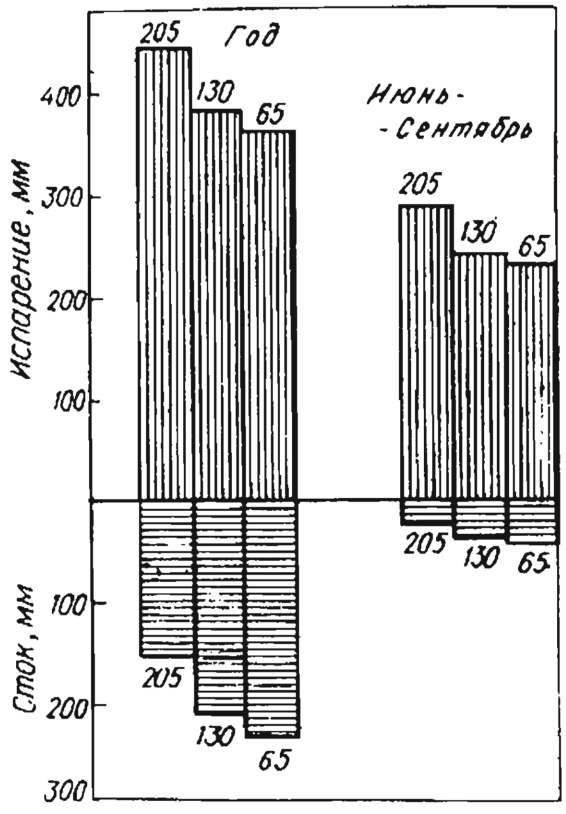


Рис. 34. Соотношение испарения и стока на осушенных болотах.
Расстояние между каналами 205, 130, 65 м

Поэтому рекомендуемые нормы осушения можно считать «стартовыми», необходимыми в первые годы после осушения для обеспечения условий роста при формировании древостоев в новых условиях.

Для выращивания лесохозяйственными предприятиями сельскохозяйственных культур, проведения культурно-технических мероприятий и создания высокопродуктивных сенокосов требуется более интенсивное осушение (табл. 17), различное для разных видов сельскохозяйственных культур.

При осушении земель под сельхозпользование следует иметь в виду их особенности. На таких землях в большинстве случаев необходимо применение техники для обработки почвы весной, для вспашки или посевов. Требуется более раннее освобождение от верховодки верхних горизонтов почв для лучшей прогреваемости ее. Поэтому грунтовые воды при сельскохозяйственном использовании осушенных земель необходимо понижать на большую глубину и в более ранние сроки, чем при лесохозяйственном производстве.

Таблица 17

Глубина грунтовых вод при осушении сельскохозяйственных культур, см (по данным Росгипроводхоза)

Культуры	Средняя за вегетационный период в зависимости от грунтов				К началу весенних работ в зависимости от грунтов				К началу сева
	Низинный торф	Песок	Супесь	Средний и тяжелый суглинок	Низинный торф	Песок	Супесь	Средний и тяжелый суглинок	
Травы:									
на лугах	60	45	50	60	40	30	35	40	45-50
на пастбищах	60	50	55	80	50	50		50	50-60
Зерновые	80	60	65	80	45	50	55	40	60-70
Технические культуры	100	80	85	95	70	45	50	60	70
Овощи и корнеплоды	90	70	75	85	60	45	50	60	70

Контрольные вопросы. 1. Что является показателем аэрации почвы? 2. Почему при повышении температуры почвы летом не всегда происходит увеличение CO_2 в почвенном воздухе? 5. Какие различия между заболоченными землями и болотами? 4. Почему на временно избыточно увлажненных землях нет торфяного горизонта? 5. Виды заболачивания. 6. Как образуются болота? 7. Чем отличаются верховые болота от низинных? 8. Особенности гидрологии болот. 9. Что такое тип водного питания? 10. Какие земли целесообразно осушать в целях лесовыращивания? 11. Можно ли осушать верховые болота? 12. Что такое способ и метод осушения? 13. Что влияет на действие осушительных каналов? 14. Почему на мелких торфяниках, подстилаемых глинами, необходимо уменьшать расстояние между осушителями? 15. Что такое норма осушения? 16. Почему важно понижать грунтовые воды к началу роста деревьев? 17. Можно ли обеспечить осушение земель путем создания древостоев с высокой транспирацией? 18. Почему при осушении земель под сельскохозяйственные культуры требуется более низкое положение грунтовых вод?

Глава 6
ОСУШИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Осушительной системой называется комплекс инженерных гидротехнических сооружений, обеспечивающих создание оптимального водного режима на переувлажненных землях. Осушительная система состоит из регулирующих, проводящих и оградительных каналов, водоприемников, гидротехнических сооружений, противопожарных водоемов и дорожной сети.

6.1. Осушительная сеть

Основным элементом осушительной системы является р е г у л и р у ю щ а я сеть. Она предназначена для понижения уровней почвенно-грунтовых вод до необходимой глубины, обеспечивающей норму осушения. К каналам регулирующей сети относятся: осушители, нагорные, ловчие и тальвеговые каналы, а также борозды, создаваемые при подготовке почвы под лесные культуры на переувлажненных землях при условии вывода их в каналы для отвода воды.

П р о в о д я щ а я с е т ь служит для сбора воды из регулирующей сети и отвода (транспортировки) ее в водоприемники. К проводящей сети относятся транспортирующие (собиратели) и магистральные каналы.

В о д о п р и е м н и к и необходимы для приема воды из осушительной сети. Водоприемниками могут служить ручьи, реки (включая и малые), озера, водохранилища, карстовые воронки, балки и др.

Р а с п о л о ж е н и е осушительной сети на местности зависит от многих причин. Осушители располагают под острым углом к горизонталям, не пересекая одну и ту же горизонталь дважды. Желательно осушители располагать параллельно квартальной сети и без поворотов. Образуемые при таком размещении участки между каналами удобны для проведения лесохозяйственных работ. Осушители не должны, по возможности, пересекать квартальные просеки и дороги, так как в местах пересечения необходимо устраивать мосты или укладывать трубы для переезда через каналы. В целях уменьшения поступления талой и дождевой воды на квартальные просеки или дороги осушительные каналы необходимо

проводить с верховой (по уклону) стороны просек или дорог. Как установлено исследованиями Х.А. Писарькова, при систематическом осушении внутриквартальные осушители можно, не снижая нормы осушения, не доводить до просек, если по ним проложены каналы. Проходящий по просеке канал обеспечивает осушение прилегающих территорий по обе стороны от него. Для лучшего транспортного освоения территории осушители, располагаемые вдоль просек, желательно устраивать на всю длину последних (рис. 35).

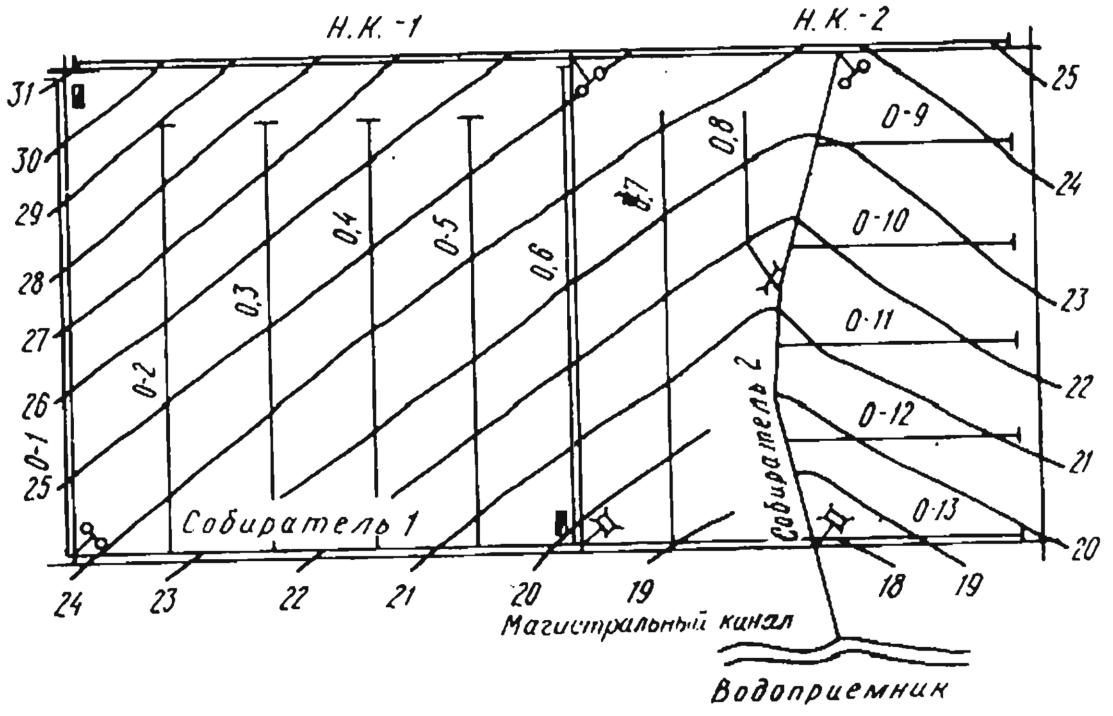


Рис. 35. Схема размещения осушительных каналов при систематическом осушении участка

В зависимости от рельефа местности осушители можно подводить к транспортирующим собирателям под разным углом, но в собиратели желательно вводить их под углом 60-90°.

Для уменьшения поступления в реки продуктов твердого стока и снижения заиления рек регулирующие каналы целесообразно вводить в реки под острым углом, сводя в специальные собиратели, устраиваемые в направлении течения реки. Такие собиратели выполняют функции илоуловителей для сбора твердого стока.

Нагорные каналы служат для перехвата поверхностных вод, преимущественно при заболачивании делювиальными водами.

Их располагают по границам осушаемых участков с верховой стороны в направлении, параллельном осушителям. Глубина нагорных каналов принимается близкой к глубине осушителей.

Ловчие каналы применяют для перехвата грунтовых вод. В условиях грунтово-напорного типа водного питания их располагают так же, как и нагорные каналы. Глубина каналов должна быть в 1,5-2 раза больше глубины осушителей и может достигать 2,5-3,0 м.

Тальвеговые каналы служат для осушения вытянутых понижений рельефа (тальвегов). Их размещают в виде одиночных или нескольких каналов по тальвегам и применяют при выборочном (в отличие от систематического) осушении или для улучшения действия систематической осушительной сети. Глубина каналов принимается равной глубине осушителей для данных условий.

Собиратели необходимо располагать по наиболее низким местам рельефа, а в условиях ровного склона - вдоль квартальных просек с верховой стороны.

Магистральные каналы устраивают для сбора воды из собирателей и транспортировки (пропуска) ее в водоприемники. Магистральные каналы располагают по наиболее низким местам рельефа. При осушении болот, учитывая осадку торфа, транспортирующие собиратели и магистральные каналы следует располагать в местах с наибольшей глубиной торфа. Магистральные каналы могут проходить за пределами территории гослесфонда, поэтому проектирование их местоположения необходимо согласовывать с организациями, которым принадлежат территории.

Осушительную сеть на плане начинают размещать с определения местоположения проводящих, а затем регулирующих каналов.

Оградительные (защитные) каналы рекомендуется устраивать для ограничения роста болот в стороны в целях предотвращения заболачивания окружающих земель.

6.2. Определение расстояний между регулирующими каналами

Расстояние между каналами регулирующей сети в значительной степени определяет величину и скорость понижения почвенно-грунтовых вод на осушаемой площади. В природных условиях действие

осушительных каналов зависит от многих причин: от типа водного питания, соотношения величин осадков и испарения, глубины залегания водоупора на болотных почвах и характера подстилающего торф грунта, глубины осушителей, уклона поверхности осушаемых территорий, порозности почвы и размера пор, состояния древостоя (состава, полноты, возраста, класса бонитета) и др. Все причины с необходимой точностью учесть сложно, поэтому в практике проектирования осушительных систем используют несколько методов определения расстояния между осушительными каналами.

Гидрологический метод основан на скорости понижения уровня грунтовых вод на требуемую глубину за определенное время. Для расчета расстояния между каналами по этому методу существует несколько формул. В условиях близкого залегания водоупора, часто встречающегося при осушении земель в лесном хозяйстве, наиболее совершенной является формула проф. Х.А.-Писарькова, позволяющая кроме фильтрационных характеристик грунта учитывать и расход влаги на суммарное испарение:

$$L = 2\sqrt{\frac{Kh_1h_2t}{\delta(h_1-h_2)-et+P_t}}, \qquad (86)$$

где L - расстояние между осушителями, м; K - коэффициент фильтрации, м/сут; h_1 - начальный напор, м; h_2 - конечный напор, м (рис. 22); t - время понижения уровня грунтовых вод, сут, на величину $h_1 - h_2$; δ - удельная водоотдача; e - суммарное испарение, м/сут; P_t - количество осадков, достигших почвы за время t, м.

Удельную водоотдачу можно определить для минеральных почв по формуле Г.Д. Эркина:

$$\delta = 0{,}056\sqrt{K}\sqrt[3]{h_1-h_2}, \qquad (87)$$

для торфяных почв по формуле А.И.Ивицкого:

$$\delta = 0{,}115\,K^{3/8}(h_1-h_2)^{3/4}. \qquad (88)$$

Известно, что чем больше водопроницаемость и водовместимость грунта, тем выше водоотдача и большее количество воды

требуется отводить. Однако, определяя расстояние между каналами, следует учитывать и расход влаги на суммарное испарение. При его увеличении уменьшается потребность в отводе воды осушителями. Поэтому повышенная водоотдача не всегда ведет к увеличению расстояния между осушителями. Например, при лесокультурном освоении богатых торфяников можно ограничиваться редкой сетью осушителей, так как лесные культуры в молодости довольствуются малой нормой осушения, а по мере развития с усилением транспирации увеличивают суммарное испарение, способствуя понижению грунтовых вод.

Лесоводственный метод определения расстояния между осушителями основан на выявлении изменения влияния осушения на рост леса по мере удаления от каналов. Расстояние от канала на участке, где производительность древостоя снижается на один класс бонитета по сравнению с производительностью возле канала, принимается за половину расстояния между осушителями. Недостатком этого метода является то, что снижение влияния осушения по мере удаления от осушителей происходит постепенно и трудно установить предельную удаленность влияния осушения. Даже в сходных лесорастительных условиях влияние осушения на рост будет распространяться по-разному в зависимости от глубины осушителей, уклонов поверхности, состава и производительности древостоя. Совершенно недопустим лесоводотсвенный метод определения расстояний между осушителями по оценке эффективности осушения на участках, осушенных одиночными каналами.

Технико-экономический метод определения расстояния между осушителями выявляет наибольшую рентабельность средств, вкладываемых в осушение. Очень высокую производительность древостоев можно получить при очень густой сети осушителей и дорогостоящем строительстве. Технико-экономический метод не ставит целью максимальное увеличение потенциально возможного прироста при данном богатстве почв. Его задачей является наивыгоднейшее соотношение расходов на осушение и доходов от него. Такой метод требует точного прогнозирования изменения прироста на разных удалениях от каналов, что сложно сделать. Это и является его недостатком.

Комплексный метод предлагает определять расстояние на основе всех вышеизложенных методов или части их.

По мере интенсификации лесного хозяйства расстояния между осушителями стали уменьшаться. В конце прошлого века расстояния между осушителями принимались равными 1067 м при глубине их до 1,6 м. А.Д. Дубах в 50-х годах рекомендовал расстояния на сфагновых болотах в размере 300 м, на низинных - 300-500 м. В те же годы, когда началось широкое развитие работ по осушению лесных земель, расстояния принимались до 300-400 м. В настоящее время на основе исследований различных научных учреждений и производственного опыта рекомендуются значительно меньшие расстояния (табл. 18). При грунтово-напорном питании расстояние между осушителями, указанные в табл. 18, уменьшаются на 25-30%. Снижаются на 20-25% упомянутые расстояния и при осушении лесов зеленых зон, используемых для отдыха, а при осушении лесопарков их следует уменьшать на 30-35 %.

Влияет на расстояние между осушителями и уклон местности. Располагая осушители под острым углом к горизонталям при уклонах 0,005-0,01, расстояния следует увеличить на 5-15 %.

Понижение уровня грунтовых вод на осушенных землях определяется не только отводом воды осушительными каналами, но и расходом влаги на суммарное испарение. Величина испарения, как отмечалось в гл. 1, сильно меняется в разных зонах, уменьшаясь с севера на юг. Поэтому территория Российской Федерации разделена на девять климатических зон (табл. 19). Х.А. Писарьков и А.Ф. Тимофеев, принимая расстояния между осушителями в центральной зоне за 1, для остальных зон рекомендуют определять их с учетом зональных коэффициентов. В табл. 19 приведены уточненные на основе последних исследований зональные коэффициенты.

Расстояния между каналами при осушении земель под сельскохозяйственные культуры можно ориентировочно принимать по табл. 20. Меньшие расстояния рекомендуются для условий грунтово-напорного типа водного питания и водоупорных подстилающих грунтов.

6.3. Продольный профиль каналов

Допустимая скорость движения воды в каналах. Вода в незакрепленных руслах каналов, взаимодействуя при движении с дном и стенками (откосами) каналов, разрушает их,

Таблица 18

Расстояние между осушителями на лесных землях

Группа типов леса	Глубина торфа, м	Подстилающий грунт	Расстояния между осушителями, м
I. Сосняки, ельники, смешанные леса в условиях низинного и начальной стадии переходного заболачивания:			
а) болотно-широкотравные, разнотравные, осоково-тростниковые	0,3-0,6	Глины, суглинки	170-190
	0,6-1,0	То же	190-210
	0,3-0,6	Супеси и мелкозернистые пески	240-260
	0,6-1,0		220-240
	0,3-0,6	Пески средние и мелкозернистые	270-290
	0,6-1,0		240-260
	1,0	Торф	210-230
б) осоково-сфагновые, тростниково-сфагновые, черничко-сфагновые, разнотравно-сфагновые	0,3-0,6	Глины, суглинки	110-120
	0,6-1,0	Глины, суглинки	130-150
	0,6-1,0	Супеси и мелкозернистые пески	150-170
	0,6-1,0	Пески средне- и крупнозернистые	170-190
	1,0	Торф	140-160
II. Сосняки, ельники и смешанные леса в условиях переходной и начальной стадии верхового типов заболачивания:			
а) долгомошниково-сфагновые	0,3-0,6	Глины, суглинки	150-170
	0,6-1,0	То же	170-190
	0,3-0,6	Супеси и мелкозернистые пески	190-210
	0,6-1,0		160-180
	0,3-0,6	Пески средние и мелкозернистые	210-230
	0,6-1,0		180-200
	1,0	Торф	170-200
б) долгомошниково-сфагновые	0,3-0,6	Глины, суглинки	130-150
	0,6-1,0	То же	140-160
в) сфагново-кустарничковые	0,3-0,6	Супеси и мелкозернистые пески	150-170
г) сфагново-пушицевые	0,6-1,0		130-150
	0,3-0,6	Пески средние и мелкозернистые	160-180
	0,6-1,0		150-170
	1,0	Торф	140-160
III. Сосняки V-Va классов бонитета с зольностью торфа более 3%			
а) сфагновые	1,0	Торф	100-110

Примечания: 1. На участках с незаторфованными землями и периодическим избыточным увлажнением принимается расстояние 250-350 м.

2. Расстояния между осушителями даны при их глубине 1 м после осадки торфа; при изменении глубины осушителей на 0,2 м расстояние между ними изменяется на 10-15 %.

Таблица 19

Зональные коэффициенты для определения расстояний между осушителями

№ зоны	Республика, область	Поправочные коэффициенты
I	Мурманская обл., северная часть Архангельской обл., северная часть Карелии	0,55-0,60
II	Архангельская обл., южнее Полярного круга, северная часть Республики Коми, южная часть Карелии (южнее 64^0- с.ш.)	0,60-0,70
III	Ленинградская, Вологодская обл., северная часть Кировской и Пермской обл., Республика Коми	0,70-0,85
IV	Новгородская, Ярославская, Ивановская, Костромская обл., северная часть Тверской и Нижегородской обл., южная часть Кировской обл.	0,90-0,95
V	Псковская, Смоленская, Московская, Владимирская, Рязанская обл., южная часть Тверской и Нижегородской обл. и др.	1,00
VI	Брянская, Орловская, Калининградская обл., Татарстан, Башкирия	1,10-1,20
VII	Белоруссия, юг	1,25-1,50
VIII	Томская, Омская, Кемеровская, Новосибирская, Свердловская обл., южная часть Тюменской обл.	0,80-0,90
IX	Челябинская, Курганская обл., Удмуртия	1,00-1,10

Таблица 20

Расстояния между осушителями при сельскохозяйственном использовании болот, м (по Х.А. Писарькову)

Культуры	Тип болот	Зона			
		северная	северо-западная	северо-восточная	центральная
Луговые	Низинные	40-50	50-60	60-80	80-100
	Переходные	30-40	40-50	50-70	70-80
Полевые	Низинные	30-45	50-60	60-70	70-80
	Переходные	20-25	35-45	45-60	60-65
Овощные	Низинные	25-40	40-50	50-60	60-70
	Переходные	20-35	30-35	35-40	45-60

захватывает частицы грунта и транспортирует их, перемещая в придонном слое во взвешенном состоянии. Скорость течения воды, при которой происходит постоянное движение частиц грунта, называется р а з м ы в а ю щ е й с к о р о с т ь ю . Частицы грунта, образовавшиеся за счет размывания каналов и в процессе смыва с откосов и берегов каналов, образуют твердый сток. В процессе перемещения взвешенный частицы твердого стока при определенных скоростях движения воды могут откладываться в каналах. Скорость движения воды, при которой наносы поддерживаются потоком во взвешенном состоянии, называются н е з а и л я ю щ е й с к о р о с т ь ю .

Проектируя осушительные системы, необходимо принимать скорости течения выше незаиляющих и ниже размывающих. При гидравлических расчетах каналов рекомендуется принимать определенные максимально допустимые скорости (табл.21).

Таблица 21

Максимально допустимые скорости воды в каналах

Грунт	Размер фракций, мм, или степень разложения торфа, %	Скорость, м/с
Песок:		
крупный	1,0-2,5 (90 % от веса)	0,60-0,75
средний	0,25-1,0 (80 %)	0,45-0,60
мелкий	0,05-0,25 (80 %)	0,35-0,45
Суглинок:		
тяжелый	0,01 (35 % от веса)	0,70-1,30
средний	0,01 (22 %)	0,60-1,00
легкий	0,01 (17 %)	0,50-0,70
Торф:		
сфагновый	55	0,65-0,75
гипново-осоковый	55	0,85-0,90
древесный	70	0,40-0,45

П р и м е ч а н и е . Минимальные скорости принимаются равными 0,2-0,4 м/с.

Уклоны для каналов. С учетом обеспечения неразмываемости и незаиляемости русла каналов регулирующей сети уклоны дна принимаются в пределах 0,0007-0,005. При малых уклонах поверхности в условиях плоского рельефа допускается снижение уклонов до 0,0005. При осушении незначительных водосборов и устройстве одиночных каналов по тальвегам допустимы уклоны до 0,01, особенно на болотах со слаборазложившимся торфом. Для каналов проводящей сети и

оградительных каналов рекомендуется принимать уклоны в пределах 0,0003-0,005. Для каналов с водосборной площадью более 10 тыс. га допускается снижение уклонов до 0,00015-0,00020.

При больших уклонах для уменьшения скорости движения воды устраивают перепады или быстротоки (см. рис. 43,44).

Проектирование каналов (составление профилей) начинается с проектирования регулирующей сети (осушителей, нагорных и ловчих, тальвеговых каналов), Далее составляют профили проводящих каналов (собирателей), на которых отмечают места впадения регулирующих каналов и высотное положение их дна. Последними составляют продольные профили магистральных каналов, на которых также отмечают места впадения и отметки дна впадающих в них каналов.

Продольные профили каналов строят по отметкам, взятым с плана пикетажа, разбитого через 100 м по оси каналов. Продольные профили (рис. 36) строят по принятым в курсе геодезии правилам.

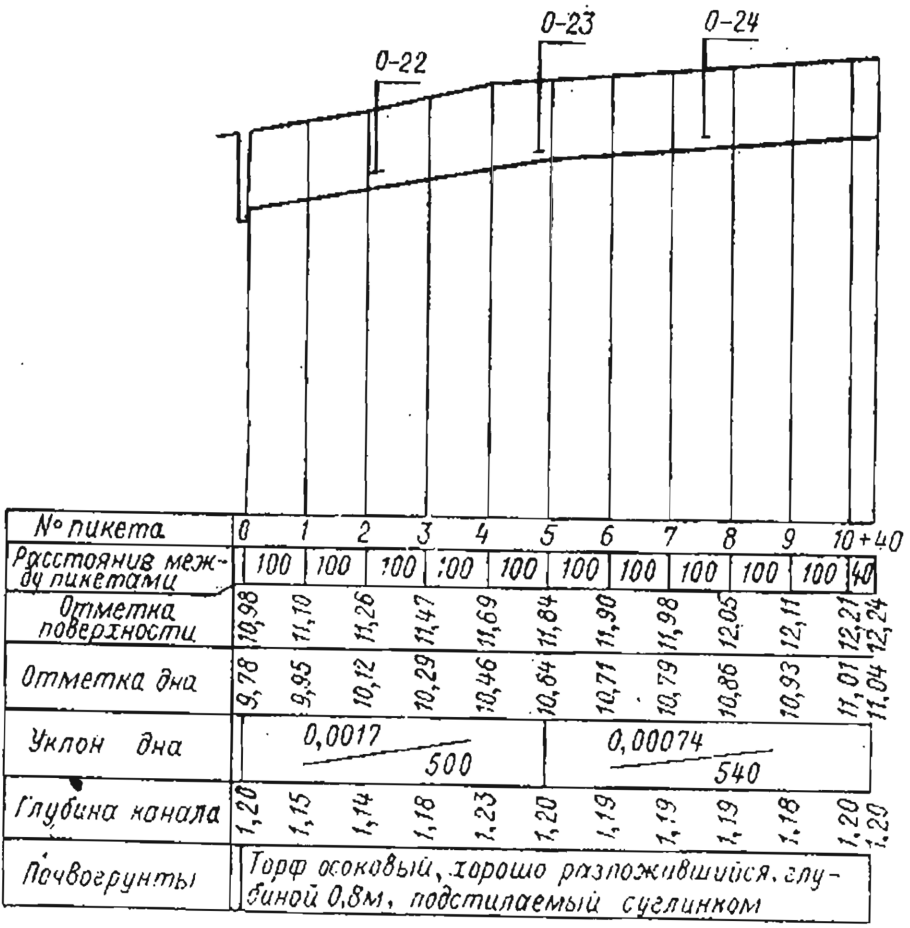


Рис. 36. Продольный профиль осушителя

Глубина каналов. В зависимости от назначения каналы осушительной сети устраивают различной глубины. На минеральных грунтах каналы делают глубиной 0,7-0,8 м, на оторфованных землях их глубина зависит от почвенно-грунтовых условий и глубины торфа (табл. 22).

Таблица 22

Минимальная глубина осушителей

Мощность торфа, м	Проектная глубина осушителей с учетом осадки торфа до 25 %, м	Минимальная установившаяся глубина осушителей, м
0,1-0,5	0,9-1,0	0,8-0,9
0,6-1,3	1,1-1,2	1,0
Более 1,3	1,3-1,5	1,2

При осушении неглубоких торфяников осушители, если дно их располагается на границе торфа и подстилающего грунта, следует заглублять на 0,1-0,2 м в минеральный грунт, подстилающий торф. Ловчие каналы при глубине водоупора не более 2,5-3,0 м должны врезаться в водоупорный горизонт.

Глубина воды в каналах регулирующей сети (осушителях) летом не должна превышать 5-10 см. Собиратели устраивают на 10-15 см глубже осушителей, а глубину магистральных каналов принимают на 20-30 см больше глубины транспортирующих собирателей. Необходимость увеличения глубины каналов транспортирующей сети по сравнению с регулирующими каналами объясняется тем, что в меженный период горизонт бытовых вод проводящих каналов не должен подтапливать и затруднять сток воды из регулирующих каналов.

6.4. Осадка торфа

Определяя глубину каналов, следует учитывать, что после осушения происходит осадка торфа. Основной причиной осадки является отдача воды торфом вследствие понижения уровней грунтовых вод после устройства осушительных каналов. Выше показано, что в неосушенных торфяниках содержание воды достигает 85-95 , а в торфах верховых болот - до 98 % объема. До осушения торф как бы плавает в воде. После понижения грунтовых вод верхние слои торфа, лишенные гравитационной воды, увеличивают давление на

нижние слои, уплотняя их. Происходит осадка торфа, продолжающаяся на протяжении многих лет. Однако в основном торф оседает в первые 1-2 года после осушения.

Исследованиями установлено, что на верховых, а иногда и переходных болотах в первые годы после осушения осадка поверхности болот может достигать 0,3-0,5 м. Особенно сильно происходит осадка возле каналов осушительной сети.

Уменьшение глубины канала после осадки торфа, если каналы залегают целиком в торфе, можно определить по формуле:

$$T_{пр} = m\,T_0, \qquad (89)$$

где $T_{пр}$ - проектная глубина канала, м; m - коэффициент, учитывающий осадку торфа (табл. 23); T_0 - глубина канала в торфе после его осадки, м.

Таблица 23

Показатели осадки торфа

Показатели	Плотность торфа			
	плотный	средней плотности	довольно рыхлый	рыхлый
Объемный вес, г/см^3	0,15	0,12-0,15	0,10-0,12	0,08-0,1
Коэффициент:				
болота низинные	1,20	1,25	1,35	1,50
болота верховые	1,30	1,40	1,50	1,65

Величина осадки зависит от плотности торфа, находящейся в зависимости от объемного веса торфа, характеризующего содержание в нем твердой фазы (г/см^3), и типа болота.

Поскольку осадка торфа зависит от глубины торфа, то ее величину приближенно можно определить в зависимости от глубины торфа (табл. 24).

Таблица 24

Коэффициент осадки торфа $К_0$

Плотность торфа	Глубина торфа, м		
	0,1-0,6	0,6-1,3	Более 1,3
Плотный	0,88	0,83	0,81
Средней плотности	0,82	0,77	0,72
Довольно рыхлый	0,75	0,66	0,61
Рыхлый	0,67	0,54	0,48

Установив осадку торфа и определив проектную глубину канала, вычисляют, с учетом уклона, отметки дна каналов на продольных профилях (см. рис. 36).

6.5. Поперечный профиль каналов

Правильный выбор поперечного сечения каналов в значительной степени обеспечивает сохранность осушительной сети. Поперечный профиль характеризуется глубиной канала, шириной дна и крутизной откоса. Для обеспечения механизации работ и в связи с небольшими расходами воды каналы регулирующей сети обычно устраивают трапецеидальной формы (рис. 37а).

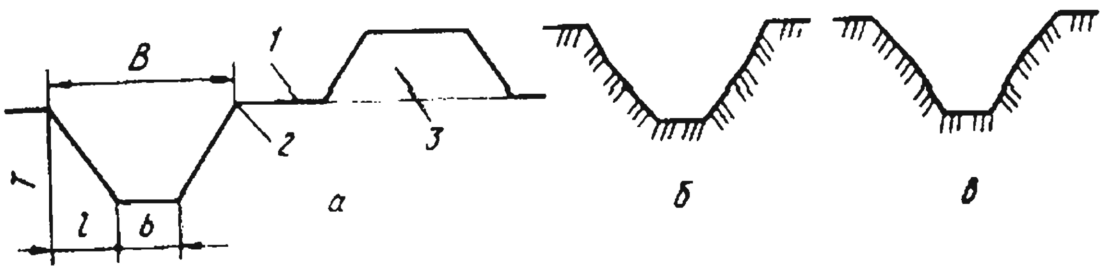


Рис. 37. Поперечный профиль каналов:
а- трапецеидальный: *1* – берма; *2* – бровка; *3* – кавальер; *б*- параболический; *в*- сложный

В большинстве случаев трапецеидальными устраивают и каналы проводящей сети. Однако на участках, где необходимо строительство глубоких каналов с большой выемкой грунта, целесообразно создавать каналы близкие к параболическому сечению. Параметры параболы принимаются в зависимости от характера грунта и глубины воды в каналах согласно «Руководству по осушению лесных земель» *[29]*.

Для нагорных каналов проектируют сложные откосы, принимая нижнюю их часть по углу естественного откоса грунта, а верхнюю делая более пологою (рис. 37, б).

Откосы являются наиболее важным элементом поперечного профиля каналов. Крутизну откосов выражают через коэффициент, который вычисляют по формуле из отношения

$$m = l / T, \qquad (90)$$

где m - коэффициент откоса; l – заложение откоса; T - глубина канала (рис. 37, а).

Коэффициент откоса определяют по углу естественного откоса грунта, который зависит от связности частиц грунта и их влажности. Устойчивость откоса уменьшается с увеличением глубины канала, поэтому чем глубже каналы, тем более пологими устраивают откосы и бóльшими принимают коэффициенты откосов. На осушение болот влияет также и степень разложения торфа. По степени разложения торф подразделяется (в скобках указывается величина степени разложения) на слаборазложившийся (до 25 %), среднеразложившийся (25-45 %), сильноразложившийся (более 45 %). В зависимости от степени разложения торфа принимаются коэффициенты откоса (табл. 25).

Таблица 25

Коэффициент откоса

Почвогрунт	Осушители	Проводящие и оградительные каналы глубиной, м		Водоприемники
		0,8-1,5	более 1,5	
Глина (фракции размером 0,005 мм, 33%)	0,75-1,00	1,00-1,25	1,25	1,25-1,5
Суглинок:				
легкий	1,25-1,50	1,50	1,50-1,75	1,75-2,00
средний	1,00-1,25	1,25	1,25-1,50	1,75-2,00
тяжелый	1,00	1,00-1,25	1,25-1,50	1,50-1,75
Супесь	1,50	1,50	1,50-1,75	1,75-2,00
Плывун	2,00	2,00-2,50	2,25-3,00	2,75-3,00
Песок: среднезернистый (фракции размером 0,25 мм, менее 80%)	1,50	1,50-1,75	1,75-2,00	2,00-2,50
крупнозернистый	1,25-1,50	1,50-1,75	1,50-2,00	2,00-2,25
Торф осоковый:				
слаборазложившийся	0,50	0,50-0,75	0,75-1,00	1,00-1,25
хорошо разложившийся	0,75	0,75-1,00	1,00-1,25	1,25-1,50
Торф сфагновый:				
слаборазложившийся	0,50	0,50-0,75	0,75-1,00	1,00-1,25
хорошо разложившийся	0,75	0,75-1,00	1,00-1,25	1,25-1,50
Торф древесный:				
слаборазложившийся	1,00	1,00	1,00-1,25	1,25-1,50
хорошо разложившийся	1,00-1,25	1,25-1,50	1,50-1,75	1,50-1,75

Примечание. При строительстве каналов в мелкозернистом песке и плывунах необходимо проводить крепление нижней части откоса.

Из приведенных в таблице коэффициентов наибольшие значения принимаются при большей глубине каналов. В слоистых грунтах для проводящих каналов можно проектировать каналы со сложным профилем, характеризующимся двумя коэффициентами, где коэффициент каждого слоя принимается соответственно его грунту (рис. 36, б, в). Для регулирующей сети в слоистых грунтах коэффициент принимается по нижнему слою грунта, если мощность его составляет не менее половины глубины канала. При заглублении дна канала в песок более чем на 0,25-0,30 м коэффициент откоса следует принимать по песку.

Коэффициенты откосов каналов принимают обычно кратными 1/4 (0,25): (0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0 и т.д.). Отсюда и названия откосов: четвертной, половинный, трехчетвертной, одинарный, пятичетвертной, полуторный, семичетвертной, двойной и т.д.

Используя нижеприведенную формулу (90), легко вычислить коэффициент откоса существующих каналов. Для этого следует измерить глубину T, ширину по верху B и ширину по дну b (рис. 37, а):

$$l = \frac{B - b}{2}; \qquad m = \frac{l}{T} \cdot \tag{90}$$

6.6. Обеспечение устойчивости откосов каналов

С течением времени, вследствие влияния естественных причин (ливневых осадков, замерзания и оттаивания и др.) и антропогенных факторов (ходьбы по бермам, пастьбы скота и др.) происходит деформация и разрушение откосов. Для длительного поддержания каналов в рабочем состоянии применяют различные приемы и способы.

Устройство пологих откосов. Проектирование и строительство откосов должны отвечать установленным нормативам. В условиях слоистых грунтов, где торфяные почвы подстилаются песками, а также на песчаных обводненных грунтах, сильно подвергаемых разрушению, коэффициенты откоса следует принимать по песку. Для нагорных каналов в песках коэффициент, особенно с верховой стороны, следует принимать равным 2-3 с обязательным устройством сточных воронок через 30-40 м. Пологие откосы обеспечивают более

длительную сохранность осушительной сети. Недостатком этого способа является большой объем земляных работ и значительная ширина каналов по верху.

Самозакрепление откосов каналов. С течением времени откосы каналов зарастают травянистой, кустарниковой и древесной растительностью. Для сохранения устойчивости откосов при ремонте каналов следует производить очистку дна и нижней части откоса на высоту уровня бытовых вод. Древесную и кустарниковую растительность удаляют только на верхней части откосов и берегах каналов. Корни древесно-кустарниковой растительности и дернина травянистой растительности способствуют устойчивости откосов.

Крепление откосов. Откосы укрепляют жердями, хворостом, железобетоном. Крепление требует значительных затрат, поэтому на проводящей сети его применяют, как правило, в случаях, когда другие вышеназванные способы не обеспечивают сохранности откосов каналов. В лесном хозяйстве чаще применяют жердяное, хворостяное, реже фашинное крепление.

Жердяное крепление производят следующим образом (рис. 38, а). В дно канала у основания откоса через 1,5-2 м по длине канала вертикально на глубину 0,6-0,7 м забивают колья диаметром 8-10 см. К кольям со стороны откоса крепят жерди из хвойных пород толщиной не менее 7-8 см. Высота крепления должна превышать горизонт бытовых вод в каналах на 5-10 см. Поэтому высота крепления для собирателей должна составлять 20-30 см, для магистральных каналов - 40-50 см. Для предотвращения сжатия грунтом стенок крепления между кольями внизу на дне и на верху кольев ставят распорки.

Хворостяное крепление устраивают в виде плетня (рис. 38, б). Для этого у основания откосов вдоль каналов через 0,3-0,4 м на глубину 0,5-0,6 м забивают колья диаметром 5-7 см. Колья плотно оплетают хворостом (из ивы, березы, хвойных пород). За плетнем укладывают дерн или торф.

Фашинное крепление выполняют из ивового, березового, ольхового, елового хвороста, для чего вяжут фашины толщиной 25-30 см, укладывая их у оснований откосов и прикрепляя к откосу деревянными кольями диаметром 4-6 см, забиваемыми сквозь фашину (рис. 38, в). В зависимости от высоты крепления, можно укладывать одну или две фашины.

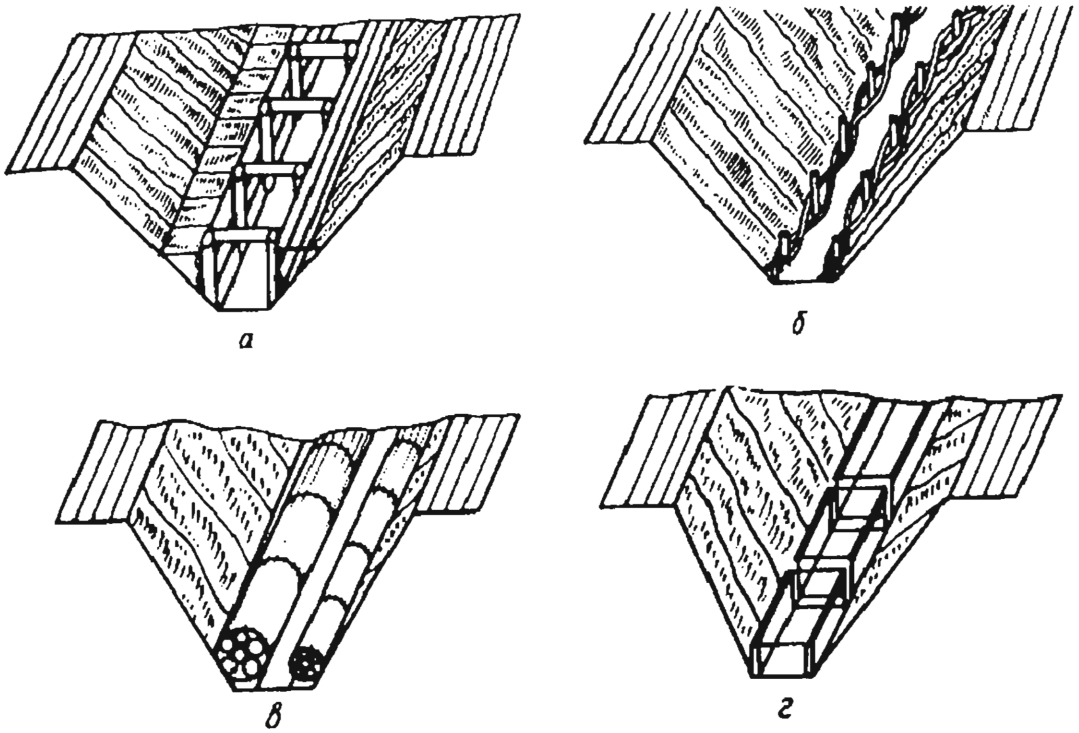


Рис. 38. Крепление откосов:
а- жердяное; *б*- хворостяное; *в*- фашинное; *г*- железобетонное

Для крепления проводящих каналов в лесах зеленых зон, лесопарках и парках можно применять железобетонные лотки (рис. 38, г) высотой 0,3 м, шириной около 0,5 м. Лоток препятствует разрушению откосов и дна каналов. Длина звеньев около 3 м. Лотки укладывают с разрывом в 3-5 см, через которые в каналы поступает грунтовая вода.

6.7. Гидрологические расчеты

Гидрологические расчеты проводят для вычисления расчетных модулей стока, необходимых для определения размеров поперечных сечений водоприемников, каналов проводящей сети (магистральных и собирателей) и сооружений. При гидрологических расчетах устанавливают также модули стока для поверочных расчетов каналов на устойчивость против размыва и заиления и проверки сооружений на пропуск воды.

При осушении лесных земель гидрологические расчеты проводят для следующих фаз режима стока: весеннего половодья,

летне-осенних паводков, меженного периода (гл. 3). Каналы проводящей сети, а также водоприемники рассчитывают на пропуск летне-осенних паводков 25%-ной обеспеченности. По модулям стока 25%-ной обеспеченности производится проверка таких каналов на устойчивость размыву. При осушении в лесах зеленых зон проводящие каналы и водоприемники рассчитывают по модулям стока летне-осенних паводков 10%-ной обеспеченности. Устойчивость русел каналов на размыв проверяется по модулям стока весенних половодий 25%-ной обеспеченности. Проверку каналов на заиление при осушении лесных земель и высоту крепления откосов в неустойчивых грунтах проводят по модулям стока 50%-ной обеспеченности. Расчет мостов и труб на осушительных системах проводят по расчетным модулям 1-5%-ной обеспеченности. Трубы рассчитывают на безнапорный режим, не допуская полного затопления труб в расчетный период.

Определение расчетных модулей стока. Расчетные модули определяют по фактическим наблюдениям, по аналогам или рассчитывают по формулам. Для определения модулей стока по фактическим наблюдениям необходимо иметь длительный (50-70-летний) ряд наблюдений на гидрологических постах за расходами воды. Минимальный срок наблюдений, допустимый для гидрологических расчетов осушительных систем, принимается в 10-15 лет. Обработка наблюдений производится по методике, изложенной в гл. 3 (табл. 8, 9). Расчетные модули стока определяются по теоретической кривой обеспеченности (рис. 21) и по табл. 9.

При отсутствии фактических наблюдений на гидрологических постах, выполненных в той же природной зоне, где производится проектирование осушительных систем, подбирают бассейн-аналог. Площадь водосбора бассейна-аналога может отличаться от площади неизученного бассейна, где ведется проектирование, не более чем в 5 раз при площади водосбора 1000 км^2 и в 10 раз - менее 1000 км^2.

Для перехода от модулей стока, определенных по аналогам, к модулям стока с другими водосборными площадями можно использовать редукционную формулу:

$$q_P = q_{II}\frac{(F_{II}+C)^{0,2}}{(F_P+C)^{0,2}}, \quad \text{или приближенно} \quad q_P = q_{II}\sqrt[4]{\frac{F_{II}}{F_P}}, \quad (91)$$

где $q_р$ и $F_р$ - модуль стока и площадь водосбора для расчетного сечения; $q_н$ и $F_н$ - те же значения для аналога, где проводились наблюдения; C - добавка к площади водосбора (табл. 26).

Таблица 26

Параметры величин формулы (92)

Район	Обеспеченность, %	Максимальная интенсивность снеготаяния a_c, мм/ч	Коэффициент стока ε	Элементарный модуль максимального стока A_c	Добавка к площади водосбора C	Коэффициент редукции n
Северный	1	10,0	1,0	2,80	15	0,17
	10	8,8	1,0	2,46		
	25	7,2	1,0	2,04		
Карельский	1	6,8	1,0	1,90	15	0,20
	10	5,3	0,9	1,34		
	25	4,6	0,8	1,03		
Центральный	1	8,0	1,0	2,24	10	0,20
	10	6,2	0,9	1,56		
	25	5,5	0,8	1,23		
Западные склоны Урала	1	8,5	1,0	2,38	20	0,16
	10	7,2	0,9	1,81		
	25	6,4	0,8	1,43		
Восточные склоны Урала	1	7,1	1,0	1,99	10	0,16
	10	5,9	0,9	1,49		
	25					

Максимальный модуль стока весеннего половодья с частично заболоченных водосборов можно определять по формуле Д.Я. Соколовского:

$$q_{max} = \frac{A_c}{(F+C)^n}\delta = \frac{0{,}28 a_c \varepsilon}{F+C}\delta \quad , \qquad (92)$$

где q_{max} - максимальный модуль стока весеннего половодья, м^3/с·км^2; A_c - элементарный модуль максимального стока; F - площадь водосбора, км^2; a_c - максимальная часовая интенсивность снеготаяния (табл. 26); 0,28 - коэффициент размерности при выражении a_c; ε - коэффициент стока (табл. 27); n - коэффициент редукции; δ - коэффициент снижения пика половодья, находящийся в зависимости

от озерности, заболоченности и лесистости водосбора, определяемый по формуле:

$$\delta = 1 - K\,lg\,(a\alpha + 0{,}1\beta + 0{,}05\gamma + 1)\,, \qquad (93)$$

где α, β, γ - площади озер, болот и лесов в % от площади водосбора; a - коэффициент, учитывающий влияние озерности, равный 1,0; 0,9; 0,8, и 0,7 для озерности соответственно 0,5; 5-10; 10-15 и 15 %; K - районный коэффициент, в среднем равный 0,72 для Карелии и Кольского полуострова, 0,82 - для района Балтийского, Белого и Баренцева морей, 0,95 - для районов Верхней Волги, Камы и восточных склонов Урала.

Максимальные модули стока дождевых паводков в летне-осенний период с частично заболоченных водосборов можно определить по формуле:

$$q_{max} = \frac{A_c}{(F + C)^n}\delta \quad . \qquad (94)$$

Обозначения в формуле те же, что и в формуле (92). Значения недостающих величин, входящих в формулу, приведены в табл. 27.

Бытовой модуль стока по исследованиям Государственного гидрологического института рекомендуется принимать равным 50 % обеспеченности и определять по формуле:

$$q_{быт} = q_c\,(F^{0,04} m_K - 1)\,\delta\,, \qquad (95)$$

где $q_{быт}$ - бытовой модуль стока, л/с·км^2; q_c - норма стока л/с·км^2; F - площадь водосбора, км^2; m_K - параметр, учитывающий влияние климатических факторов и гидрологических условий, m_K при 25 %-ной обеспеченности колеблется от 0,90 до 1,60; максимальные значения m_K применяются для условий северо-западной части Кольского полуострова и склонам Уральского хребта, а наименьшие для Ильменско-Ладожской низины; δ - коэффициент, определяемый по формуле:

$$\delta = 1 + 0{,}10\,(\alpha + 0{,}05\beta), \qquad (96)$$

Таблица 27

Параметры величин формулы (94)

Республика, область	Обеспеченность, %	Добавка к площади водосбора C	Элементарный максимальный сток A_0, м/с	Районный коэффициент K
Мурманская	1	15	1,1	0,7
Карелия	10		0,65	
	25		0,46	
Архангельская	1	10	1,48	0,8
Вологодская	10		0,76	
Коми	25		0,54	
Ленинградская	1	10	1,62	0,8
Псковская	10		0,78	
Новгородская	25		0,51	
Кировская	1	10	1,32	1,0
Пермская	10		0,78	
Удмуртия	25		0,57	
Свердловская	1	10	1,62	1,0
	10		0,84	
	25		0,63	

где α, β - площадь озер и болот, % от площади водосбора. Бытовой модуль стока мало зависит от площади водосбора, при водосборе до 100 км^2 $F^{0,04}$ можно принять равным 1,15.

Средневысокий летний модуль стока (л/с·га) можно приближенно вычислить по формуле А.Д. Дубаха:

$$q_{л.т} = \frac{3}{\sqrt[3]{F}} \sqrt{\frac{i}{0,0003}} \quad \frac{K_{пр}}{1,55}, \qquad (97)$$

где F - площадь водосбора, га; i - средний уклон рассчитываемого канала; $K_{пр}$ - коэффициент прихода-расхода влаги.

Коэффициент прихода-расхода влаги по областям принимается равным: Архангельская - 1,66, Вологодская - 1,51, Нижегородская -

1,10, Карелия - 1,66, Тверская - 1,62, Кировская - 1,10, Ленинградская - 1,67, Московская - 1,58, Новгородская - 2,00, Пермская - 1,20, Псковская - 1,77.

По расчетным модулям стока рассчитывают расход воды с водосбора:

$$Q_B = q_P F, \qquad (98)$$

где q_P - расчетный модуль стока; F - площадь водосбора.

6.8. Гидравлические расчеты

Гидравлические расчеты проводят для определения размеров поперечных сечений регулируемых водоприемников и проводящих каналов. Поперечные сечения регулирующих каналов (осушителей и др.) принимают без расчета, устанавливая необходимую глубину и ширину по дну 0,3 м с необходимыми коэффициентами откоса.

При гидравлических расчетах по расходам воды заданной обеспеченности подбирают поперечное сечение каналов, способных пропускать необходимые расходы воды. Расчет пропускной способности воды производится при ее уровне на 0,2-0,3 м ниже бровки канала. При осушении парков и лесопарков положение расчетного горизонта принимают равным 0,4-0,5 м ниже бровки. Каналы рассчитывают на пропуск воды после осадки торфа.

При гидравлическом расчете подбирают сечение канала путем сопоставления прихода воды в канал (расхода с водосбора), определяемого но формуле (98), и расхода по каналу, определяемого по формуле:

$$Q_k = \omega V. \qquad (99)$$

Живое сечение канала трапецеидального сечения определяют через коэффициент откоса. Из формулы (90) следует, что $l = mT$. Отсюда ширина канала поверху $B = b + 2\,l = b + 2mT$. Определяя живое сечение потока воды в канале, необходимо знать ширину канала по дну, глубину воды в канале и коэффициент откоса. В этом случае площадь живого сечения определится по формуле:

$$\omega = (b + mh_p)\,h_p, \qquad (100)$$

где b - ширина канала по дну, м; m - коэффициент откоса; $h_р$- расчетная глубина воды в канале, принимаемая равной глубине канала (на торфяниках после осадки торфа), уменьшенной на 0,2-0,4 м.

Скорость воды в канале рассчитывается по формуле Шези:

$$V = C\sqrt{Ri}.$$

Для определения по формуле (15) гидравлического радиуса R необходимо знать смоченный периметр χ (см. гл. 2), который для каналов трапецеидального сечения рассчитывают по формуле

$$\chi = b + 2h_p\sqrt{1+m^2}. \qquad (101)$$

Обозначения те же, что в формуле (100).

Скоростной коэффициент C определяют по формуле Н.Н. Павловского (29) или И.И. Агроскина (31).

Поскольку многие параметры поперечного сечения каналов (откосы каналов, их глубина) находятся в зависимости от определенных факторов и установлены заранее, то изменить живое сечение каналов можно только путем увеличения ширины канала по дну b. Расчет начинают с минимальной ширины по дну - 0,4 м. Выполнив расчет расхода с водосбора по формулам 28, 99, 100, 101, находим расход воды по каналу. Если при минимальной величине b расход по каналу окажется больше прихода или меньше в пределах 5 %, то принятая ширина по дну считается допустимой. Если расход с водосбора превышает расход по каналу более чем на 5 %, расчет повторяется при увеличенной ширине по дну, пока отклонение не окажется в пределах ±5%.

6.9. Гидротехнические сооружения на осушительной сети

Сооружения на открытой осушительной сети подразделяют на три типа: дорожно-транспортные (мосты, трубы-переезды, пешеходные мостики), сопрягающие (перепады, быстротоки, акведуки, дюкеры), регулирующие (шлюзы-регуляторы).

В настоящее время на осушительных системах часто устраивают сооружения из сборных железобетонных конструкций. Однако

при осушении отдаленных объектов в труднодоступных местах можно выполнять эти сооружения из древесины.

М о с т ы строят на водоприемниках и крупных проводящих каналах с расходами воды более 2,0-2,5 м³/с. Их устраивают на свайных, рамно-лежневых или ряжевых опорах.

На водоприемниках целесообразно строить долговечные мосты из сборных железобетонных конструкций. В лесу на проводящих каналах в местах пересечения с дорогами строят деревянные мосты. При ширине канала поверху до 4 м строят однопролетные мосты (рис.39), при ширине от 4 до 8 м - трехпролетные (рис. 40).

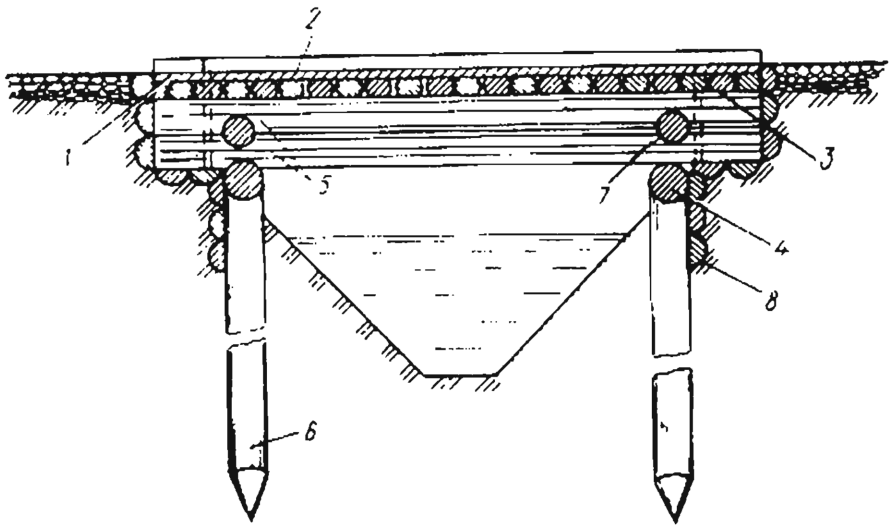


Рис. 39. Деревянный однопролетный балочный свайный мост:
1 - верхний настил; *2* - прижимные пластины; *3* - нижний настил; *4* - насадки; *5* - прогоны; *6* - деревянные сваи; *7* – связь поперечной устойчивости; *8* – боковая отмостка

Устройство мостов с четным числом пролетов нецелесообразно, так как в этом случае возникает необходимость забивки свай в середине канала (по его оси), что нарушает режим движения воды в канале, способствует засорению его влекомыми водой предметами, особенно в период половодий и паводков. Чтобы плывущие по воде предметы не скапливались под мостом, прогоны мостов (балки) должны быть подняты над бровками канала не менее чем на 0,3-0,5 м. Ширина мостов принимается не менее 5-6 м.

Т р у б ы - п е р е е з д ы сооружают при расходах воды менее 2 м³/с. Их изготавливают из колец или готовых железобетонных труб диаметром 0,4-1,2 м. Дно канала в месте укладки трубы тщательно

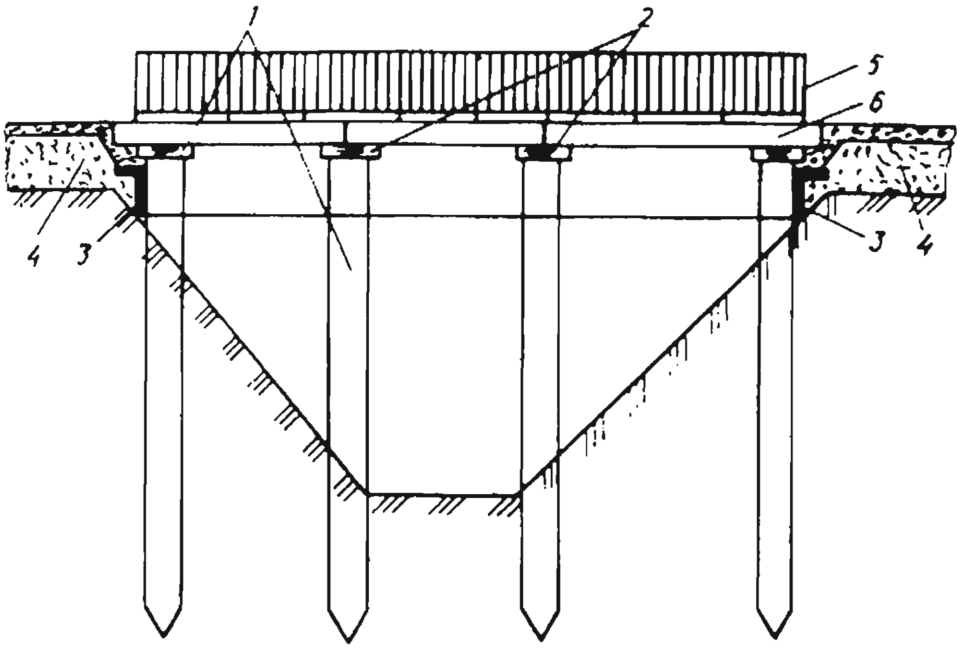


Рис. 40. Сборный железобетонный трехпролетный мост:
1- железобетонные сваи; *2*- насадки; *3*- сборные железобетонные плиты; *4*- насыпь с дорожным полотном; *5*- перила; *6*- блоки перекрытий

выравнивают с подсыпкой под трубу крупнозернистого песка слоем 30 см. На болотах при глубине торфа до 2 м на месте укладки трубы торф вынимают и вместо него укладывают песок, уплотняя его. При глубине торфа более 2 м трубчатые переезды устраивают на сваях. Если трубу составляют из нескольких секций, стыки их бетонируют, заливают битумом и покрывают рубероидом (рис. 41).

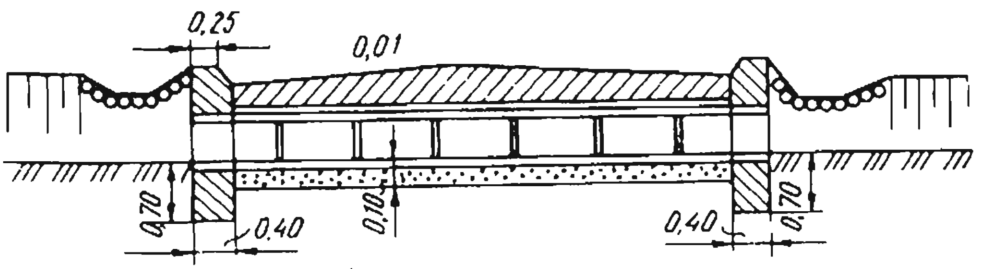


Рис. 41. Труба-переезд под дорогой
Размеры даны в метрах

На концах труб обязательно ставят оголовки толщиной около 0,4 м. При устройстве труб-переездов на болотах следует применять кислотоупорный бетон. Дно трубы располагают на одном

уровне с дном канала или несколько ниже его, чтобы труба не создавала подпора воды.

Пешеходные переходные мостики обязательно устраивают в местах пересечения с существующей сетью тропинок. При отсутствии тропинок мостики ставят при впадении осушителей в проводящие каналы, а по каналам - через 200-300 м.

Шлюзы-регуляторы служат для регулирования уровня воды в каналах осушительной сети с целью снижения стока по каналам летом и улучшения увлажнения корнеобитаемой зоны в сухие периоды, а также в противопожарных целях. Наибольшее распространение имеют деревянные шлюзы (рис. 42). При строительстве такого шлюза поперек канала роют траншею, уходящую в сторону от бровок на расстояние 1,5-2 м. Глубина траншеи должна быть несколько больше глубины канала. В траншею укладывают два направляющих бруса, скрепленных по концам болтами, между ними вбивают шпунтовый ряд на глубину не менее 1-1,5 м под дном канала. В средней части шпунтового ряда делают вырез для пропуска воды, закрываемый досками (шандорой), установленными в пазы между направляющими вертикальными брусьями. В нижней части выреза на шпунтовый ряд в паз надевают горизонтальный брус. Для увеличения срока службы шлюза-регулятора его необходимо антисептировать.

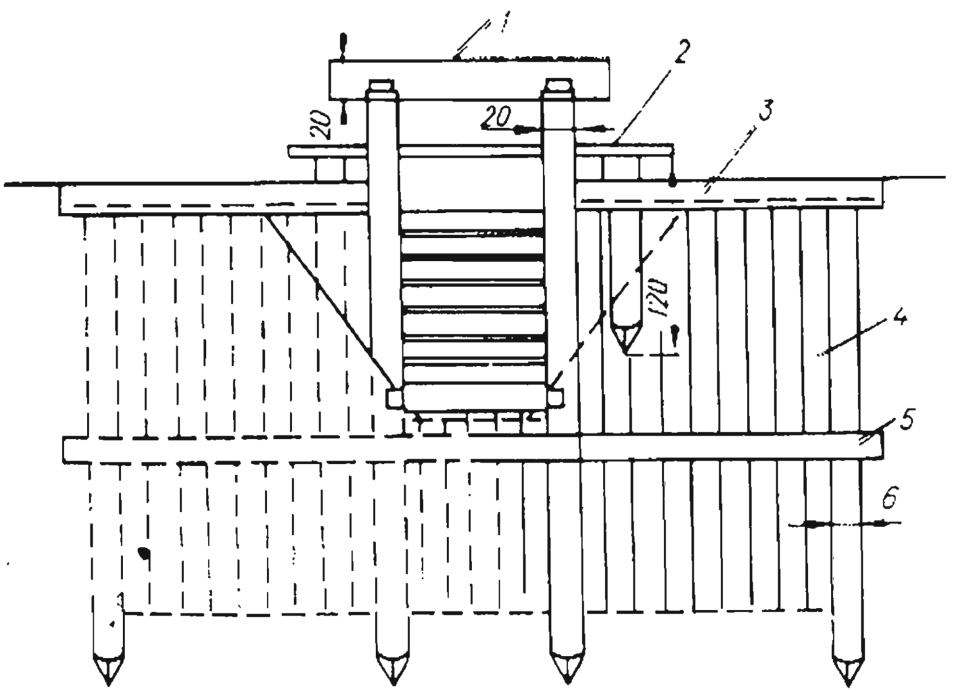


Рис. 42. Деревянный шлюз:
1- шапочный брус; *2*- служебный мостик; *3*- брус-насадка; *4*- шпунтовая стенка; *5*- направляющие брусья; *6*- сваи

При необходимости сбора воды по шлюзу ее расход можно определить по формуле (50) водослива с широким порогом:

$$Q = mb\sqrt{2g}\,H^{3/2} \quad .$$

П е р е п а д ы на осушительных и оросительных каналах (глава 14) устраивают открытые, ступенчатые. Они предназначены для уменьшения скорости движения воды на участках с большими уклонами. Перепад может иметь от одной до нескольких ступеней. Бетонные перепады могут быть выполнены из сборных железобетонных конструкций (рис. 43). Входную часть перепада делают в виде раструба в целях рассредоточения потока на входе, принимая длину понура не менее двух-трех напоров. Ширину перепада рассчитывают также по формуле водослива с широким порогом.

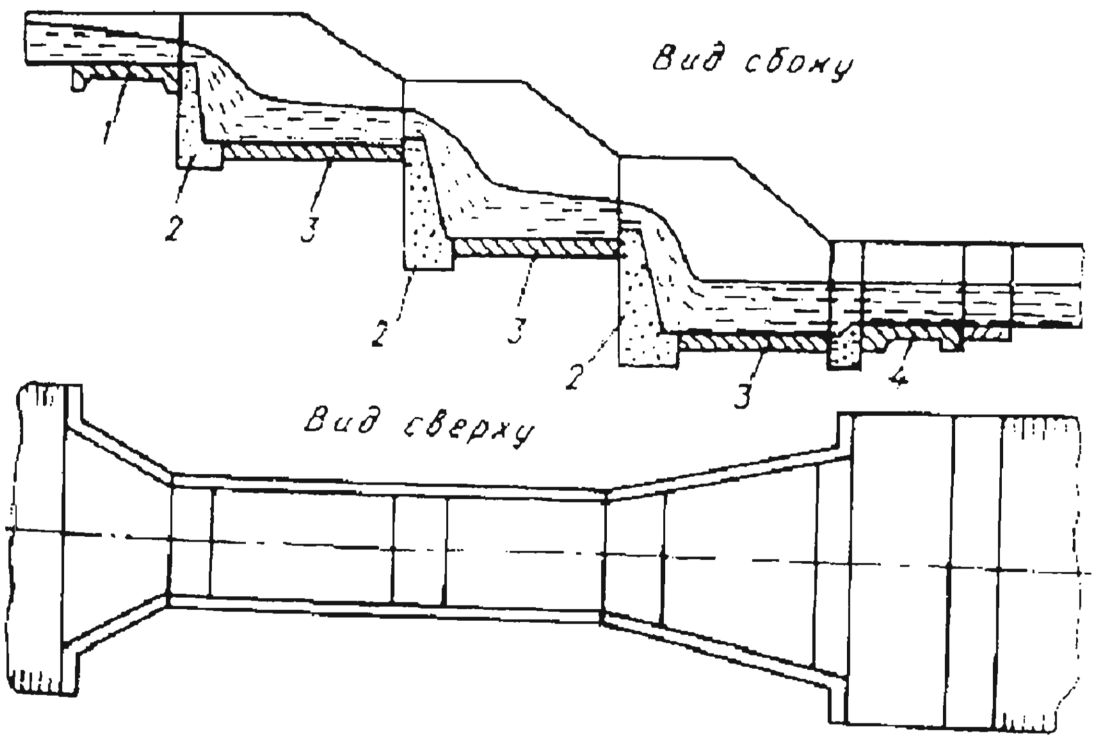


Рис. 43. Ступенчатый бетонный перепад:
1- понур; *2*- стенки падения; *3*- водобойная плита; *4*- выход

Быстротоки (рис. 44) устраивают в виде лотков обычно прямоугольного сечения. Входную и выходную часть, как и у перепадов, делают расширенной для рассредоточения потока и уменьшения

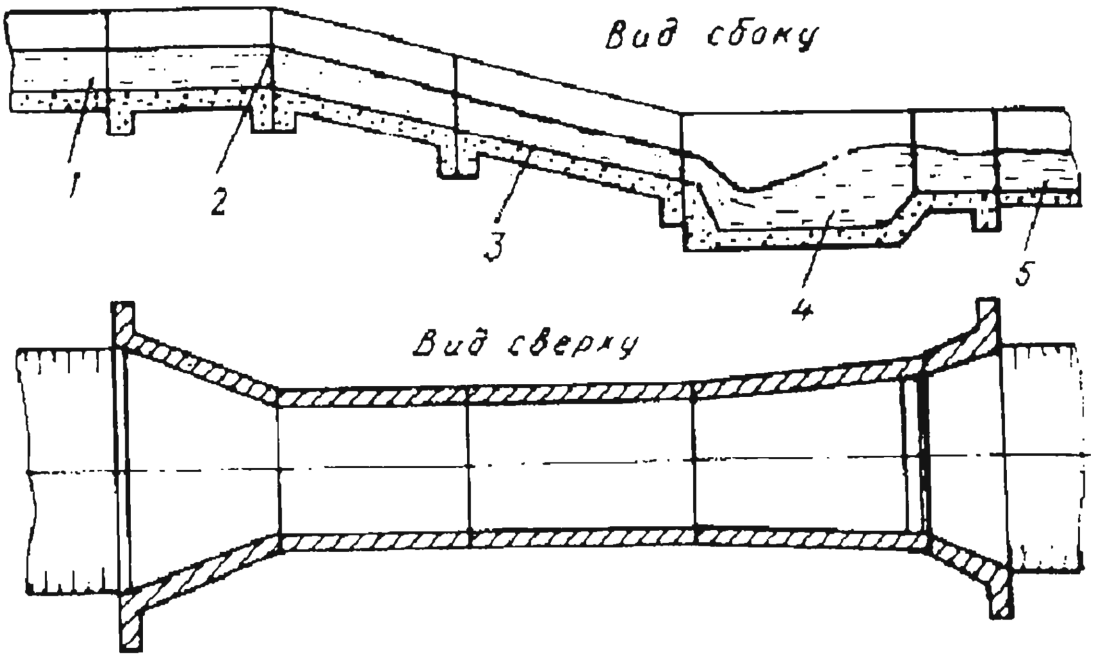


Рис. 44. Быстроток из сборного железобетона:
1- понур; *2*- вход; *3*- сливной пол; *4*- водобойный колодец; *5*- выход

вероятности разрушения сооружения. Для перевода скорости движения воды в спокойный режим на выходе из быстротока ставят успокоитель колодезного типа.

Особенности устройства акведуков и дюкеров рассмотрены в разд. «Орошение».

Контрольные вопросы. 1. Что такое осушительная система? Ее компоненты. 2. Что такое осушительная сеть? 3. Какие существуют методы определения расстояний между осушителями? 4. Для чего применяют зональные коэффициенты при определении расстояний между осушителями? 5. Почему при осушении лесопарков и парков уменьшают расстояния между осушителями? 6. Как учитывается скорость течения воды в каналах при их проектировании? 7. Зависит ли глубина канала от глубины торфа? 8. Как учитывается осадка торфа при проектировании осушительной сети? 9. Как обеспечить устойчивость откосов каналов? 10. Для чего проводят гидрологический расчет каналов? 11. В каких случаях и почему можно проектировать каналы осушительной сети без гидравлических расчетов? 12. Для расходов воды какого периода года проводятся гидравлические расчеты каналов? 15. В каких случаях на осушительной сети строят мосты, а в каких можно использовать трубы-переезды? 14. Какие сооружения устраивают на осушительной сети?

Глава 7
ДРЕНАЖ

При осушении лесных питомников, парков, скверов, приусадебных участков лесхозов и лесничеств и в некоторых других случаях для удобства использования территории осушение открытыми каналами целесообразно заменять дренажем. Слово дренаж (drainage - англ.) означает осушение. Дрены выполняют в виде водопоглощающих линейных трубчатых полостей, располагающихся на определенной глубине с уклоном для обеспечения отвода воды.

7.1. Общие понятия

Для дренажа используют различные материалы (рис. 45), и в зависимости от этого его называют гончарным, пластмассовым, деревянным трубчатым, жердяным, фашинным, каменным. Устраивают также кротовый и щелевой дренаж, не требующий строительных материалов. Наибольшее распространение получил гончарный и пластмассовый дренаж.

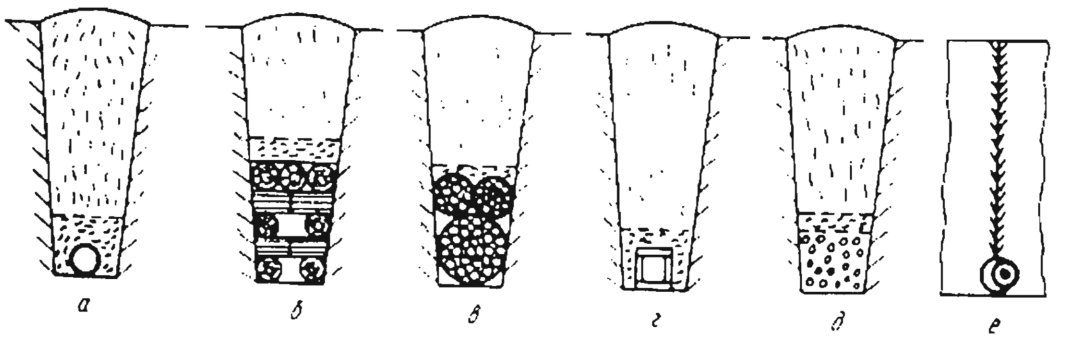


Рис. 45. Виды дренажа:
а- гончарный; *б*- жердяной; *в*- фашинный; *г*- деревянный трубчатый; *д*- каменный; *е*- кротовый

При строительстве дренажа роют траншеи определенной глубины для укладки дренажного материала (рис. 46). Вода в дрены, так же как и в открытые каналы, поступает за счет напора, создаваемого разностью уровней воды в дренах и грунтовой воды между дренами (см. рис. 31). Дренажная система состоит из дрен разного назначения. Регулирование водного режима осушаемой территории

достигается дренами-осушителями. Для поступления воды из дрен-осушителей служат коллекторы, из которых вода поступает в главные коллекторы, а затем в водоприемники. Главные коллекторы, а иногда и простые коллекторы устраивают в виде открытых каналов. Для обеспечения стока воды дрены всех назначений должны иметь определенный уклон.

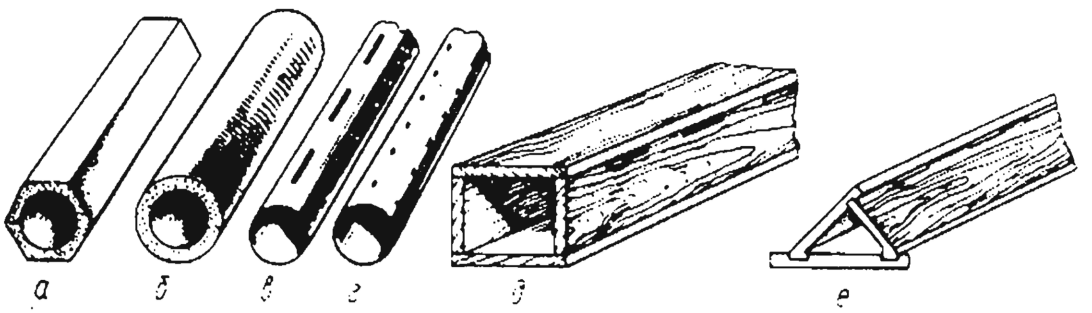


Рис. 46. Типы дренажных труб:
а, б – гончарные; *в, г* - пластмассовые; *д, е* - деревянные

При осушении значительных по площади переувлажненных территорий необходима система дрен (систематический дренаж), включающих дрены-осушители и коллекторы. Осушение отдельных понижений достигается выборочным дренажем, иногда состоящим из отдельных одиночных дрен-осушителей.

7.2. Гончарный дренаж

Трубки для гончарного дренажа изготавливают из хорошо обожженной глины. По ГОСТ 8411-74, внутренний диаметр трубок принимается равным 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 и 250 мм, при длине каждой трубки 333 мм. Трубки могут быть цилиндрической формы или граненые (шести- или восьмигранные). Цилиндрические трубки признаны лучшими, так как при укладке их в траншеи нет необходимости в подгонке граней, что повышает производительность труда и качество работ, особенно при механизированном строительстве. Для осушительных дрен применяет трубки диаметром 50 и 75 мм, для коллекторов и главных коллекторов - трубки бóльших диаметров.

Строительство дренажа начинается с рытья траншей специальными многоковшовыми экскаваторами (ЭТЦ-202, ЭТЦ-171) или

обычными. Дно траншей тщательно нивелируют. Осушительные дрены из гончарных трубок должны иметь уклон от 0,002 до 0,01. При механизированном строительстве необходимые уклоны дна траншеи можно обеспечить копирным устройством. В этом случае над поверхностью почвы вдоль оси траншеи на некотором удалении от нее натягивают копирный трос с заданным уклоном. Движущийся вдоль троса многоковшовый экскаватор, автоматически изменяя величину заглубления, прорывает траншею, дно которой получается параллельным копирному тросу.

Дренажные трубки укладывают в траншею вплотную одна к другой. Вода поступает в дрены через зазоры на стыках дренажных трубок. Во избежание заиления дрен зазоры между трубками обкладывают фильтрующим материалом - стеклотканью, стекловолокном, а при их отсутствии - сфагновым мхом.

При засыпке траншей дренажные трубки сначала засыпают вручную слоем грунта из верхних органогенных, влагоемких, пронизанных корнями растений горизонтов почвы, обладающих лучшей водопроницаемостью. Затем траншеи засыпают грунтом, вынутым экскаватором при их рытье. Для улучшения действия дренажа траншеи засыпают крупным песком (фильтрующая засыпка).

7.3. Пластмассовый дренаж

В настоящее время большое распространение получил дренаж из пластмассовых трубок - гладкостенных или гофрированных, изготавливаемых из поливинилхлорида или полиэтилена. Диаметр трубок - от 42 до 125 мм. Трубки меньших диаметров используют для дрен-осушителей. Длина дренажных трубок - от нескольких десятков до сотен метров. Для поступления воды вдоль трубок делают несколько рядов перфораций в виде параллельных круглых или щелевых отверстий. Для предохранения от заиления при укладке пластмассовые трубки покрывают стеклохолстом.

Пластмассовый дренаж строят траншейным или бестраншейным способом. Траншейный способ применяют при укладке коллекторов. Траншеи, как и при строительстве гончарного дренажа, роют многоковшовыми экскаваторами ЭТЦ-202, ЭТЦ-167, ЭТЦ-171 или одноковшовыми. При бестраншейном способе дреноукладчик типа

ДПБН-1,8, навешиваемый на трактор Т-100 МГБС, формирует (если требуется) узкую щелевидную траншею глубиной до 1,8 м. На дно траншеи укладывают перфорированную дренажную трубку, подаваемую непосредственно с барабана. Во время укладки трубка обматывается лентой из стеклохолста.

Срок службы гончарного и пластмассового дренажа более 50 лет. Расстояние между дренами и глубина их при систематическом осушении даны в табл. 28.

Таблица 28

Расстояние между дренами и глубина дрен, м

Почвы	Глубина дрен	Расстояние между дренами
Глины и тяжелые суглинки	0,8-1,0	12-15
Средние суглинки	0,9-1,2	16-19
Легкие суглинки	1,0-1,2	19-22
Супеси	1,0-1,2	22-26
Пески	0,8-0,9	26-30
Торф	0,8-1,0	30-40

7.4. Другие виды дренажа

Дренаж из деревянных труб. Деревянный трубчатый дренаж устраивают из труб прямоугольного или треугольного сечения. Прямоугольные трубы изготавливают из досок, лучше хвойных или твердолиственных пород, толщиной 15-25 мм, шириной 7-15 см. Для боковых стенок используют обрезные доски, для нижней и верхней стенок можно использовать необрезные доски и горбыли, но с обязательной окоркой. Трубы сбивают из досок длиной 3-5 м. Использование досок разной длины обеспечивает соединение их стыков вразбежку, т.е. в одном месте трубы получается только один стык с какой-либо стороны. Для поступления воды в трубу под верхнюю доску через 70-80 см помещают подкладки или в боковых досках сверху через 50-60 см делают прорези длиной 10-20 и высотой 0,5 см (рис. 46, д). При укладке труб в траншею следует учитывать, что боковые доски должны являться опорой для верхней доски и сами должны опираться на нижнюю доску. Деревянные трубы в местах выхода в открытый канал или водоприемник изготавливают из досок толщиной 40-50 мм. После укладки трубы в траншеях по всей длине покрывают дерном (травой вниз) или лучше слабо-

разложившимся сфагновым мхом. Затем траншею засыпают грунтом, вынутым при рытье траншей.

Уклон трубчатых деревянных дрен принимают в пределах от 0,001 до 0,05. Длина осушительных дрен должна быть не более 200-250 м.

Срок службы деревянного трубчатого дренажа может достигать в минеральных грунтах 12-15 лет, в торфяных - 50 лет.

Жердяной дренаж. При устройстве жердяного дренажа (см. рис. 45, б) на дно траншей вдоль откосов укладывают по одной жерди толщиной 8-10 см. На эти жерди через 1,0-1,2 м укладывают поперечные прокладки, поверх которых устраивают сплошной настил из жердей толщиной 5-8 см. Настил сверху покрывают сфагновым мхом, дерниной. Уклон дрен принимается равным 0,003-0,005. Глубина заложения дрен - 1,1-1,2 м. Жердяной дренаж рекомендуется применять на торфяных почвах. Срок его службы в торфяных грунтах не превышает 20 лет.

Фашинный дренаж. Для устройства такого дренажа из хвороста толщиной 3-5 см изготавливают фашины диаметром 15-30 см. Постепенно удлиняя, получают фашины длиной до 100-200 м и более. Их укладывают по 1-3 шт. (см. рис. 45, в) на дно траншей, прикрывают слоем хвороста, дерном, сфагновым мхом и засыпают грунтом. Уклон дренажа должен быть не менее 0,003. Фашинный дренаж применяют только при осушении отдельных небольшой длины понижений, под дорожками в парках и лесопарках, под кавальерами при устройстве временных дорог на осушенных землях и пр.

Каменный дренаж. Такой дренаж получают путем заполнения траншей камнем с неплотной укладкой. Его применяют очень редко, в основном при дренировании ключей в местах прохода большого количества пешеходов. Уклон дренажных линий должен быть не менее 0,005. Основной недостаток каменного дренажа - высокая стоимость работ и материала.

Кротовый и щелевой дренаж. Кротовый дренаж устраивают путем прокладки в грунте на глубине 40-70 см полостей, напоминающих кротовые ходы (см. рис. 45, е). Его разновидностью является щелевой дренаж, когда вместо круглой делают щелевую полость, расширяющуюся книзу. Такой дренаж можно применять на торфяных или тяжелых суглинистых грунтах.

Для сооружения кротового дренажа применяют дренажную машину ДКТ-100, снабженную специальным ножом, нарезающим

вертикальную щель требуемой глубины. К нижнему концу ножа на тросе прикреплен цилиндрический остроконечный дренер (крот), который, раздвигая и уплотняя грунт, формирует круглое, полое отверстие - кротовую дрену. Иногда кротовый дренер помещают непосредственно на нижнем конце ножа. Диаметр кротовых дрен на минеральных грунтах 8-10, на торфяных 15-20 см. Расстояние между кротовыми дренами составляет 2-10 м на минеральных землях, до 15-20 на торфяных. Срок действия кротовых дрен 3-4 года.

7.5. Гидравлический расчет дренажных труб

Водопропускную способность дренажных труб можно определить по формуле (57).

Скорость движения воды в безнапорных трубах, какими являются дрены, определяется по формуле Шези: $V = C\sqrt{Ri}$.

Для круглых трубчатых дрен коэффициент Шези C можно определить по формуле Куттера:

$$C = \frac{100\sqrt{R}}{m + \sqrt{R}}, \qquad (102)$$

где R - гидравлический радиус; $m = 0{,}27...0{,}30$.

Для деревянных труб C определяют по формуле Н.Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/7}, \qquad (103)$$

при $n = 0{,}015$.

7.6. Сопряжение дрен и коллекторов

Одним из наиболее ответственных видов работ является сопряжение осушительных дрен с коллектором. Существует несколько способов сопряжения (рис. 47). Осушительные дрены следует подводить к коллектору сверху, самое надежное сопряжение обеспечивают тройники (рис. 47, а,б), широко используемые при строительстве пластмассового и, реже, гончарного дренажа. Сопряжение гончарных дрен производят внахлестку сверху, проделывая отверстия в трубках дрен и коллекторов и соединяя их. Свободный конец дрены закрывают заглушкой (рис. 47, в).

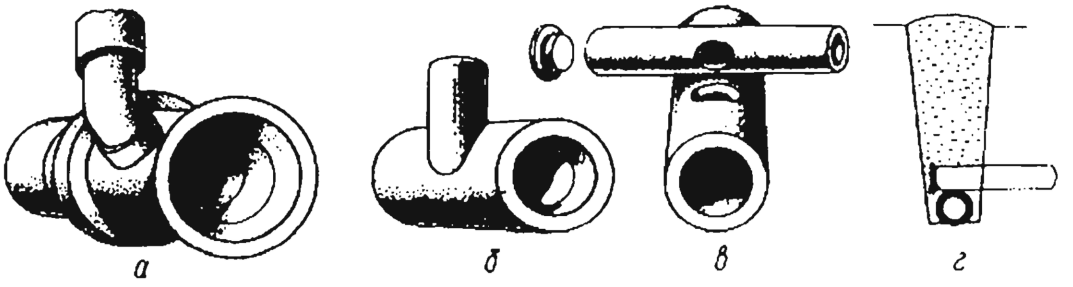


Рис. 47. Способы сопряжения дрен и коллекторов:
а, б, в – приспособления для сопряжения; *г*- общий вид сопряжения

Места соединения можно закрывать пластичной глиной или цементным раствором. Цементный раствор можно использовать и вместо заглушки.

7.7. Сооружения на дренажной сети

К сооружениям на дренажной сети относятся: устья дрен-осуши-телей и коллекторов, смотровые колодцы, водомерные сооружения, регуляторы уровня.

Устья коллекторов и дрен обеспечивают их выход в открытые коллекторы или водоприемники. Дренажные устья могут замерзнуть, оползти или обвалиться при деформации откосов, образовании наносов, проходе животных или людей по откосам каналов. Поэтому устройству дренажных устьев необходимо уделять особое внимание. В последнее время широкое распространение получили устья, из сборного железобетона (рис. 48).

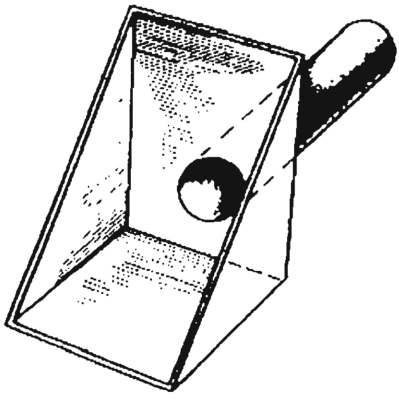


Рис. 48. Дренажное устье

Смотровые колодцы изготавливают из сборных железобетонных элементов для наблюдения за работой дренажной сети (рис. 49). Они служат для очистки от ила, выносимого из дренажной сети (рис. 49, а), уменьшения уклона дрен (рис. 49, б) и выполняют роль регуляторов уровня воды (рис. 49, в).

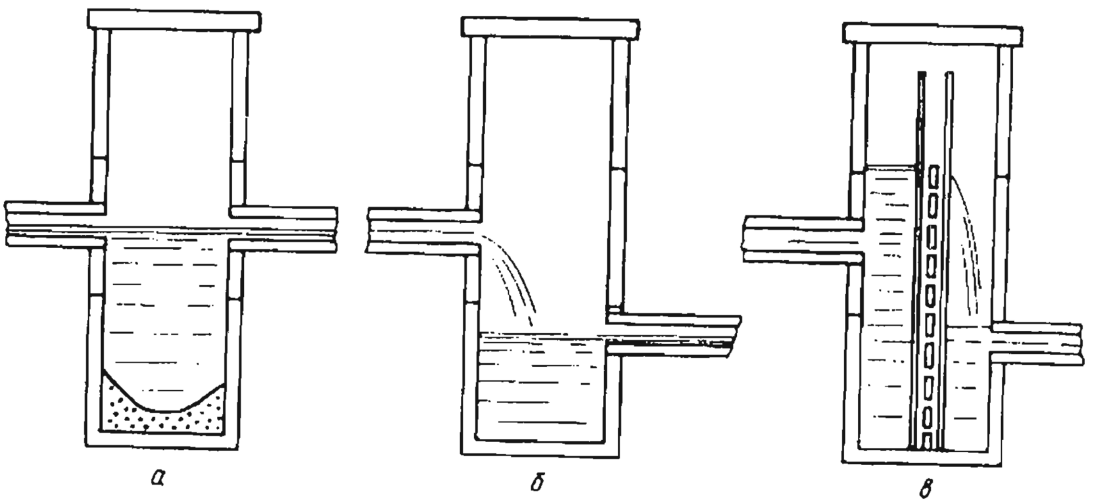


Рис. 49. Типы смотровых колодцев

Дренажная сеть по сравнению с открытой осушительной сетью имеет ряд преимуществ. Она находится под землей, не препятствуя передвижению людей и механизмов, поэтому почти не требуется устройства мостов и труб, переездов, уход и надзор за ней проводятся реже. Дренаж имеет и недостатки: его устройство дорого, он медленнее отводит верховодку, требует повышенных уклонов. Дренаж целесообразно применять при осушении питомников по выращиванию посадочного материала, земель, используемых для сельскохозяйственного производства, при благоустройстве приусадебных участков лесхозов и лесничеств, особенно перспективен при садово-парковом строительстве.

Контрольные вопросы. 1. Что такое дренаж, из каких материалов его устраивают? 2. Чем отличается гончарный дренаж от пластмассового? 3. Как поступает вода в дрены? 4. Как поступает вода из дрен осушителей в коллекторы (открытые и закрытые)? 5. В чем преимущество дренажа с фильтрующей засыпкой? 6. Перечислите сооружения на дренажной сети и объясните их назначение. 7. Как производится сопряжение дрен?

Глава 8
СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ОСУШЕНИЯ

8.1. Особые виды осушения

Кольматаж (colmatage - франц. от итал. colmat - наполнение, насыпь). Осушение земель кольматажем предусматривает регулирование водного режима переувлажненных территорий путем искусственного повышения земной поверхности. Для этого осушаемую территорию разбивают дамбами на квадраты (чеки), в которые по трубам насосами подается вода с большим содержанием взвешенных частиц грунта (рис. 50).

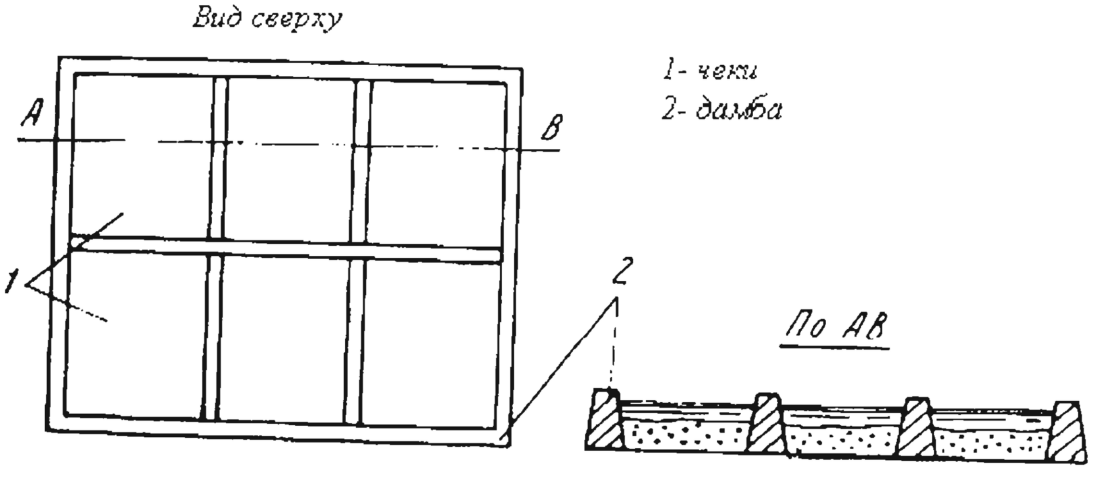


Рис. 50. Схема кольматажа

В чеках жидкая масса отстаивается, твердые частицы осаждаются, вода через специальные водоспускные отверстия сбрасывается в водоприемник. Путем многократной подачи воды с грунтом можно постепенно поднять поверхность до требуемой геометрической отметки и исключить переувлажнение. В нашей стране кольматаж был проведен при осушении Колхидской низменности в 1935-1947 гг. В настоящее время кольматаж применяется в С.-Петербурге при освоении затапливаемых земель, прилегающих к Финскому заливу. На кольматированных территориях ведется городское и садово-парковое строительство. Например, в С.-Петербурге на такой территории расположен стадион им. С.М.Кирова и часть Приморского парка.

Осушение с машинным водоподъемом. Такой способ осушения применяют тогда, когда осваиваемая территория располагается ниже уровня воды прилегающего водоема (реки, водохранилища, залива или моря и пр.) или периодически затапливается ими. В таких случаях на осваиваемой территории строят осушительную сеть (открытые каналы или дренаж). По каналам или дренам вода самотеком отводится в пруд-водоприемник (рис. 51).

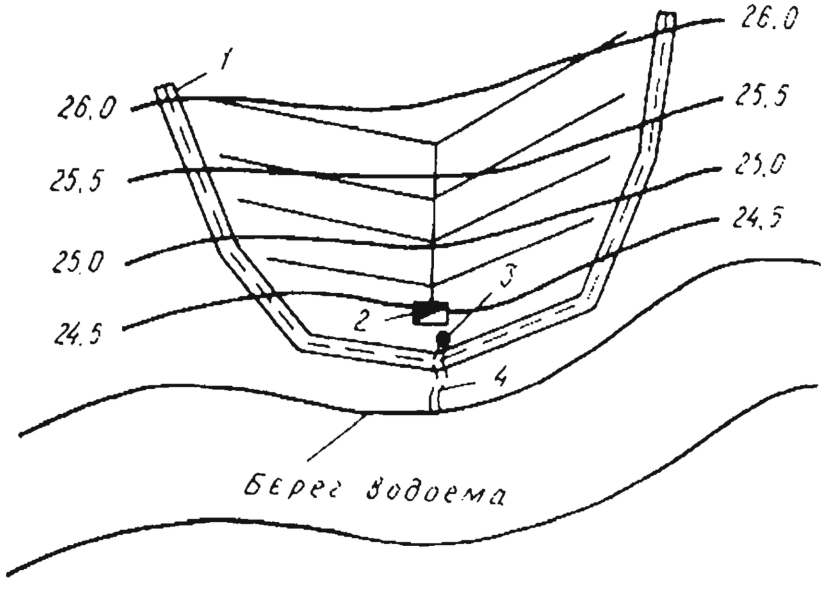


Рис. 51. Схема осушения с машинным водоподъемом:
1- дамба; *2*- пруд-накопитель; *3*- насосная станция; *4*- водосбросная труба

Осушаемую территорию ограждают дамбой. Воду из пруда-водоприемника с помощью насосов по мере надобности откачивают через дамбу в прилегающий водоем.

Осушаемая территория, ограниченная дамбой, называется польдером.

Осушение с помощью водопоглощающих колодцев (вертикальный дренаж). В отдельных случаях на водоупорных грунтах в блюдцеобразных понижениях застаивается талая и дождевая вода, вызывающая переувлажнение почвы. Если в таких местах под водоупорным горизонтом имеется водопроницаемый ненасыщенный водой горизонт, то в понижениях устраивают буровые скважины (диаметром 150-200 мм), заглубляя их в водопроницаемый горизонт (рис. 52, а). Стенки скважин крепят асбоцементными или гончарными трубами. Оголовок трубы сверху перфорируют, оборудуя

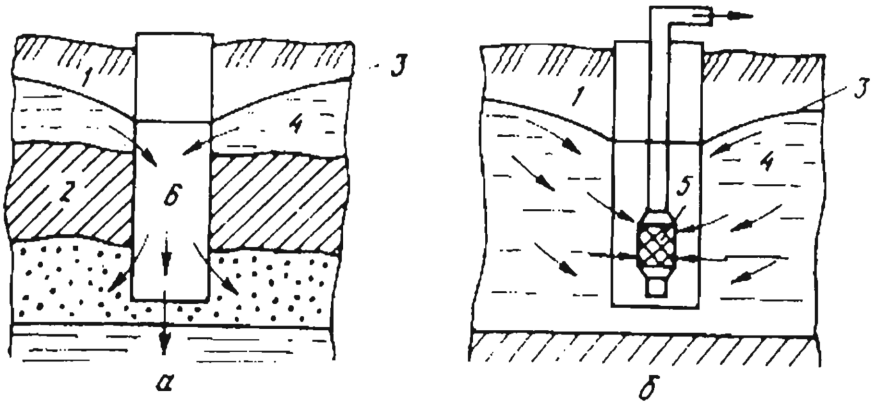


Рис. 52. Осушение с помощью водопоглощающих колодцев (а) и с откачкой воды из скважин (б):
1- осушаемый слой; *2*- водоупорный слой; *3*- кривые депрессии; *4*- избыточно увлажненный слой; *5*- насос; *6*- водопоглощающий колодец

в виде фильтра, состоящего из гравия и песка. Поступающая в водопогдощающий колодец вода отводится через скважину в нижние водоносные горизонты.

Осушение откачкой воды из колодцев. Такой способ можно применять при осушении территорий с достаточно водопроницаемыми грунтами. Дренажные колодцы заглубляют на необходимую для достижения нормы осушения величину (рис. 52, б), но наиболее эффективно заглубление колодцев до подстилающего водоупора. Нижнюю часть колодца выполняют в виде трубы, заканчивающейся сетчатым фильтром. Размещение колодцев может быть площадным, с равными расстояниями друг от друга, или линейным в один-два ряда, при размещении рядов на пути перехвата потока вод, вызывающих переувлажнение территории. Вода из скважин откачивается насосами, в результате чего происходит понижение грунтовых вод.

8.2. Дренаж в садово-парковом хозяйстве

В парках, садах, на спортивных площадках и в местах отдыха населения применение дренажа имеет свои особенности. После осушения корни древесных растений, углубляясь, могут врастать через стыки дренажных трубок и закупоривать дрены. На спортплощадках и площадках для отдыха необходимо обеспечивать как быстрое освобождение их от воды, так и понижение грунтовых вод. Это следует учитывать при строительстве дренажа.

Дренирование парков и садов. При устройстве обычного дренажа дрены рекомендуется закладывать в парках на расстоянии 15-20 м от деревьев и кустарников, в садах - в 4-5 м от яблонь. Глубину заложения дрен и уклон дренажных линий необходимо увеличивать. Стыки дренажных трубок следует покрывать рубероидом и засыпать дрены крупным щебнем или гравием слоем 20-50 см.

Наиболее эффективным является строительство дренажа специальных конструкций. Дренаж Реролле выполняют в виде сплошной трубы, изготовленной из дренажных трубок, стыки которых закрыты цементом, а для поступления воды через 3-5 м снизу к основной дрене присоединяют короткие вертикальные дренажные трубки (рис. 53,а). Перекрестный дренаж выполняют в виде пересекающихся дрен, соединенных в местах пересечения между собой. При такой конструкции закупорка дрен в одном и даже нескольких местах позволяет отводить воду (рис. 53, б). Двойной дренаж устраивают путем укладки дренажных трубок меньшего диаметра в трубки большего диаметра, при этом стыки внутренних и наружных трубок не должны совпадать (рис. 53, в). При такой конструкции корни растений, врастая в стыки трубок дрен большего диаметра, оказываются на воздухе и прекращают рост.

Дренаж спортивных площадок. На спортивных площадках, стадионах осушение проводят с использованием гончарного дренажа. Для дрен-осушителей применяют трубки диаметром 50 и 75 мм, для коллекторов 75 и 100 мм, для кольцевого коллектора 100-150 мм. Для обеспечения быстрого сброса ливневых осадков расстояние между дренами уменьшают в 2 раза (табл. 28). Дрены-осушители делают сквозными через все поле стадиона (рис. 54) с отводом воды в обе стороны. Глубина закладки дренажа 0,7-1,0 м. Дренажные траншеи целесообразно на 2/3 глубины засыпать крупнозернистым песком.

Дренаж площадок для отдыха. Площадки для отдыха нужно осушать тщательно, поэтому расстояние между дренами следует уменьшать на 20-30 % в зависимости от грунта. Глубина дрен должна составлять 0,9-1,1 м. Следует обращать особое внимание на тщательность засыпки дренажных траншей. В условиях возможного притока воды на поверхность траншеи необходимо заполнять грунтом, хорошо фильтрующим воду (гравием, крупнозернистым песком и др.).

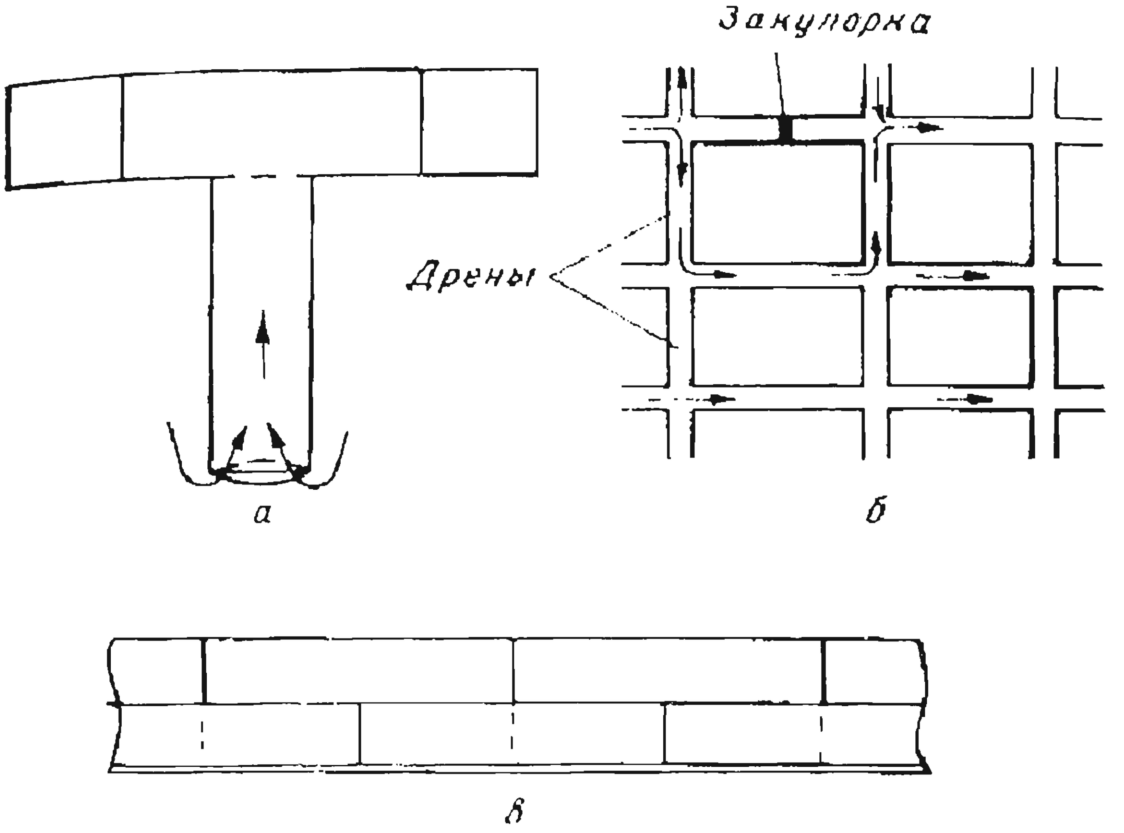


Рис.53. Схемы дренирования садов и парков:
а- дренаж Реролле; *б*- перекрестный дренаж; *в*- двойной дренаж

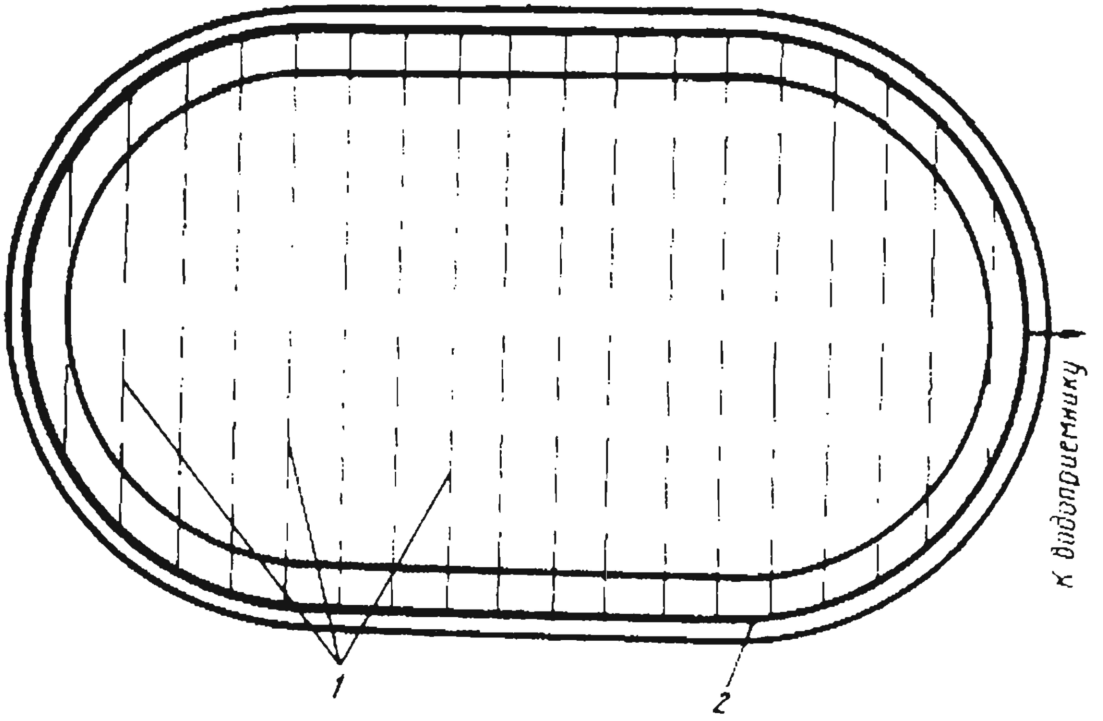


Рис. 54. Схема дренирования стадиона:
1- дрены-осушители; *2*- коллектор

Дренаж бульваров и зеленых разделительных полос. Бульвары и разделительные полосы городских дорог, имея относительно узкую, вытянутую вдоль улиц форму, интенсивно посещаемые населением и животными, требуют особого подхода к обеспечению сохранности зеленых насаждений.

При интенсивном движении транспорта на зеленые насаждения попадает грязная, а при снеготаянии часто насыщенная солью вода. Для обеспечения устойчивости и сохранности бульваров и зеленых насаждений разделительных полос желательно со стороны насаждений, примыкающих к проезжей части, создавать узкую (0,7-0,9 м) защитную полосу из плит (типа тротуара) с уклоном 0,02-0,015° в сторону дороги (рис. 55).

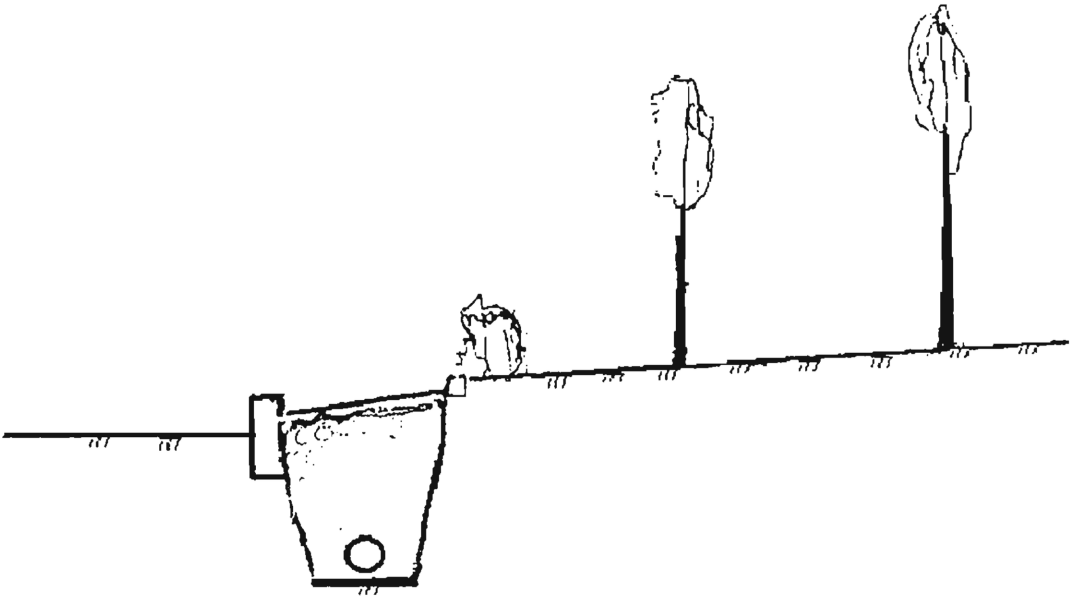


Рис. 55. Защитная зона с дренажем вдоль бульвара

На избыточно увлажненных землях при ширине бульвара 10-15 м и более по границе вдоль дорог под плитками желательно устроить трубчатый дренаж. Для защиты дрен от заиления можно использовать нетканые материалы типа дорнит. При небольшой ширине разделительных полос дренаж можно устраивать посередине их. Смотровые колодцы, используемые для очистки дрен, размещают через 80-100 м.

Береговой дренаж. Его устраивают для защиты пойм от подтопления водами, поступающими путем фильтрации со стороны реки. Дрену располагают параллельно берегу реки (рис. 56), что

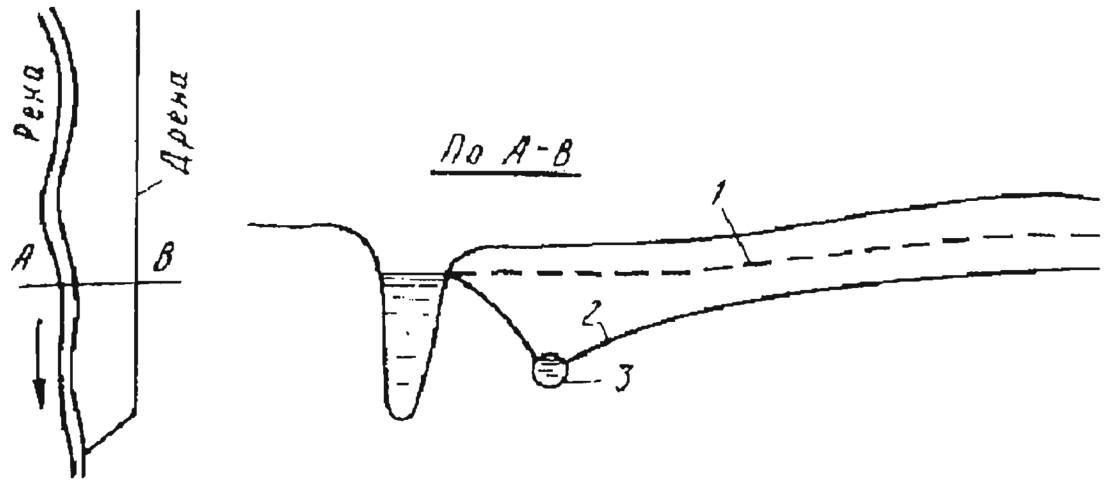


Рис. 56. Береговой дренаж:
1- положение грунтовых вод до осушения; *2*- УГВ после осушения; *3*- дрена

дает возможность перехватывать фильтрующуюся через грунт воду, понижая уровень грунтовых вод в пойме. Вода из дрены отводится в реку ниже по уклону от осушаемой части поймы.

Кольцевой дренаж используют при осушении особо важных участков территории или отдельных зданий. Вода из кольцевой дрены, ограждающей осушаемый объект, отводится в водоприемники или на участки с более низкими, чем дрена, отметками. Дрену можно выводить в водоприемный колодец с самотечным отводом воды или с ее откачкой. Кольцевой дренаж может не дать эффекта при поступлении на осушаемый объект напорных грунтовых вод. В таких случаях необходимо дренировать и площадь, ограниченную кольцевой дреной.

Контрольные вопросы. 1. За счет чего достигается осушение при кольматаже? 2. Что такое польдеры? 5. В чем различия в осушении водопоглощающими колодцами и откачкой воды из колодцев? 4. Почему в парках и садах необходимо устраивать специальный, а не обычный дренаж? 5. В чем особенности осушения спортивных площадок и площадок для отдыха? 6. Особенности устройства дренажа бульваров. 7. Чем отличается береговой дренаж от кольцевого? Что в них общего?

Глава 9
ПРОИЗВОДСТВО ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТ

При осушении лесных земель проводят следующие основные виды работ: регулирование водоприемников, подготовку трасс для мелиоративных каналов, корчевку пней, строительство регулирующих и проводящих каналов, возведение гидротехнических сооружений на осушительной сети, устройство дорог и противопожарных водоемов.

9. 1. Регулирование водоприемников

Водоприемниками служат ручьи, реки, озера, водохранилища, балки, овраги по достижении базиса эрозии. В отдельных случаях в качестве водоприемников можно использовать карстовые воронки, а также водопроницаемые свободные от гравитационной воды слои грунта.

Водоприемники оказывают значительное влияние на действие осушительных систем, поэтому они должны удовлетворять определенным условиям. Уровни воды в них должны обеспечивать нормальную, бесперебойную работу осушительной сети, не вызывая подъема уровня и затопления или подтопления территорий, прилегающих к водоприемнику. Горизонт бытовых вод (гл. 3) в водоприемнике должно быть не выше уровня дна впадающих в него каналов осушительной сети или на 30-40 см ниже впадающих в него закрытых коллекторов дренажной сети. Затопление осушаемой территории водами водоприемника допускается только в период весенних половодий и не должно превышать допустимых сроков затопления для соответствующих видов древесно-кустарниковых пород (гл. 5) .Водоприемники должны иметь устойчивые берега.

Неудовлетворительное состояние водоприемников может являться следствием разных причин естественного или искусственного характера.

Естественные причины : извилистость русла, образовавшаяся за счет большого количества меандр (наблюдается обычно у равнинных рек); чередование участков с широкими руслами,

но малыми глубинами, с участками глубокими, но с узкими руслами; большая шероховатость русла и малая скорость течения (менее 0,20-0,25 м/с); обвалы берегов, завалы или отложения аллювия в русле; зарастание русел травянистой или кустарниковой растительностью.

Искусственные причины: плотины (мельничные, гидроэлектростанций, водозаборов); шлюзы; недостаточные размеры проемов мостов и отверстий трубопереездов (на малых речках) и др. Водоприемники, где указанные причины снижают расход и вызывают повышение уровня воды в них , нуждаются в регулировании.

Методы регулирования водоприемников зависят от причин, вызывающих их неудовлетворительную работу. На участках с извилистыми руслами в целях увеличения продольного уклона необходимо спрямление русла. Минимальный уклон дна определяется по формуле Шези ($V = C\sqrt{Ri}$):

$$i_{\min} = \frac{V^2}{C^2 R}. \qquad (104)$$

В меженный период скорость принимается равной 0,3-0,5 м/с. Спрямление русла может быть частичным с устройством прокопов, плавно соединяющих прямые участки реки (рис.57, а), и решительным (рис.57, б), когда на месте старого строится новое русло реки на значительном его протяжении. При этом резко изменяется водный режим прилегающих земель. Поэтому при решительном спрямлении необходима оценка экологических последствий.

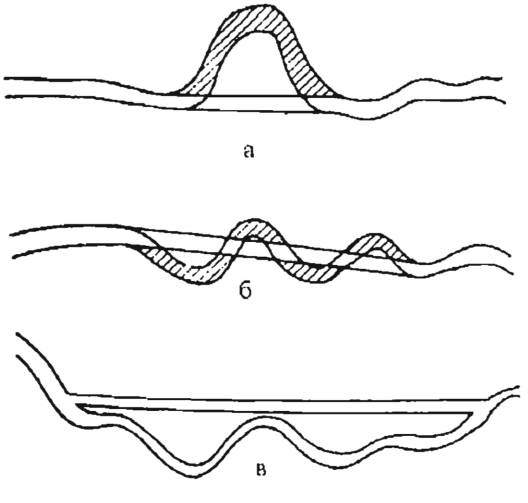


Рис. 57. Регулирование водоприемников: *а*- частичное спрямление русла; *б*- решительное спрямление русла; *в*- разгрузка реки водоприемника

На участках с малыми уклонами, где нет возможности увеличить уклон, расход водоприемника можно увеличить строительством разгрузочного канала параллельно реке (рис.57, в). Завалы на водоприемниках расчищают, растительность удаляют.

При регулировании рек необходимо учитывать, что наиболее размываемые участки-повороты русла, их устойчивость характеризует радиус закругления. А.Ф.Печкуров рекомендует для рек с расходом более 5 м^3/с радиус закругления определять по упрощенным формулам:

для поперечно устойчивого русла

$$r_{min} = 41{,}5R^3\sqrt{B} - B; \qquad (105)$$

для продольно устойчивого русла

$$r_{min} = 100R^{1,5}, \qquad (106)$$

где r_{min} - радиус закругления; R - гидравлический радиус, м; B - ширина русла по урезу воды, м. По А.Ф. Печкурову, при условии неразмываемости русла радиус поворота приближенно можно принять равным $10B$.

Мелководные участки русел углубляют, излишне широкие - сужают путем сооружения полузапруд или бун.

Увеличение пропускной способности русла водоприемников можно достигнуть выправлением русла. Для этого необходимо устраивать полузапруды (буны) или струенаправляющие сооружения.

П о л у з а п р у д ы (буны, или поперечные дамбы) представляют собой дамбы, устраиваемые под углом к берегу. Наклон бун в плане направлен против течения, улучшая условия затекания воды между бунами. Расстояние между ними составляет не более четырехкратной их длины. Концы бун (голова) располагаются по линии проектируемого русла водотока. Простейшие полузапруды устраивают в виде двухрядных плетней, пространство между которыми заполняется слаборазложившимся торфом. Действие полузапруд заключается в том, что затекаемая между ними вода откладывает илистые частицы (наносы), постепенно заполняя промежутки между бунами и выравнивая русло.

С т р у е н а п р а в л я ю щ и е с о о р у ж е н и я (продольные дамбы) представляют собой прерывистые дамбы (возможно плетневые), устраиваемые вдоль берега и сужающие русло. Для исключения течения воды между берегом и дамбой каждый отрезок дамб соединяют с берегом. Получаются Т-образные дамбы.

Выправительные работы на руслах применяют в случаях необходимости уменьшения ширины русла не менее чем в два раза. При небольшом сужении мелководных русел целесообразно применять продольные дамбы, при большом на глубоких участках - поперечные.

Если движение воды затруднено завалами, то их на водоприемниках расчищают, а растительность удаляют.

9.2. Строительство осушительных систем

Успешность проведения гидромелиоративных работ зависит от возможности механизации всех работ. Степень механизации строительных работ определяется проходимостью машин и механизмов, в зависимости от чего объекты гидромелиорации делятся по условиям работ на три категории: легкие, средние, тяжелые.

Л е г к и е условия создаются на минеральных и слаботорфованных землях начальной стадии заболачивания. Древостои здесь представлены в основном долгомошниковыми, реже черничниковыми типами. Максимально допустимое удельное давление на грунт - 50 кПа и более. В этих условиях можно применять тракторы типа Т-130 Г-1, Т-110 МБГС (Т-130Б), ДТ-75, гусеничные экскаваторы, прицепные и навесные каналокопатели плужного типа, кусторезы и др.

С р е д н и е условия возникают на заболоченных землях с глубиной торфа до 30-40 см. Максимально допустимое удельное давление на грунт - до 35 кПа. Здесь можно использовать тракторы Т-100 МБГП, ДТ-75Б, экскаваторы Э-304 и их модификации, Э-3М, каналокопатели плужного типа: прицепные ЛКА-2М и навесные ПКЛН-500 и ЛКН-600.

Т я ж е л ы е условия создаются на болотных землях с глубиной торфа более 0,4 м, постоянно сильно обводненных, с грунтовыми водами, располагающимися у поверхности. Допустимое удельное давление на грунт не должно превышать 25 кПа. В этих условиях допустимо использование тракторов Т-100 МБГС, ДТ-75Б, экскаваторов Э-304, каналокопателей фрезерного типа КФН-1200, МК-1,8.

Тракторы, используемые на гидромелиоративных работах, агрегатируют с бульдозерными ножами, кусторезами, прицепными, навесными или фрезерными каналокопателями. Экскаваторы при осушении лесных земель оснащают профильными ковшами

трапецеидальной формы и, как правило, оборудуют уширенными гусеницами. В средних и тяжелых условиях работы применение уширенных гусениц обязательно. На участках с глубокими рыхлыми торфами под гусеницы экскаватора укладывают щиты из бревен (слани), перекладываемые ковшом по мере движения экскаватора.

9.3. Подготовка трасс для каналов

К трассоподготовительным работам относятся: вырубка древостоя, уборка древесины и кустарника, корчевка пней. Ширина разрубаемой трассы зависит от типа применяемой землеройной техники, ширины канала поверху и его глубины, необходимости строительства проезда (дороги) вдоль канала.

Ширину трасс можно определить по формуле:

$$B_{тр} = B_1 + B_2 + B_к + B_д, \quad (107)$$

где B_1 - ширина бермы с верховой стороны (от бровки до стены леса), обычно равна 1-2 м; B_2 - ширина бермы между каналом и кавальером; $B_к$ - ширина канала поверху; $B_д$ - ширина полосы дороги или кавальера.

При строительстве каналов экскаваторами ширина трассы принимается: для регулирующей сети - от 9 до 13 м, для собирателей - от 10 до 15 м, для магистральных каналов - от 15 до 20 м. При ширине проводящего канала по дну более 0,4 м ширину трассы увеличивают на размер уширения. Ширину трасс, по которым прокладывают дороги, устанавливают с учетом ширины дорожного полотна.

На разрубке трасс в древостоях применяют бензопилы любой модификации или кусторезы КБ-4А, ДП-24 на базе трактора Т-100 болотной модификации. Наилучшие результаты применение кусторезов дает осенью по мерзлому грунту, особенно при подготовке трасс на участках с лиственными породами при малом диаметре деревьев и подроста (в мелколесье).

На подготовке трасс можно использовать машины ЭСЛ-4 и МТП-43, оборудованные поворотной стрелой с дисковой пилой (фрезой), которая при повороте скашивает древесно-кустарниковую растительность, выносит за границу трассы и укладывает в вал. Машины целесообразно применять при диаметре деревьев до 30 см,

высоте до 16 м. Расчетная сменная производительность машины - до 400-500 м трассы.

Корчевку пней на заболоченных оторфованных землях производят корчевателем Д-695А, на минеральных почвах - корчевателем Д-513А. При строительстве каналов регулирующей сети целесообразней использовать прицепные или навесные каналокопатели, а также экскаваторы типа Э-304, а для проводящей сети - ТЭ-3М. Экскаватор эффективно работает там, где на 1 м длины канала объем грунта составляет не менее семи емкостей ковша.

9.4. Техника безопасности при осушении лесных земель

До начала работ машинисты-экскаваторщики, их помощники и другие рабочие должны быть проинструктированы по технике безопасности, ознакомлены на плане осушительной сети с опасными для работы местами (топями). Лица, не прошедшие инструктаж, к работе не допускаются.

Валка деревьев на трассах каналов производится в соответствии с правилами техники безопасности на лесозаготовках. При валке деревьев машинами запрещается подходить к ним ближе 20 м. При корчевке пней лебедками не разрешается находиться по линии тяги каната.

В транспортном положении экскаватора стрела должна быть направлена по ходу гусениц, ковш освобожден от грунта и подтянут к стреле. При переезде через мосты, трубы и другие сооружения необходимо убедиться в достаточной их прочности. Проезд экскаваторов и тракторов под проводами высоковольтных электролиний допускается при расстоянии от верха экскаватора (трактора) до провода не менее 2 м. Работы вблизи электросетей должны согласовываться с управлениями электросетей. На крутых склонах спуск и подъем должны производиться с помощью лебедки или трактора. Во время остановки ковш экскаватора необходимо опустить на грунт.

Перед началом работы (и движения) необходимо подавать звуковой сигнал. Во время работы не разрешается пребывание людей в зоне поворота экскаватора и стрелы, запрещается стоять под стрелой. При работе на болотах с большой мощностью рыхлого торфа необходимо применение сланей, на которых должен находиться экскаватор. В кабине экскаватора на удобном месте должны находится

огнетушитель и аптечка, запрещается хранение в ней легковоспламеняющихся жидкостей. Запрещается работа ближе 20 м от складов топлива.

Все выступающие вращающиеся части двигателя необходимо ограждать кожухами. Нельзя ремонтировать и смазывать механизмы во время их работы.

При работе каналокопателями не разрешается находиться на его рабочем органе.

Контрольные вопросы. 1.С какой целью проводят регулирование водоприемников? 2. Какие из способов регулирования водоприемников предпочтительнее с экологической точки зрения? 3. Чем вызвана необходимость применения при осушении земель различной строительной техники? 4. Что такое слани и для чего их применяют? 5. Основные правила техники безопасности.

Глава 10
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСУШЕНИЯ

Осушение земель проводят для регулирования водного режима верхних корнеобитаемых горизонтов почвы. Для этого понижают уровень грунтовых вод, т.е. удаляют из верхних слоев почвы гравитационную влагу. Величина понижения грунтовых вод характеризуется нормой осушения.

После удаления избытка влаги улучшается не только рост леса, но и условия ведения лесного хозяйства, эстетическое состояние лесных участков, повышаются возможности дорожного строительства, обогащается флора и фауна. Такие изменения определяют понятие о б щ е х о з я й с т в е н н а я э ф ф е к т и в н о с т ь осушения.

Основной задачей осушения земель в лесном хозяйстве является повышение продуктивности лесных земель, в лесах зеленых зон – повышение устойчивости к рекреационным нагрузкам и эстетического состояния насаждения. В результате осушения корнеобитаемой зоны почвы улучшаются условия роста существующего древостоя и естественного возобновления, происходит смена старых малоценных древостоев молодыми, что в итоге приводит к увеличению прироста древесины. Следовательно, основная цель гидромелиорации – лесоводственное воздействие на древесное насаждение. Эффективность гидромелиорации, проявляющейся на приросте древостоев и оцениваемая по приросту, называется л е с о в о д с т в е н н о й э ф ф е к т и в н о с т ь ю осушения.

10.1. Влияние эдафических факторов на лесоводственную эффективность

Лесоводственная эффективность при обеспеченной норме осушения и создание оптимального водно-воздушного режима зависят от наличия в почве в достаточном количестве питательных веществ. При осушении минеральных земель богатство почвы можно установить обычными агрохимическими методами, принятыми в почвоведении. Из практики известно, что в большинстве случаев осушение гидроморфных минеральных почв оказывается достаточно эффективным. П. И. Жудра еще в 1896 г.

отмечал, что «... если успешно росту леса препятствует только избыток воды, то осушение дает высокий эффект». Сложнее прогнозировать лесоводственный эффект при осушении торфяных земель, особенно на болотах. Выше отмечалось, что болота в зависимости от типа водного питания подразделяются на низинные, переходные, верховые. Низинные болота формируются в условиях подтока грунтовой воды на участок снизу через почвогрунт. Они обычно богаты зольными веществами, среди которых может быть значительным содержание фосфора, калия, кальция. Верховые болота, формируясь в условиях преобладания атмосферного водного питания, зольных веществ содержат мало. Поэтому осушение низинных болот всегда эффективнее, чем верховых.

Были попытки увязать интенсивность роста леса после осушения с мощностью торфа. Пример такой зависимости в 1915 г. был приведен Д.М. Кравчинским. Анализируя в Лисинском учебно-опытном лесничестве рост леса на болотах Суланда и Рамболовское, он отмечал, что на Суланде, где мощность торфа при осушении не превышала 0,8-1,0 м, получен высокий лесоводственный эффект. В настоящее время здесь на месте низкобонитетного сосняка произрастают сосново-еловые древостои I-II классов бонитета с запасом древесины 600 м^3/га и более. На Рамболовском болоте при мощности торфа 2-3 м эффект осушения был ничтожным. В настоящее время здесь растут сосняки IV-V класса бонитета. Создается впечатление действительно низкого эффекта осушения с увеличением мощности торфа, однако в том же Лисинском лесничестве на Хейновском болоте с мощностью торфа 2-3 м сформировались древостои II класса бонитета. Известно много и других примеров, когда при большой мощности торфа на осушенных болотах сформировались древостои I-II классов бонитета. Такие древостои на болотах встречаются в Беларуси, Прибалтике, Карелии.

При изучении возможности прогнозирования лесоводственного эффекта осушения установлено, что рост леса зависит от зольности торфа, являющейся показателем содержания в почве минеральных питательных веществ. По исследованиям Х.А.Писарькова *[23]*, в Лисинском лесхозе на Кузнецовском и Рамболовском болотах, где осушение не дало эффекта, зольность составляет 0,6-1,5 % . На болотах Суланда и Хейновском с высокой эффективностью осушения зольность торфа равна 4-6% и более. С.Э.Вомперский *[2]*, про-

водя в 1950-х годах исследования в Ленинградской и Вологодской обл., установил зависимость между зольностью торфа и ростом древостоев (табл. 29).

Таблица 29

Зависимость класса бонитета сосны от зольности торфа

Зольность, %	Класс бонитета при расстояниях между каналами, м	
	50-60	100-135
6,0-8,0	Ia	I
5,0-6,0	I	II
4,0-5,0	II	III
3,0-4,0	III	IV
2,5-3,0	IV	V
〉 2,5	V	Va

Лучший рост леса, а следовательно, и более высокий класс бонитета при одинаковой зольности отмечают при большей глубине грунтовых вод. В отдельных случаях при грунтовом и грунтово-напорном питании, когда в составе зольного остатка имеется большое содержание железа, высокая зольность не является показателем хороших лесорастительных условий. Зависимость роста леса от зольности не наблюдается на мелких торфяниках, где растения даже при малой зольности и бедности торфяного слоя могут удовлетворять потребность в питании за счет получения его корнями из подстилающих торф минеральных горизонтов грунта.

Влияют на эффективность осушения и климатические факторы. Г. Е. Пятецким *[25]* на примере Карелии установлен различный рост леса на болотах при одинаковых зольности и норме осушения, но расположенных в различных климатических зонах (табл. 30).

Таблица 30

Класс бонитета сосны на осушенных болотах в зависимости от зольности торфа и широты местности

Зоны Карелии	Зольность торфа, %					
	6	5-6	4-5	2,5-3,5	2,0-2,5	2
Южная 60°30′ – 63°	I	I	II	III	IV-V	V-Va
Средняя 63° – 64°	II	II-III	III	IV	V	—
Северная 64°30′ – 67°	III	III-IV	IV	V	Va	—

В средней части Карелии дополнительный прирост после осушения в однотипных условиях по сравнению с южной частью Карелии составляет около 80%, а в северной только 50-60%. Основной причиной снижения класса бонитета по мере продвижения на север является недостаток тепла, что при снижении количества пищи резко снижает прирост.

10.2. Изменение эдафических условий и формирование древостоев после осушения земель

Осушение оказывает сильное воздействие на почву и почвенные процессы. На гидроморфных почвах до осушения процессы почвообразования протекают в условиях высокого положения грунтовых вод. Это благоприятствует развитию преимущественно гидрофитных растений и формированию соответственных фитоценозов. После осушения грунтовые воды понижаются. На торфяных почвах, характеризующихся высокой порозностью при значительном количестве крупных пор, приток влаги к верхним горизонтам почвы значительно уменьшается. Улучшается аэрация верхних горизонтов почвы. Увеличивается поступление в почву кислорода. Осушенные земли лучше прогреваются. На осушенных болотах прекращается или замедляется торфообразование и начинается образование почвы. Процесс почвообразования происходит медленно, но постоянно. На развитых верховых болотах до осушения почвенный горизонт отсутствует. Исследования на осушенных верховых болотах показали начало формирования почвенного горизонта через 10-15 лет после осушения. С появлением древостоя за счет опада древесных растений образуется лесная подстилка и формируется грубогумусный горизонт. Исследования в сосновых насаждениях на осушенных верховых болотах через 25 лет после осушения выявили наличие почвенного горизонта и лесной подстилки мощностью до 5 см. На болотах в Лисино через 130-140 лет после осушения сформировались перегнойно-глеевые почвы, т.е. типичные почвы лесов таежной зоны. Мощность почвенного горизонта достигала 30-40 см. Грунтовые воды летом понижаются до глубины 50-60 см. Характерным для осушенных торфяных почв является почти полное отсутствие кислорода в грунтовых водах и высокое содержание угле-

кислоты в почвенном воздухе. Концентрация CO_2 увеличивается по мере увеличения степени разложения торфа. По нашим исследованиям (глава 5), на осушенных переходных болотах концентрация CO_2 в слое 0-10 см достигала 3-5 %, увеличиваясь с глубиной до 5-7% и более. Высокие концентрации CO_2 являются показателем активной микробиологической деятельности в почве и следствием ее недостаточной аэрации из-за высокой влажности и малой порозности аэрации. Эдафические условия оказывают определяющее влияние на возникновение и формирование древостоя.

Естественное возобновление леса на избыточно увлажненных и заболоченных землях часто происходит неудовлетворительно. Это объясняется избытком воды, приводящим к загниванию семян и вымоканию всходов. Существенной причиной гибели семян на болотах является слабая насыщенность болотной воды кислородом. В наших опытах для выявления влияния кислорода на изменения всхожести семян в грунт верхового болота на глубину 10 и 25 см были заложены пробы семян сосны. Среднее содержание кислорода в воде на глубине 10 см составляло 0,51 мг/л (5-6% от нормы), на глубине 25 см кислород отсутствовал. Всхожесть семян через 16 дней опыта составляла 63 и 58%, через 32 дня - 42 и 37 %, через 45 дней из семян, хранившихся на глубине 10 см, всхожих было 33%, на глубине 25 см –16%. Г.Е.Пятецким установлено, что снижение всхожести происходит быстрее при повышенных температурах, поскольку с повышением температуры снижается растворимость кислорода в воде и увеличивается его потребление.

Неудовлетворительно происходит и развитие всходов на болотах. Опытные посевы на верховом болоте показали, что всхожесть семян сосны достигает 95-98%. Однако к середине вегетационного периода по мере понижения грунтовых вод происходит иссушение верхнего слоя торфа, и вследствие слабого капиллярного подъема влаги всходы погибают. Всходы сохраняются только в сырые годы.

Гибели всходов способствует и рост сфагновых мхов. М. П. Елпатьевским *[7]* установлено, что при посевах сосны нарастание сфагнумов в высоту по 0,5 см в год в течение 3 лет вызывает гибель 60% сеянцев, а при нарастании со скоростью 3-5 см в год погибает их за этот же период 98%.

Гидромелиорация болот ускоряет возобновление леса прежде всего вследствие понижения грунтовых вод. Положительное влияние

гидромелиорации объясняется уплотнением торфа при его осадке после отвода воды, что усиливает капиллярный подъем влаги к поверхности почв. Обследования естественного возобновления и роста молодняка на безлесном верховом болоте через 12 лет после осушения показали, что здесь в среднем на 1га насчитывалось 112 экз. сосны и 154 - березы. На богатых переходных болотах происходит интенсивное естественное возобновление. Например, в Тосненском лесничестве при обследовании вырубки на переходном болоте в 1970 г. не было всходов. Обследованием 1976 г. установлено 6-7 тыс. экз. сосны на 1 га и 5-6 тыс. - березы. Рубка ухода (осветление), проведенная в 1976 г., обеспечила здесь формирование сомкнутого соснового древостоя.

10.3. Особенности древостоев, формирующихся после осушения

Поскольку осушаемые земли в большинстве случаев оторфованы, то после осушения происходят уплотнение торфа и осадка поверхности осушаемого участка. При осадке в большей степени уплотняются и оседают мелкие компоненты торфа, это приводит к выпиранию скелетных корней древесных растений (рис.58). На осушенном в прошлом веке болоте Суланда в настоящее время корневая шейка большинства деревьев располагается на 30-40 см выше поверхности почвы. Деревья как-бы стоят на ее поверхности. Физиологически активные корни, обеспечивающие питание деревьев, на осушенных торфяниках располагаются вблизи поверхности. По исследованиям С.Э. Вомперского, наиболее насыщен корнями слой 0-10 см. Проникание корней ниже 20-30 см наблюдается редко. Установлено, что корни растений отрицательно реагируют на высокие концентрации CO_2, а, по нашим данным, содержание CO_2 на глубине 20-30 см достигает 3-5 объемных процентов и более. Таким образом, углекислота является своеобразным биологическим барьером, препятствующим росту корней вглубь.

Можно предположить, что поверхностное расположение корней в древостоях после осушения приведет к ветровальности. Однако более чем вековой опыт осушения показывает, что древостои на осушенных торфяниках не более ветровальны, чем в условиях без



Рис. 58. Общий вид корневой системы дерева после осушения и осадки торфа

осушения. Поверхностное расположение корней и низкая плотность торфяных почв приводят к изменению морфологии корней.

По данным исследований С.Э.Вомперского *[2]*, на торфяных почвах корни приобретают двутавровую или дисковидную форму (рис. 59). Такое строение повышает физическую прочность корней. Большое разрастание корневых систем в стороны и хорошо развитая сеть тонких корней способствуют устойчивости деревьев. Поэтому и не отмечается повышенной ветровальности деревьев на осушенных землях.

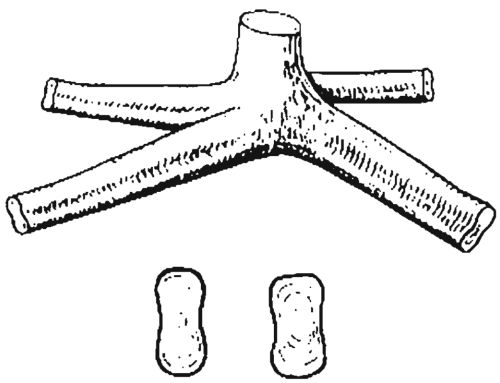


Рис. 59. Вид скелетной части корней на гидроморфных почвах

Рост и продуктивность древостоев в сходных эдафических условиях зависит от исходного состояния древостоя. Быстрее реагируют на осушения молодые древостои I-III классов возраста (рис.60).

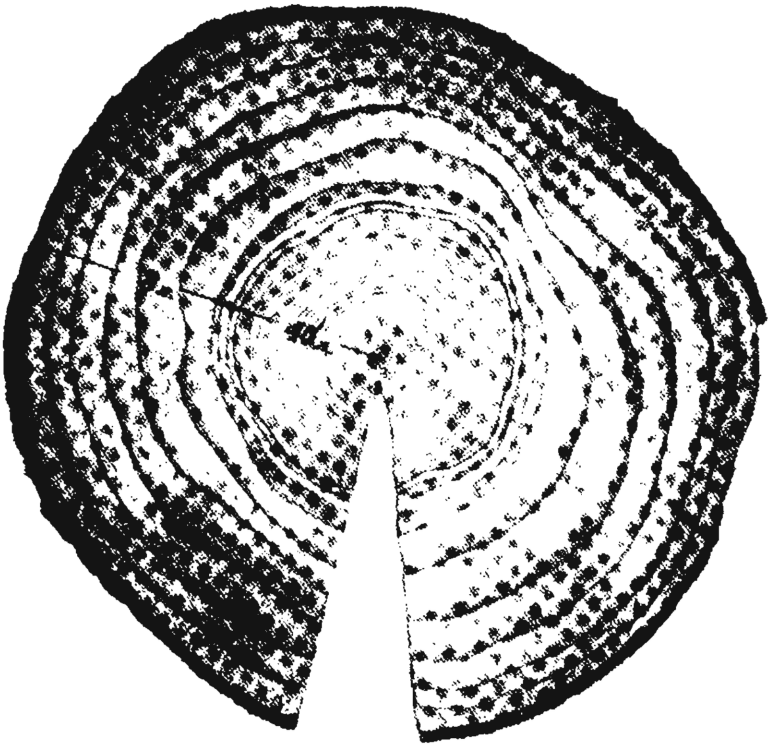


Рис. 60. Изменение прироста под влиянием осушения

Но достаточно эффективным может быть также осушение древостоев IV-V классов возраста. Исследованиями установлены случаи увеличения прироста сосны до 150, а ели до 200 лет. Рост древостоев хвойных пород при осушении облесенных участков находятся в зависимости от возраста осушаемых древостоях. При осушении 100 - 120-летних древостоев при довольно равномерном размещении их на площади старые деревья часто становятся основой будущего древостоя. Исследования показали, что в таких лесах обычно мало подроста. Старые деревья медленно увеличивают прирост. При осушении более молодых или разновозрастных древостоев новое формирование древостоев на осушенных землях происходит по-разному. Имеются свои особенности в росте леса на переходных и верховых болотах, в значительной степени определяемые богатством почвы и возрастом древостоя.

На богатом переходном болоте с глубиной торфа 1,8-2,5 м в "молодом" сосняке IV класса бонитета I-II класса возраста (20-25 лет) после осушения быстро увеличивается прирост (табл.31).

Таблица 31

Характеристика сосновых древостоев на осушенных болотах

Год таксации	Средние		Количество деревьев, шт./га	Полнота	Запас, $м^3$/га	Класс бонитета	Уровень грунтовых вод, см
	высота *H*, м	диаметр *D*, см					
Переходное болото							
"молодой" древостой							
1971	5,8	6,4	3636	0,46	58	III	50
1979	9,8	9,5	1912	0,64	120	I	51
1999	20,5	19,9	590	0,58	186	I	56
	"старый" древостой						
1971	10,3	10,6	1475	0,51	74	V	24
1979	15,0	12,0	1478		125	II	40
1999	19,8	22,0	795	0,79	276	I-II	54
	древостой, возникший после осушения,						
1971	*появился самосевом сосны*						
1999	11,5	9,7	3182	0,88	187	I	56
Верховое болото							
"старый" древостой							
1967	4,0	3,3	3400	0,50	17	V	29
1984	4,5	4,8	8253	0,96	50	II-III	29
1999	9,5	8,0	2460	0,66	94	II-III	-
	древостой, возникший после осушения						
1971	1,5	2,0	860	0,2	-	-	23
1984	4,8	4,9	8125	0,77	57	II-III	25
1999	8,8	8,1	3766	0,90	117	I	25

Однако, по-видимому, вследствие богатства торфа быстрое увеличение роста сопровождается интенсивным самоизреживанием древостоя и усыханием значительной части деревьев. Так, при таксации через 8 лет число деревьев уменьшилось более чем на 50 %. Через 28 лет количество деревьев уменьшилось в 5 раз. Запас древостоя в 50-летнем возрасте составил 186 $м^3$/га.

В "старом" сосняке IV класса возраста (около 80 лет) V класса бонитета (табл.31), более редкостойном, дифференциация происходила менее интенсивно, усыхание деревьев не отмечалось. Через 28 лет после осушения запас древостоя составил 276 $м^3$/га, что почти в 1,5 раза выше, чем в более молодом древостое.

Исследования показывают, что осушение "старых" древостоев может быть не менее, а возможно, и более эффективным, чем молодых.

Еще более высокие показатели роста отмечены в древостоях, возникших после осушения. На переходном болоте 27-летний сосновый древостой растет по I классу бонитета, имея запас 187 м³/га, что выше, чем 50-летний сосняк, осушенный в 20-летнем возрасте (табл. 31).

Осушение верховых болот менее эффективно, и эффект осушения проявляется позднее (табл.31). Например, при осушении "старого" соснового древостоя IV класса возраста V класса бонитета таксацией выявлено 3400 дер. на 1 га, преимущественно старых, а через 17 лет число деревьев достигло 8253. Далее происходило интенсивное самоизреживание и отмирание деревьев. Через 32 года после осушения осталось 2460 дер. на 1 га, сформировался разновозрастной сосновый древостой II-III класса бонитета при среднем возрасте 50-60 лет с запасом 94 м³/га. Древостой, сформировавшийся на осушенном верховом болоте в 32 года имел запас 117 м³/га (см. табл.31).

Приведенные результаты исследований показывают, что молодые древостои быстрее реагируют на осушение, однако и приспевающие древостои могут дать высокий эффект, иногда больший, чем молодые. Наиболее же целесообразно выращивать древостои, создаваемые на уже осушенных землях.

Более длительное влияние осушения на рост леса можно проследить на примере древостоев кв. 114 болота Суланда в Лисино (табл.32). В год осушения (1841 г.) здесь произрастал преимущественно еловый древостой.

Таблица 32

Изменение древостоя в кв. 114 болота Суланда

Год	Состав	Средний возраст, лет	Средние		Класс бонитета	Полнота
			высота *H*, м	диаметр *D*, см		
1841	6Е2С2Б	70	-	-	IV	0,7
1856	7С2Б1Е	10	-	-	II	0,7
1935	8С1Е1Б	85	20	19	I-II	0,9
1983	9С1Е+Б	140	28	28	II	0,8

При лесоустройстве в 1856 г. вместо елового древостоя зафиксирован сосновый молодняк II класса бонитета. Рост древо-

стоя в высоту активно продолжался до 90-100-летнего возраста. В 1953 г. средняя высота древостоя достигала 24 м. С 1973 г. и по настоящее время средняя высота древостоя составляет 28 м. Класс бонитета II. Запас древостоя в среднем на Суланде колеблется в пределах 450-500 м^3/га. В лесу сформировались богатые перегнойно-глеевые почвы с мощностью почвенного горизонта 30-40 см. На более бедном Машинском болоте запас древостоя в 100-120-летнем возрасте составляет 180-200 м^3/га (рис. 61).



Рис. 61. Сосновый древостой II-III класса бонитета на осушенном бедном переходном Машинском болоте. Лисино.

10.4. Устойчивость хвойных древостоев на осушенных землях

Известно, что для нормального роста древостоев необходимо при осушении понижать грунтовые воды до глубины 50-70 см. Исследования показывают, что древостои I класса бонитета отмечаются при глубине грунтовых вод 40-50 см и менее (табл.31).

На богатых осушенных торфяниках сформировавшийся высокобонитетный древостой в Лисинском учебно-опытном лесхозе сохраняет высокие показатели роста при более высоких уровнях грунтовых вод без существенного ремонта осушительной сети.

В высокобонитетных древостоях на осушенных землях в летние месяцы отмечается понижение грунтовых вод посередине между каналами на величину больше, чем возле каналов. Например, при глубине каналов 1,1 м в древостоях сосны I класса бонитета уровни воды вблизи каналов понижались до 103-122 см, т.е. отмечена отрицательная форма кривой депрессии. Такое положение свидетельствует, что влага расходуется не на сток, а на суммарное испарение (в основном транспирацию).

Поскольку корневые системы при значительном увлажнении почв и после осушения остаются поверхностными, то древостои на староосушенных богатых торфяниках долгое время могут оставаться высокобонитетными и при высоких уровных уровня грунтовых вод. Например, на осушенном в 1846 г. Хейновском болоте, где не производился ремонт осушительной сети, древостои сосны и ели в настоящее время (2002 г.) имеют II класс бонитета при глубине грунтовых вод 15-20 см (рис. 62).

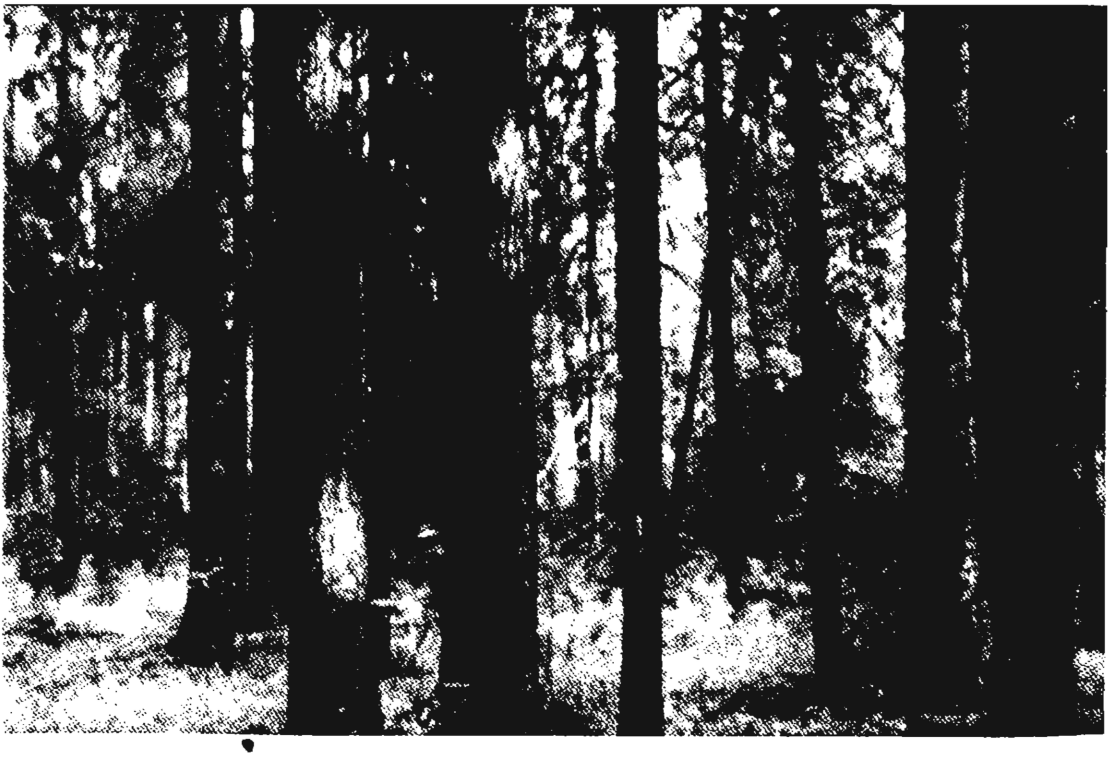


Рис. 62. Сосново-еловый древостой на богатом переходном Хейновском болоте. Лисино.

Любую лесную систему можно охарактеризовать как открытую, саморегулирующуюся. Изменение состояния системы под

влиянием факторов внешней среды - результаты получения и переработки информации. Воздействие природных факторов вызывает трансформацию состояния системы. Она происходит постепенно. При осушении земель изменения происходят не путем прямого влияния грунтовых вод, а в результате смены составляющих системы: аэрации почвы, состава почвенного воздуха, температуры почвы, характера почвообразующих процессов. Уровень грунтовых вод можно рассматривать как отдельную составляющую блока воздействия.

Поэтому пока осушительные каналы при минимальной глубине в состоянии отводить воды весеннего половодья и дождевых паводков, древостои за счет расхода влаги на суммарное испарение могут сохранять высокий прирост на протяжении многих десятилетий без угрозы вторичного заболачивания.

10.5. Прогнозирование лесоводственной эффективности осушения

При анализе гидромелиоративного фонда для определения очередности осушения необходимо знать ожидаемую лесоводственную эффективность и, прежде всего, величину прироста до проведения осушительных работ. Величина прироста определяется условиями местопроизрастания. М.П.Елпатьевским *[7]* разработана шкала отзывчивости древостоя на осушение в зависимости от прироста (табл. 33).

Все осушаемые объекты подразделяются на четыре группы. К I группе относятся объекты с высокими результатами осушения. Здесь после гидромелиорации можно выращивать древостои I-II классов бонитета. К объектам II группы относятся участки, осушение которых обеспечивает рост леса по II-III классам бонитета. На объектах III группы бонитет может повышаться не более чем до IV класса. Объекты IV группы малоэффективны и осушаются главным образом в целях предупреждения дальнейшего заболачивания, особенно в зеленых зонах или для улучшения условий естественного лесовозобновления. К осушению в лесоводственных целях следует назначать участки, относящиеся в основном к I и II группам эффективности.

Таблица 33

Шкала отзывчивости сосновых лесов на осушение

Группа типов леса	Тип леса	Класс бонитета		Текущий дополнительный прирост	Группа эффективности
		до осушения	после осушения		
Низинный тип заболачивания					
Болотно-травяная	Осоково-болотно-разнотравный	IV	I	4-8	I
	Травяно-сфагновый	IV-V	V-III	2-3	II
	Осоково-тростниковый	II,5	II-I	0,5-1,5	IV
Долгомошниково-сфагновая	Сфагново-долгомошниковый	V	II	3-4	I
	Осоково-болотно-травяной	IV	II	2-4	I-II
Переходный тип заболачивания					
Осоково-сфагновая	Осоково-сфагновый и тростниково-сфагновый	V	II	3-4	I
Верховой тип заболачивания					
Долгомошниковая	Чернично-долгомошниковый	II-III	I,5-II	0,5-1,5	IV
	Сфагново-долгомошниковый	IV	II-III	1-2	III
Сфагновая	Кустарничково-сфагновый	V-Va	III-IV	1,5-3,0	II-III
Сосна по верховому болоту	Очес до 0,5 м	Vб	Va	Менее 0,5	Ниже IV

10.6. Бонитировка насаждений на осушенных землях

Определение класса бонитета на осушенных землях имеет свои особенности. Применение обычной бонтировочной методики здесь возможно только для древостоев, возникших после гидромелиорации. В большинстве случаев гидромелиорацию проводят на участках, занятых лесом. Древостои, произраставшие здесь до осушения, были задержаны в росте вследствие избытка влаги. Поэтому определять класс бонитета общепринятым в таксации методом по высоте и возрасту невозможно. В настоящие время используют различные приемы бонитирования насаждений на осушенных землях. В справочнике гидролесомелиоратора *[30]* приведен ряд таблиц. Оценку результатов осушения по классу текущего бонитета можно проводить на основе таблиц А.В.Тюрина путем сопоставления за 5 и 10 лет общей средней высоты и среднего периодического прироста в высоту за рассматриваемый период (прил. 7).

Для прогнозирования класса бонитета можно использовать таблицу в прил. 6. Зная таксационные показатели в момент таксации насаждения и закономерность изменения класса текущего бонитета, можно вычислить ожидаемый прирост в высоту.

10.7. Пути повышения лесоводственной эффективности осушения

Осушение переувлажненных земель следует рассматривать как начальную стадию их освоения. Осушаемые земли значительно различаются по характеру древесной растительности. В зависимости от состава, состояния и возраста древостоев назначаются различные мероприятия по их использованию. Возможны два основных направления хозяйственного освоения осушенных земель: 1) формирование естественно возникших древостоев; 2) создание искусственных насаждений путем посадки или посева леса.

Освоение древостоев естественного происхождения. При наличии на осушаемых территориях перспективных древостоев целесообразно новые древостои формировать за счет естественных. В.М. Медведева и И.В. Ионин рекомендуют дифференцированный подход при освоении осушенных древостоев в зависимости от их состояния. Спелые и перестойные древостои с запасом ликвидной древесины 40 м^3/га и более рекомендуется вырубать до осушения с последующим естественным или искусственным облесением. В разновозрастных древостоях с запасом спелых и перестойных деревьев не менее 40 м^3/га целесообразна вырубка старых деревьев с последующим лесовозобновлением за счет подроста. Исследования Лесотехнической академии показали, что вырубка старых деревьев в разновозрастном древостое значительно улучшает естественное возобновление. В благоприятных условиях за счет подроста может сформироваться высокобонитетный древостой. На осушенном в 1841 г. болоте Суланда запас древостоя сейчас более 500 м^3/га. Участки с малоценными древостоями требуют лесокультурного освоения.

Лесокультурное освоение осушенных земель. Подготовка территории. Избыток влаги на болотных почвах затрудняет аэрацию. Здесь постоянно отмечается недостаток кислорода.

Для обеспечения нормальной микробиологической активности и улучшений других почвенных процессов, а, следовательно, и роста растений необходимо регулирование водного режима избыточно увлажненных болотных почв. Для этого необходимо устройство осушительной сети в виде открытых каналов. Расстояние между осушителями следует устанавливать согласно руководству по осушению лесных площадей *[29]*.

О б р а б о т к у п о ч в ы на болотах проводят с целью создания микроповышений в виде пластов, используемых для посадки или посева культур. Целесообразность создания на болотах искусственных микроповышений пластов обоснована многочисленными исследованиями. Пласты необходимо создавать на низинных, переходных и кустарниково-сфагновых верховых болотах. Образующиеся при этом борозды (канавки) можно использовать для дополнительного дренирования почвы, если вывести их в осушительную сеть. Культуры, созданные по пластам, почти не требуют прополок, т.к. травянистая растительность появляется медленно.

Для устройства борозд необходимо применение тяжелых орудий с тракторами болотной модификации. Исследования показали, что наиболее пригодны для обработки почвы плуг-каналокопатель ПКЛН-500 и навесной каналокопатель ЛКН-600. На интенсивно осушаемых болотах возможно применение плуга ПЛП-135. На низинных, хорошо осушенных болотах можно использовать двухотвальный плуг ПКЛ-70.

Расстояние между бороздами, полученное на основе анализа исследованных производственных культур в лесхозах Ленинградской области, должно составлять 4-5 м. Такое размещение борозд обеспечивает смыкание рядов культур сосны, созданных по пластам, к 8-10 годам.

На безлесных сфагновых верховых болотах подготовку борозд и пластов можно не проводить. Культуры здесь сажают без подготовки почвы, однако необходимо осушение территории, которое считается достаточным, если на середине между каналами грунтовые воды понижаются на глубину необходимую для нормального роста растений (табл. 34).

Уровень грунтовых вод регулируют и лесокультурные борозды. Установлено, что на переходном торфянике при отсутствии осадков борозды глубиной 35-40 см, проведенные через 4 метра и

Таблица 34

Глубина грунтовых вод на переходных торфяниках в культурах сосны разных классов бонитета (май-сентябрь)

Возраст	Класс бонитета		
	I	II	III
5	25-30	20-25	-
10	35-40	30-35	20-25
15	40-45	35-40	25-30
30	45-50	40-45	30-35
35	-	40-50	35-40

выведенные в канаву, могут понижать верховодку на 5-6 см в сутки. Наблюдения показали, что при выпадении 4 мм осадков в сутки среднеустойчивое фактическое понижение верховода составляло 1-1,5 см. При такой скорости понижения проточные борозды освобождают корнеобитаемый слой от гравитационной влаги за 7-10 дней. Борозды освобождались от воды обычно к концу первой декады мая.

На участках с выводом борозд корни в период вегетации не подтоплялись. При устройстве борозд без вывода в каналы вода в бороздах сохранялась длительно время, а в сырые годы наблюдалась в течение всего периода вегетации. Средние уровни грунтовых вод на участках с проточными и непроточными бороздами приведены в табл. 35.

Таблица 35

Влияние борозд на глубину грунтовых вод, см

Торфяник	Борозды	Месяцы					Среднее за май-сентябрь
		V	VI	VII	VIII	IX	
Верховой	Проточные	27	31	41	47	44	33
	Непроточные	10	19	40	41	39	23
Переходный	Проточные	13	29	60	78	70	43
	Непроточные	4	24	52	73	68	36

Из табл. 35 видно, что при выводе борозд в осушительную сеть грунтовые воды на торфяниках понижаются значительно больше, чем на участках с невыведенными бороздами. Особенно большие различия наблюдаются в мае-июне, пока грунтовые воды не опустились ниже дна борозд. При дальнейшем понижении грунтовые воды опускались только за счет действия осушительной сети и испарения, поэтому различия в глубинах грунтовых вод на участках с проточными и непроточными водами незначительны.

Воздействие лесокультурных борозд и осушительной сети на уровень грунтовых вод верховых и переходных торфяников рассмотрим на примере данных табл. 36.

Таблица 36

Влияние борозд и каналов на уровень грунтовых вод

Борозды	Расстояние между канавами, м	Расстояние между бороздами, м	Длина борозды, м	Глубина борозды, см	Глубина грунтовых вод, см	
					10.V	V-IX
Верховые торфяники						
Непроточные	100	4,5	400	45	10	34
Проточные	100	4,5	400	45	30	49
Отсутствуют	100	-	-	-	10	24
То же	50	-	-	-	28	38
Переходные торфяники						
Непроточные	100	4,0	120	30	4	62
Проточные	100	4,0	120	30	18	68
Отсутствуют	130	-	-	-	7	59

Культуры сосны, созданные на осушенных торфяниках, характеризуются высокой приживаемостью обычно достигающей 95-98%.

Уходы за культурами на переходных и верховых торфяниках не требуются. Травянистая растительность на пластах обычно появляется не ранее чем через 2-4 года. За это время культуры сосны достигают 0,5-0,7 м.

Наблюдения за развитием культур в течение 40-летнего периода показали, что при размещении посадок в рядах через 0,5-0,6 м и между ними 3-3,5 м смыкание в рядах наступает в 5-6-летнем возрасте. Ряды культур смыкаются к 8-10 годам.

При увеличении расстояний между рядами культур более 5 м культуры не смыкаются и к 13-летнему возрасту. В табл. 37 приведены показатели роста культур на опытном участке в разном возрасте с расстоянием между рядами 3-4 м. К 12-летнему возрасту, полнота культур на опытном участке была несколько больше 1. К 19-летнему возрасту на участке с выведенными бороздами сформировался высокобонитетный древостой с запасом более 140 м^3/га. Появилась береза. Проведено осветление. К 40-летнему возрасту запас насаждений составил более 370 м^3/га.

На участке с невыведенными бороздами к 23-летнему возрасту запас насаждений составил 113 м^3/га, что на 25% ниже, чем на участке с выведенными бороздами в 19-летнем возрасте. Появившаяся

Таблица 37

Изменения показателей роста культур сосны на осушенном торфянике

Возраст, лет	Средние		Количество деревьев на га	Запас, $м^3$/га	Класс бонитета	Состав
	H, м	D, см				
Борозды выведены в каналы (проточные)						
6	1,5	1,7	4800	-	I	10 С
11	4,9	6,5	4500	55	Ia	10 С
19	10,4	9,6	4012	141	Ia	10 С
26	13,2	11,4	3005	223	Ia	10 С
35	18,5	16,3	1887	321	Ia	10 С
40	31	16,9	1524	374	I	10 С
Борозды не введены в каналы (тупые)						
4	0,7	1,4	4600	-	-	1 ОС
23	11,1	10,5	2134	113	I-II	10С+Б
40	20,6	16,7	767	155	I	С
	18,0	15,4	813	95	I	Б

береза не удалялась рубками ухода. К 40-летнему возрасту общий запас составил 250 $м^3$/га, состав древостоя 7С3БедЕ. Следовательно, при создании лесных культур на торфяниках борозды в осушительную сеть необходимо обязательно выводить и проводить рубки ухода.

Важным показателем качества культур является их устойчивость в процессе развития и роста. Исследованиями установлено, что культуры, созданные по пластам, развивают корни преимущественно вдоль пластов. Работы Ю.Е. Колесникова показали, что на участках лесных культур, созданных по пластам с невыведенными в каналы бороздами, где часто стоит вода, корни растений развиваются только вдоль пластов. В таких случаях уже в 20-25-летнем возрасте наблюдается ветровал. На участках с выводом борозд в каналы корни развиваются почти равномерно во всех направлениях, ветровал не отмечен. Ураганом 30 июня 1999 г. на участке с выведенными бороздами на отдельных участках сломано (бурелом) до 50-70% деревьев. Ветровальных деревьев не имеется.

10.8. Эксплуатация осушительных систем

Осушительные системы, оказывающие коренное воздействие на почву, рассчитывают на десятки лет. Однако под влиянием естественных и искусственных причин происходит их деформация и разрушение. Наиболее часто встречающиеся виды повреждений: разрушение откосов на малоустойчивых грунтах, выпирание грунта в нижних частях откосов, размыв дна и подмыв откосов, разрушение мостов и трубопереездов и пр. Причинами, являются крутые откосы, узкие бермы, отсутствие сточных воронок, пастьба скота и др.

Исследования в лесхозах показывают, что разрушение каналов является одной из причин, вызывающих снижение эффективности осушения.

Эксплуатация осушительных систем начинается сразу после их строительства. Законченные строительством осушительные системы подлежат приемке в эксплуатацию государственными комиссиями из представителей заказчика и подрядчика. В отдельных случаях в состав комиссии могут входить представители проектной организации и научного учреждения.

Основной обязанностью рабочей комиссии является определение готовности объекта к сдаче в эксплуатацию, что оформляется актом.

Госкомиссия на основании представленных материалов проверяет и устанавливает:

комплектность и достоверность предъявленной заказчиком документации;

соответствие выполненных работ утвержденному проекту, оценку качества работ по осушительной сети, сооружениям, дорожной сети, противопожарным мероприятиям;

фактическую площадь осушаемых земель;

фактическую стоимость осушения в сравнении с проектной;

оценку качества работ.

При положительном решении составляют акт приемки объекта в эксплуатацию. На объект, принятый госкомиссией в эксплуатацию, составляются паспорт и кадастр лесоосушительных систем.

В паспорте осушительной системы (прил. 9) отмечается местоположение объекта, время строительства, площадь объекта, стоимость строительства, название строительной организации.

Мелиоративный кадастр лесоосушительных систем включает материалы о количественном и качественном состоянии осушительных систем и сооружений.

В мелиоративный кадастр ежегодно на 1 января вносят все изменения и работы проведенные на осушительной системе и осушенной площади по пунктам 8-12 (прил. 10).

В систему мероприятий, проводимых для обеспечения нормальной работы осушительной системы, входят надзор за системой, уход и ремонт.

Надзор за осушительной системой включает:

- контроль за ее состоянием и соблюдением правил эксплуатации;
- наблюдение за работой осушительной системы и выявление причин, препятствующих нормальной работе;
- контроль за соблюдением противопожарных мероприятий;
- наблюдение за влиянием осушительной сети на рост леса;
- разъяснительные работы среди населения по правилам поведения на осушенных землях и ведения работ в осушенных лесах.

Уход за осушительными системами включает:

- удаление из каналов посторонних предметов, затрудняющих свободное течение воды;
- подготовку сооружений и каналов к пропуску весенних и летне-осенних паводков (очистку от мусора, снега, льда и пр.);
- очистку сооружений (труб, мостов, шлюзов и пр.) от попавших в них предметов;
- устранение (без применения механизмов) мелких разрушений осушительной сети и сооружений.

Если не обеспечена сохранность осушительной сети мероприятиями по надзору и уходу, приходится проводить текущий, капитальный и аварийный ремонт.

В состав работ по текущему ремонту входит:

- очистка мелких водоприемников и каналов на отдельных участках от наносов и растительности;
- ремонт сооружений, крепление откосов каналов, ремонт отдельных участков дорог.

Капитальный ремонт проводят по необходимости. В его состав входит:

- восстановление до проектных размеров каналов осушительных систем и ликвидация разрушений на них;

- ремонт или замена сооружений на осушительной системе.

Капитальный ремонт назначается и при отсутствии повреждений осушительной системы в случаях повсеместного уменьшения глубины осушителей на 20-25% от необходимой после осадки торфа или значительного снижения прироста древостоя.

При правильном выборе объектов иссушений потенциально богатых земель своевременное проведение надзора и ухода за осушительными системами может уменьшить потребность в текущем ремонте и исключить необходимость в капитальном (гл. 10.4).

Аварийный ремонт проводят для ликвидации сильных разрушений каналов и сооружений, обычно вызванных стихийными бедствиями или механизмами при выполнении лесохозяйственных работ.

Объем земляных работ при ремонте каналов осушительной сети вычисляют по разности площадей поперечного сечения существующего канала и канала, проектируемого после ремонта.

Площадь поперечного сечения канала, проектируемого после ремонта, обычно имеет трапециевидное сечение, определяемое по формуле трапеции.

Площадь поперечного сечения существующего канала до ремонта вычисляют как площадь параболы:

$$F = 2/3\ BT, \qquad (108)$$

где B - ширина канала поверху, м; T - глубина канала, м.

При углублении старых каналов, придании им параболической формы (см. рис. 37) с оставлением нетронутой верхней половины откосов площадь поперечного сечения углубляемой части каналов определяют по формуле Х.А. Писарькова:

$$F = 0,47\ Bh, \qquad (109)$$

где B - существующая ширина канала поверху; h - величина углубления.

Работы по уходу за каналами осушительной сети и большую часть работ при текущем ремонте проводят вручную. При капитальном ремонте используют машины и механизмы, применяемые при строительстве осушительной сети. Широкое распространение при ремонте осушительной сети получили фрезерные машины.

Надзор выполняет лесная охрана. Работы по уходу и, в большинстве случаев, текущий ремонт осушительных систем проводят рабочие лесхозов. Капитальный ремонт, так же как и строительство осушительных систем, должны выполнять специальные службы.

Для проведения капитального ремонта необходимо проводить специальные изыскания и проектирование, выполняемые проектной организацией.

Контрольные вопросы. 1. Что такое лесоводственная эффективность осушения? 2. Почему зольность торфа может служить показателем лесоводственной эффективности осушения болот? 3. В чем особенности строения корней и корневых систем на осушенных торфяных почвах? 4. Как проявляется влияние возраста древостоев на эффективность осушения и формирование древостоев? 5. Как определить класс бонитета древостоя на осушенных землях? 6. Чем определяется устойчивость древостоев на осушенных землях? 7. Пути повышения лесоводственной эффективности осушения? 8. Почему при создании лесных культур по пластам на болотах необходимо борозды выводить в каналы? 9. Что такое мелиоративный кадастр? 10. Какие мероприятия проводят при эксплуатации осушительных систем? 11. В чем различие между уходом и ремонтом осушительной сети? 12. Всегда ли необходим ремонт осушительных каналов?

Глава 11
ОСУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Осушение лесных земель вызывает изменение ряда экологических характеристик: снижаются уровни почвенно-грунтовых вод на осушаемых землях, изменяются соотношение расходных статей водного баланса, а также состав растительности и ее качественные и количественные показатели. Особенно значительны перемены при осушении болот. Если осушение совпадает с засушливыми годами, сопровождающимися неурожаями, то их объясняют осушением земель. В засушливых 1970-х годах значительную часть лесных пожаров также объясняли осушением. В сырые годы, когда реки выходят из берегов, причиной затопления тоже считают осушение. Однако для подтверждения сказанного надо иметь факты. Величины количественных и качественных изменений, вызванных осушением, следует оценивать на основе научных исследований.

Дискуссии о роли болотных ландшафтов и формировании водного режима территории имеют давнюю историю. Одни исследователи рассматривали болота как накопители влаги и регуляторы стока, другие считали их в основном потребителями воды. Гидролог Е.В.Оппоков *[20]* считал, что "... болота подобно лесам являются наибольшими испарителями влаги в природе, а ... не отдают ее для меженного стока рек". Не отмечается регулирующей роли болот и в исследованиях В.Д.Лопатина *[14]*. Отсутствие водорегулирующей роли болот и особенно прекращение с них стока летом объясняется громадным расходом влаги болот на испарение с малой степенью их дренированости. Исследованиями, проведенными различными научными учреждениями, установлено, что суммарное испарение с поверхности болот оказывается близким к величине испарения с водной поверхности. Повышенный расход влаги на испарение приводит к уменьшению стока. Как установлено исследованиями К.Е.Иванова *[9]*, сток воды в болотах происходит преимущественно в деятельном верхнем горизонте, ограниченном в основном глубиной 0,3-0,5 м. Поэтому при установлении уровней грунтовых вод ниже деятельного горизонта сток с болот, особенного атмосферного питания, прекращается или происходит крайне медленно. Известно, что значительная часть рек Севера вытека-

ет из болот. Однако, оценивая роль болот в водном питании рек, следует учитывать характер их образования с учетом возраста тех и других. Большинство рек европейской части России имеют более раннее происхождение, чем болота. В.В. Докучаев *[4]* отмечал, что формирование большей части речных долин происходило за счет соединения протоками озерных систем. Озера после образования речных долин являлись первоначальным источником рек. С течением времени, по мере евтрофирования озер, происходило их постепенное зарастание и формирование на их месте болот (см. гл. 5.3). Поэтому большинство рек равнинной части страны в современную эпоху вытекает из болот, бывших когда-то озерами. Сток из озер в реки определяется, согласно уравнению Шези (гл. 3), величиной уклона и площадью живого сечения истока. Чем шире русло реки и выше уровень воды в озере, тем больше сток реки. После зарастания озера сток с болот, согласно закону Дарси, происходит путем фильтрации через грунт, что резко снижает расход и объем стока. Если в открытых водостоках скорость течения может достигать сотен и тысяч метров в сутки, то при фильтрации воды через грунт скорость в равнинных условиях не превышает одного или долей метра в сутки (гл. 4).

Влияние осушения на сток. Исследования С.Э.Вомперского *[3]*, П.П.Залитиса *[8]*, а также кафедры почвоведения и гидромелиорации ЛТА позволяют сделать определенные выводы. Наши исследования проводились в Ленинградской области на верховом и переходном болотах с сосновыми древостоями соответственно V и II классов бонитета. Верховое болото было представлено слаборазложившимся, хорошо водопроницаемым торфом мощностью 0,4-0,5 м, сформировавшимся на плотном хорошо разложившемся слабоводопроницаемом торфе. Переходное болото сложено однородным по степени разложения торфом, глубина торфа 1,8-3,7 м. Осушение болот проведено открытыми каналами глубиной 0,9-1,1 м. Внутригодовое распределение стока с осушенных болот приведены в табл. 38.

Анализ внутригодового распределения стока показывает увеличение равномерности годового стока по мере повышения интенсивности осушения. На интенсивно осушенных участках верховых болот за летние месяцы (май-август) сток составил 26% годового, а на слабоосушенных - 21%. Длительность периодов с отсутствием

Таблица 38

Элементы водного баланса, мм, при разной степени осушения

Месяц	Сток				Испарение			
	верховое болото			переходное болото	верховое болото			переходное болото
	Расстояние между каналами, м							
	65	130	205	128	65	130	205	128
Январь	7,8	7,1	4,8	5,4	3	3,1	3,7	3,2
Февраль	3,7	2,6	2,2	3,1	6,3	6,7	7,8	7,3
Март	13,7	11,4	7,7	4,8	15,5	16,5	19,3	18,2
Апрель	77,8	73,5	57,5	52,5	29,2	31,0	36,3	37,4
Май	31,9	27,9	17,2	29,1	61,8	65,8	76,8	79,4
Июнь	11,6	10,0	5,0	9,7	81,5	87,4	99,2	100,1
Июль	9,1	7,9	4,7	4,6	71,8	76,1	89,2	88
Август	7,2	6,3	4,1	3,0	57,0	60,5	70,8	68,5
Сентябрь	10,2	9,4	5,4	3,8	22,6	23,9	28,1	27,4
Октябрь	21,8	18,3	12,2	7,4	12,2	12,9	13,7	15,5
Ноябрь	24,8	22,6	17,2	13,3	5,2	5,4	6,4	6,8
Декабрь	14,5	13,1	8,0	9,6	4,1	4,3	5,1	4,5
Итого за год	233,7	210,3	146,0	145,7	370,3	393,7	457,8	456,3

стока по каналам при слабом осушении достигала в отдельные годы 2-3 месяца, а при интенсивном не превышала 15-25 дней при многолетних средних величинах 30 и 59 дней. Следовательно, регулирующее влияние осушения и выравнивание внутригодового стока с увеличением интенсивности осушения не вызывает сомнения.

Увеличение стока по мере роста интенсивности осушения (уменьшения расстояний между каналами) сопровождается снижением суммарного испарения. Многолетняя средняя годовая величина испарения при экстенсивном осушении равнялась 458 мм, при интенсивном - 370 мм. Значительно выше испарение в лесу на переходном болоте. В летние месяцы среднесуточное испарение достигает 2,5-3,1 мм, в 10-20 раз превышая сток.

Осушение болот оказывает влияние на водное питание рек. Сопоставление модулей стока за 14–летний период наблюдений в Ленинградской области на осушенном верховом болоте и в р. Равань (табл. 39) показали, что при осушении редкой сетью каналов модули стока с болот оказались ниже, чем в реке, почти во все периоды наблюдений и за год в целом. При интенсивном осушении модуль стока с болот оказался выше, чем в реке.

Таблица 39

Модули стока в реке и на осушенном болоте, л/с · га

Годовые	Максимальные	Периоды		
		апрель-май	июнь-сентябрь	декабрь-март
Река Равань				
0,054 100	0,722 100	0,128 100	0,022 100	0,018 100
Осушенное болото				
Расстояние между каналами 205 м				
0,047 91	0,774 107	0,152 69	0,016 73	0,016 89
Расстояние между каналами 130 м				
0,067 124	0,832 115	0,195 89	0,031 141	0,025 139
Расстояние между каналами 65 м				
0,075 139	1,131 159	0,125 98	0,037 168	0,033 183

Примечание. В числителе -- модули стока, в знаменателе -- сток с болота, % к стоку в реке.

Исследования стока рек и его изменений под влиянием осушения, проведенные кафедрой почвоведения и гидромелиорации Лесотехнической академии, выявили увеличение годового стока рек в Ленинградской области на 8-11, в Псковской - на 19%. Сток в летний

период (июнь-сентябрь) увеличился в Ленинградской области на 33-64, в Псковской - до 70%. Исследования показывают, что осушение болот в условиях Северо-Запада страны увеличивает сток, выравнивая его внутригодовое распределение и улучшая водное питание рек.

Исследования Л.П. Смоляка *[31]*, Б.С. Маслова *[17]* и др., направленные на изучение изменения уровней грунтовых вод на участках территорий, прилегающих к осушенным землям, выявили весьма малое снижение грунтовых вод. Понижение распространяется на несколько сотен метров, но составляет 30-50 см возле каналов и не превышает нескольких сантиметров на удалении 200-250 м и далее. Большого понижения не может и происходить. Осушение земель для лесопользования предусматривает понижение грунтовых вод на величину, определяемую нормой осушения, которая в большинстве своем не превышает 0,4-0,5 м (гл. 5). Необходимо помнить, что норма осушения должна поддерживаться в основном в безморозный, преимущественно в летний период. В табл. 40 показано изменение уровней грунтовых вод на осушенных болотах различного типа при различной степени осушения. Наблюдениями установлено, что существенное (до 0,8 м) понижение уровней наблюдается только летом на переходных болотах. Весной после снеготаяния уровни грунтовых вод ежегодно повышаются. Поэтому истощение запасов грунтовых вод на осушаемых землях, окружающих осушенные, происходить не может.

Таблица 40

Средние многолетние уровни почвенно-грунтовых вод, см

Расстояние между каналами, м	Месяц												За год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Верховое болото													
205	12	16	13	1	4	14	18	22	20	12	8	7	12
130	18	24	20	4	9	19	24	28	25	17	14	14	18
65	27	32	23	7	14	26	32	37	34	25	20	19	25
Переходное болото													
128	53	61	60	23	16	37	56	67	71	65	47	46	50

При осушении земель особое внимание следует обращать на обоснование способов регулирования водоприемников. Например, при спрямлении русел рек и ликвидации меандр при решительном спрям-

лении водоприемников (гл. 9) происходит быстрый сброс вод паводков и половодий, поэтому может происходить снижение уровней грунтовых вод в поймах, поскольку делювиальные отложения пойм или старичные отложения, сложенные алювием, обладают слабой водоудерживающей способностью и малым капиллярным подъемом грунтовых вод. Углубление русел, снижая базис эрозии, также может вызвать снижение грунтовых вод в поймах. В меньшей степени влияние спрямления и углубления русел проявляется на положении грунтовых вод пойм на слабоводопроницаемых или торфяных грунтах.

По возможности следует заменять решительное спрямление русел частичным. При нежелательности увеличения расходов можно предусматривать разгрузку водоприемников или другие способы регулирования (гл. 9).

При осушении пойменных земель с небольшой глубиной торфа, особенно сформировавшихся на песчаных землях, необходимо тщательное обоснование проекта. Осушая мелкие торфяники на песчаных землях, не следует каналы заглублять (врезать) в подстилающие грунты, а следует создавать мелкую сеть каналов.

Осушение, вызывая понижение грунтовых вод, увеличивает вероятность возникновения пожаров в лесу, хотя, как показали фактические данные, степень загорания в осушенных лесах не превышает уровня загораний в неосушенных. Для оперативного тушения лесных пожаров на осушенных землях необходимо строительство пожарных водоемов, дорог.

Неблагоприятное воздействие на состояние рек может оказывать вынос в реки по каналам в первые годы после строительства твердого стока и его седиментации. Поэтому необходимо устройство илоуловителей при впадении проводящих каналов в водоприемники.

Осушение, улучшая лесорастительные условия, одновременно создает благоприятные условия для роста грибов и дикорастущих ягод (кроме клюквы). Поэтому при выборе объектов не следует назначать к осушению территории, предназначаемые для сбора клюквы.

Контрольные вопросы. 1. Как влияет осушение на водное питание рек? 2. Возможно ли понижение грунтовых вод на землях, примыкающих к осушенным? Какова величина понижения грунтовых вод? 3. Какие способы регулирования водоприемников предпочтительнее с точки зрения состояния окружающей среды?

Глава 12
ИЗЫСКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

12.1. Общие гидромелиоративные обследования

Изыскания проводят с целью сбора необходимых данных для проектирования гидромелиоративных работ *[29]*.

В начальном периоде проводят общие мелиоративные исследования гидромелиоративного фонда для составления технико-экономического обоснования необходимости гидромелиоративных работ. В технико-экономическом обосновании указывают площадь переувлажненных земель в составе гослесфонда, обосновывают целесообразность, техническую возможность гидромелиорации и выбор участков осушения, устанавливают очередность проведения работ, приводят материально-технические, трудовые и денежные затраты, дают расчет эффективности гидромелиорационных мероприятий.

Схему осушения переувлажненных земель какого-либо района разрабатывают на основе лесоводственно-мелиоративной характеристики земель лесного фонда, почвенно-грунтовых, гидрологических, климатических, геоморфологических, экономических условий с учетом природоохранных свойств объектов района обследования.

Исходные данные для составления схемы получают из материалов лесоустройства (таксационных описаний и планов лесонасаждений), справочной литературы (климатические и гидрологические данные), материалов землеустройства, геоморфологических и геоботанических карт. Проводят выборочные натурные обследования с охватом 5-15% площади намечаемых к мелиорации объектов. При выборочном обследовании желательно ознакомиться с объектами осушения прошлых лет (при их наличии) для выявления влияния осушения на рост леса.

Назначая объекты для гидромелиорации, следует отдавать предпочтение крупным гидрологическим участкам (как правило, площадью не менее 200-300 га), расположенным вблизи водоприемников, занятым хвойными древостоями с высокой отзывчивостью на осушение (I-II группа эффективности), а также расположенным в районах с высокой интенсивностью лесного хозяйства.

На осушаемой площади исключаются: участки площадью менее 50 га, удаленные от водоприемников, расположенные на территории гослесфонда мозаично; участки, требующие больших объемов работ по регулированию водоприемников; природоохранные объекты; объекты, выделенные для сбора ягод (особенно клюквы); участки, намечаемые к торфоразработке в ближайшие 10 лет; участки гослесфонда, отводимые под сельхозпользование, осушение которых проводят по особым проектам (характеристика объектов осушения для лесного хозяйства приведена в гл. 5).

Намеченные под гидромелиоративное строительство участки согласовывают с местными органами власти, управлениями торфяного фонда, гипроводхозом, санэпидемстанцией, управлениями рыбнадзора, госохотинспекцией, органами управления лесным хозяйством и лесхозами.

12.2. Комплексные изыскания

Для разработки технического или технорабочего проекта осушения на объектах, отобранных по результатам общих мелиоративных обследований, проводят комплексные изыскания. К ним относятся топографо-геодезические, лесоводственно-мелиоративные, гидрологические и гидротехнические, почвенно-грунтовые изыскания.

Изыскания начинают с изучения документов: схем осушения, планов и планшетов лесоустройства, крупномасштабных карт (М 1:10000 - 1:25000); с выявления данных высотной геодезической сети; с анализа материалов гидрологических постов на водоприемниках в целях установления их пригодности и возможности использования данных для определения расчетных модулей стока или выбора рек-аналогов.

Комплексные изыскания могут проводиться с использованием аэрофотосъемки или без нее. При отсутствии материалов аэрофотосъемки большое внимание уделяют натурным изысканиям.

Топографо-геодезические изыскания (ТГИ) проводят на плановой основе лесоустроительных планшетов. При нивелировании руководствуются документами Управления геодезии и картографии и Руководством по осушению лесных земель

[29]. Нивелировочные работы проводят как на проектируемых заболоченных участках, так и на прилегающих 5-100-метровых полосах суходолов. По данным изысканий составляют: планы в горизонталях; схему расположения и увязки нивелировочных ходов; каталоги реперов временного и постоянного типов и акты сдачи на хранение геодезических знаков.

Гидрологические и гидротехнические изыскания (Г и ГИ) заключаются в сборе, обработке и анализе материалов наблюдений гидрологических станций и постов с построением графиков частоты и обеспеченности (гл. 3), с выявлением по картам границ водосборов, определением типа водного питания, оценкой состояния водотоков и характера озер.

При гидротехнических изысканиях выполняют топографо-геодезические работы по водоприемникам с определением живых сечений водотоков, учитывают все существующие сооружения на водотоках (мосты, трубы, шлюзы, плотины и др.), обследуют существующую осушительную сеть.

В результате Г и ГИ составляют кривые расходов воды (гл. 3), определяют по фактическим наблюдениям или аналогу расчетные модули стока, плановое положение водостоков и сооружений на них, составляют план регулируемого водоприемника, продольные и поперечные профили водотоков, эскизы сооружений.

Лесоводственно-мелиоративные изыскания необходимы для уточнения планового положения гидромелиоративного фонда, оценки древостоя и лесоводственной эффективности на примере староосушительных объектов. Основой гидромелиоративных изысканий являются таксационные и лесоустроительные материалы.

Почвенно-грунтовые и гидрогеологические изыскания (ПГ и ГИ) проводят для изучения характера грунтов для определения проходимости землеройной техники и установления устойчивости откосов каналов. При ПГ и ГИ определяют обеспеченность почвы питательными веществами, устанавливают степень разложения (табл. 12 или прил. 10) и ботанический состав торфа (в лаборатории).

При наличии материалов аэрофотосъемки или в несложных условиях можно значительно снизить проектно-изыскательские работы, сократить сроки проектирования (выполнить проектирова-

ние в одну стадию). При проектировании используют следующие материалы: фотопланы М 1:5000 - 1:25000, контактные отпечатки аэроснимков такого же масштаба, фотосхемы, топографические карты. На карте располагают осушительную сеть и по запроектированным трассам каналов проводят нивелировку, т.е. совмещают нивелировочные ходы с трассами каналов. В сложных условиях и при отсутствии аэрофотосъемки проектирование проводят в две стадии: составляют технический проект, а после его утверждения - рабочие чертежи.

Итогом проектирования является проектно-сметная документация с пояснительной запиской *[29]*. Окончательным этапом проектирования являются вынос проекта в натуру и трассировка осушительной сети. В результате изыскания после составления проекта заказчику представляют: план участка М 1:10000 или 1:5000 с трассами каналов, с нанесением мест отбора почвенных образцов; планы регулируемых водоприемников с нанесенными поперечниками, угловыми столбами, реперами и линиями спрямления М 1:2000-1:5000; продольные профили каналов с нанесением мест устройства сланей на участках с глубинами торфа более 1,5 м; документ согласований проекта с организациями контроля.

Контрольные вопросы. 1. Для чего проводят общие гидромелиоративные обследования? 2. Какие земли исключаются из осушаемой площади при составлении схемы гидромелиоративных мероприятий? 3. Содержание комплексных изысканий. 4. Когда допускается одностадийное и необходимо двухстадийное проектирование? 5. Чем завершается проектирование?

Раздел III

ОРОШЕНИЕ

Орошаемое земледелие является самым крупным потребителем пресной воды, около 75% которой используется без возврата в источники водоотбора. Для орошения и хозяйственного использования требуется чистая вода. В природных условиях она не бывает совершенно чистой. Качество воды оценивается определенными физическими, биохимическими показателями и определяется по ГОСТ 2874-82.

Физическими показателями служат температура, цвет, запах и вкус. Питьевая вода должна иметь температуру в пределах 7-12^{0}С, а вода для орошения - близкую температуре окружающего воздуха. Чистая вода не имеет цвета. Цвет воды в природе обычно обусловлен наличием в ней гумусовых частиц или растительных остатков. Цветность воды устанавливают в градусах по В.В.Оводову. Питьевая вода в стеклянном сосуде при рассмотрении сбоку должна быть бесцветной, имея градус цветности не более 20. Запах и вкус воды обуславливаются содержанием в воде растворенных солей, органических веществ, газов и микроорганизмов. Питьевая вода не должна иметь запаха и привкуса.

Вода, используемая для орошения, должна ограничиваться определенными химическими показателями.

Существенным химическим показателем качества воды является жесткость, выражаемая в миллиграмм- эквивалентах кальция и магния в 1 л воды (мг · экв/л). Жесткость в 1 мг · экв/л соответствует содержанию в 1 л воды 20,4 мг ионов кальция или 12,16 мг ионов магния. По степени жесткости воду подразделяют на мягкую с жесткостью 3, средней жесткости - 3-6, жесткую - 6-13, очень жесткую - более 15 мг · экв/л.

Вода в открытых водных источниках обычно мягче, чем подземная, поэтому ее предпочтительно использовать для орошения. Наличие в воде хлоридов придает воде неприятный вкус, увеличивает ее соленость. При содержании в воде NaCl в количестве, превышающем 300-400 мг/л, использовать для орошения ее не следует.

Среднесуточный расход воды на одного жителя, согласно СНиП П-30-76, устанавливают в зависимости от степени благоустроенности жилищных построек: в зданиях с водопроводом и канализацией (без ванн) - 120-160 л, с ваннами и водонагревателями - 160-230 л, в зданиях с уличными водозаборными колонками - 30-50 л.

В животноводстве на фермах расходуют, л: на одну корову- 100, лошадь - 60, свиноматку - 60, утку и гусей - 2, кроликов - 3.

Для мойки автомашины необходимо предусмотреть 400-500 л воды.

Расход воды на пожаротушение в населенных пунктах, согласно СНиП П-31-74, устанавливают в зависимости от числа жителей. В населенных пунктах с высотой зданий не более двух этажей при числе жителей до 10 тыс.чел. на один пожар необходимо обеспечить расход воды 10 л/с.

Количество воды на орошение устанавливают по величине поливной и оросительной нормы в зависимости от орошаемой площади (гл. 15).

Глава 13
ИСТОЧНИКИ ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ

Для орошения можно использовать воды местного стока, собираемые в искусственных водоемах, воды озер, больших и малых рек, болот и грунтовые воды.

13.1. Местный сток

При использовании для орошения вод местного стока необходимо на основе изысканий и исследований установить суммарный объем стока с данного водосбора, внутригодовое распределение расхода воды по сезонам и годам, качество воды. Воды местного стока собирают в пруды или используют непосредственно на орошение (лиманы).

Устройство плотинных прудов. Выбор места для пруда. Плотинные пруды устраивают в балках, руслах небольших ручьев или речек, в прекративших рост оврагах. Балки, русла, овраги в местах будущих прудов должны иметь глубину не менее 5-6, лучше 10 м. Берега должны быть по возможности крутыми в целях предотвращения затопления окружающих территорий. Уклоны дна балки под водохранилищем желательны в пределах 0,005-0,006. Меньшие уклоны приведут к возникновению больших площадей мелководий. Наилучшими являются балки, сужающиеся в местах намечаемой плотины, что снижает ее протяженность и объем насыпи. Пруды должны иметь достаточную водосборную площадь и обеспечить ежегодное восполнение расходуемой воды. Водохранилище устраивают как можно ближе к орошаемому участку, располагая, как правило, выше населенного пункта во избежании загрязнения сточными водами. Грунты дна и берегов балки выше плотины должны быть слабоводопроницаемыми для уменьшения потерь воды на фильтрацию. Наилучшими являются грунты, сложенные однородными суглинками мощностью 1,5-2,0 м, подстилаемые тяжелыми суглинками или глинами. Допускается строительство прудов и на водопроницаемых грунтах (песках, супесях), если они на глубине не более 2-3 м подстилаются водоупором. При выборе места под плотину необходимо учитывать возможность устройства

водосборного сооружения. Наилучшим является вариант, когда в створе плотины на небольшом удалении от нее проходит пологая балка, куда можно через коренной берег сбрасывать воду через водосборное сооружение.

Земляные плотины. При строительстве небольших прудов для задержания вод местного стока наибольшее распространение получили земляные плотины, устраиваемые в виде насыпи поперек балки. В поперечном сечении тело плотины имеет форму трапеции и состоит из следующих элементов (рис. 63): основания, гребня, откосов - мокрого (верхового) и сухого (низового). Уровень воды выше плотины (в верхнем бьефе) устанавливается расчетом и называется нормальным проектным горизонтом (НПГ).

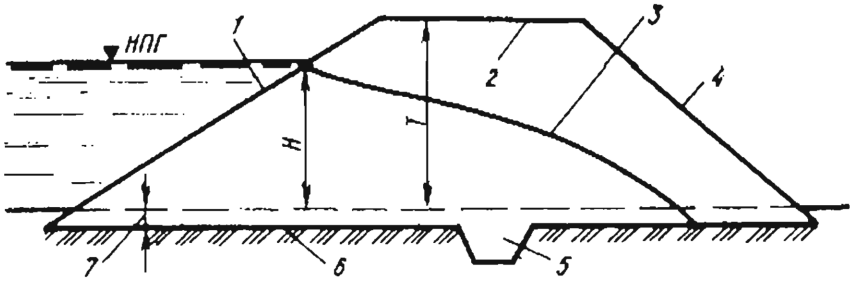


Рис. 63. Поперечный профиль плотины:
T- высота плотины; *H* – глубина воды в пруду; *НПГ* – нормальный проектный (подпорный) горизонт; *1*- мокрый откос; *2*- гребень; *3*- линия снижения уровня воды; *4*- сухой откос; *5*- замок; *6*- основание плотины; *7*- выемка слоя грунта

Плотины бывают двух типов: однородные, или простые, устраиваемые на водонепронецаемом грунте (основании); тело плотины насыпают из слабоводопроницаемого грунта (обычно суглинка); неоднородные, или сложные, основанием которых служат водопроницаемые породы, а на глубине 2-3 м залегает водупорный грунт; тело плотины сооружают из относительно водопроницаемого грунта (супеси, легкого суглинка); для предотвращения фильтрации через плотину под ее основанием устраивают замок, ядро или экран (рис. 64).

Ширина гребня плотины зависит от движения по плотине. Если по плотине автотранспорт не движется, то ширина гребня при высоте плотины до 6 м принимается равной 3-4 м. Для проезжих плотин ширина гребня зависит от класса дороги и должна составлять не менее 5-6 м. Проезжую часть плотины укрепляют асфальтом и оборудуют перилами.

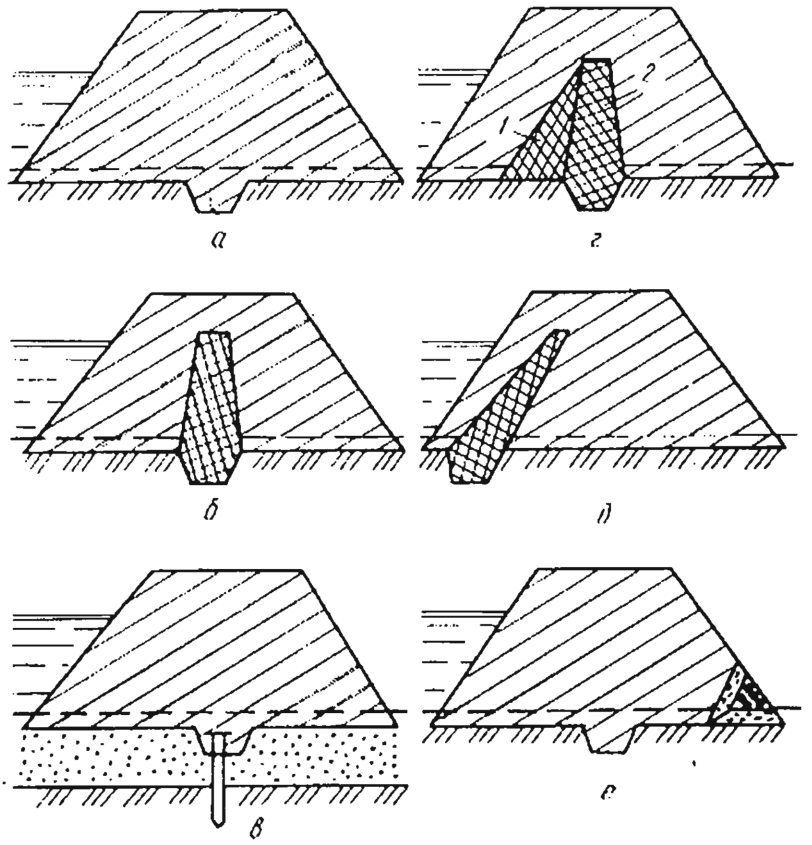


Рис. 64. Типы земляных плотин:

а- из однородного грунта; *б*- с ядром; *в*- из однородного грунта со шпунтом; *г*- со сложным ядром; 1- супесь; *2*- глина; *д*- с экраном; *е* – из однородного грунта с дренажем

Заложение сухого и мокрого откосов зависит от их назначения. Мокрый откос для средних суглинков устанавливают равным 2,5-3,0, для супесей- 3,0-3,5, для песков- 3,5-4,0. Сухой откос устанавливается соответственно - 1,5-2,0; 2,0-2,5; 2,5-3,0. Мокрые откосы в целях лучшей устойчивости следует укреплять каменной отмосткой или бетонными плитами. Крепят верхнюю часть откоса выше и ниже НПГ на 1-1,5 м.

В тело плотины после заполнения пруда фильтруется вода, располагаясь ниже определенной линии, называемой кривой депрессии. Ее уклон приблизительно равен: в супесях - 1/5, в суглинках - 1/4, в глинах - 1/3. Кривая депрессии должна пересекать основание плотины на расстоянии не менее 4 м от основания сухого откоса.

Однородные плотины устраивают из слабоводопроницаемых суглинистых грунтов с содержанием 50-70% глины и 50-30% песка. Для снижения фильтрации под основанием плоти-

ны по всей ее длине устраивают замок, врезаемый на 0,5-1,0 м в водонепроницаемый грунт (рис. 64, а). Ширина замка понизу - 1,0-1,5 м, коэффициент откоса - 0,5 или 1,0. На грунтах, где водоупорный слой залегает глубже 3 м, сверху на глубину 1,0-2,0 м устраивают замок, а ниже забивают шпунтовую стенку, заглубляя ее в водоупорный слой на 0,5 м (рис. 64, в).

Плотины с ядром применяют в целях уменьшения фильтрации воды через плотину. Ядро устраивают из глины, тяжелого суглинка или глинобетона. Толщину ядра принимают вверху не менее 1,0-1,5 м, внизу не менее 3 м. Нижняя часть ядра, выполняющая функции замка, врезается в водонепроницаемый грунт на 0,5 м (рис. 64,б). Ядро превышает НПГ на 0,6-0,75 м. Ядро сверху покрывают слоем грунта не меньше глубины промерзания. В отдельных случаях устраивают сложное ядро из слоя глины и песка (рис.64, г).

Плотины с пластичным экраном. Экраном называется наклонно уложенный со стороны мокрого откоса в теле плотины слой материала из мятой глины, тяжелого суглинка или полиэтиленовой пленки (рис. 64, д). Плотины при наличии экрана можно устраивать из водопроницаемого грунта. Толщина экрана: сверху - 0,8-1 м, снизу - около 2 м. Сверху экран со стороны откоса покрывают слоем крупнозернистого песка толщиной 0,7-0,8 м. Верхняя часть экрана должна быть на 1,0-1,2 м ниже отметки гребня плотины.

Плотины с дренажным устройством (рис. 64, е). Дренаж устраивают со стороны сухого откоса путем насыпки слоями толщиной 15-20 см мелкого и крупного песка, далее укладывают слой щебня или гравия, мелких и средних камней. По периферии дренажа прокладывают дренажные трубки. Ширина дренажного устройства по основанию принимается не менее 1 м, а высота - не менее 1/4-1/5 высоты плотины. Применение дренажа на плотинах высотой менее 10 м нецелесообразно.

Крепление откосов земляных плотин. Откосы земляных плотин разрушаются: под влиянием волн и дождей - верховой откос, только дождей - низовой откос. Крепление верховых откосов при высоте плотин до 5-6 м можно проводить каменной наброской или посадкой ив. Каменные наброски (выстилки) устраивают путем укладки камней продолговатой формы. Камни укладывают длинной стороной вдоль склона на предварительно уложенный слой крупнозернистого песка или мелкого щебня, покрывающего

откос. Выстилка выполняет функции фильтра, по которому вода стекает вниз. Для повышения устойчивости каменную наброску можно укладывать в клетки из бетонных элементов. Крепление проводят и в воде на 1,0-1,5 м ниже НПГ.

При высоте плотины не более 5-6 м можно применять и биологическое крепление в виде посадок ивы. Крепление создают посадкой черенков с размещением посадочных мест через 1,0х1,0 или 1,5х1,5 м. В период приживания посадок откос можно защитить от разрушения волнами выстилкой из хвороста или соломы. Низовые откосы можно закреплять посевом многолетних трав, залужением в клетках из дерна или сплошной одерновкой.

Водохозяйственый расчет пруда. При водохозяйственном расчете определяют требуемый объем пруда, устанавливают необходимую высоту плотины и проводят расчеты наполнения пруда водой. Требуемый объем пруда определяется расходами воды на орошение, водоснабжение, испарение, заиление, фильтрацию и необходимым по санитарным нормам минимальным запасом воды (мертвым объемом).

Объем воды на орошение устанавливают в зависимости от оросительной нормы и величины орошаемой площади. Его можно вычислить по формуле:

$$V_{op} = F\frac{M}{\eta}, \qquad (110)$$

где V_{op} - объем воды на орошение; F - орошаемая площадь, га; M - средняя оросительная норма, м^3/га; η - коэффициент полезного действия оросительной системы (0,6-0,8).

Объем на водоснабжение зависит от вида потребителя (бытовые нужды, производственные предприятия, тушение пожаров и т.д.) и рассчитывается по нормам водопотребления (СНиП П-30-76).

Количество воды, потребляемое на орошение и водоснабжение, называется полезной водоотдачей пруда.

Потери на испарение с водной поверхности зеркала пруда определяют по величине испаряемости и рассчитывают по формуле Н.Н.Иванова (гл. 1). Приблизительная величина испарения приведена в табл. 1.

Потери на испарение при облесении территории вокруг пруда сокращаются на 15-20% вследствие снижения скорости ветра и повышения влажности воздуха в зоне пруда.

Потери на фильтрацию не остаются постоянными. В первые годы после строительства потери больше, в дальнейшем по мере заиления пруда и кольматации почвенных пор ложа пруда фильтрация уменьшается. Для приближенных расчетов потери на фильтрацию можно определить по табл. 41.

Таблица 41

Потери воды на фильтрацию из прудов

Гидрогеологические условия балки	Величина фильтрации в год	
	Слой воды, м	От объема пруда, %
Водонепроницаемые грунты при близком залегании грунтовых вод (хорошие условия)	0,5	5-10
Слабопроницаемые грунты (средние условия)	0,5-1,0	10-20
Хорошо водопроницаемые неводоносные грунты (плохие условия)	1,0-2,0	20-40

В целях борьбы с фильтрацией под ложем пруда устраивают экраны из суглинка, глины, битума, бетона. В последние годы находит применение пленочное покрытие на дне водохранилищ в виде сплошной выстилки дна с покрытием ее на 0,2-0,3 м грунтом.

Потери воды за счет заиления (уменьшение объема воды в пруду) зависят от состояния водосбора, степени его распаханности и облесения. Поскольку плотинные пруды наполняются водами, стекающими с водосбора, необходимо знать ежегодный приток воды и величину твердого стока. Объем пруда, занимаемый илом, можно определить по формуле:

$$Vз = V_{p\%}\,\psi\alpha\,, \qquad (111)$$

где $V_з$ - объем ила; $V_{p\%}$ - ежегодный приток воды расчетной обеспеченности, м^3; ψ - количество взвешенных частиц, кг/м^3; α - коэффициент пористости наносов.

При облесенном нераспаханном водосборе средний слой заиления равен 1,7-4,0 см в год, при распаханном водосборе заиление может достигать 20-22 см в год.

С целью уменьшения твердого стока и заиления прудов по берегам балки целесообразно оставлять нераспаханную 20-30-метровую полосу вокруг пруда и проводить облесение берегов балки.

Мертвый запас воды в пруду определяется санитарными требованиями и хозяйственной необходимостью. В целях уменьшения прогреваемости воды в летнее время и снижения процессов разложения и гниения растительных и животных остатков в пруду по санитарным нормам постоянно должно быть не менее 1,5-2,0 м воды. Часто пруды используют для рыборазведения. Для перезимовки рыбы с учетом льдообразования необходимо увеличить слой мертвого запаса до 2,5-3,0 м.

Суммирование объемов воды на фильтрацию, заиление мертвого запаса, потребление (орошение и водоснабжение), испарение позволяет определить объем пруда. Рассчитав объем пруда, устанавливают необходимую высоту плотины. Необходимо учесть, что после образования пруда волнобоем плотина будет разрушаться. Для предохранения от размывания гребень плотины возвышается над НПГ. Высоту волн ориентировочно можно определить по формуле Е.А.Замарина:

$$H_B = 0,7 + 0,1\,L\,, \qquad (112)$$

где L - длина разгона волны, км.

Для приближенных расчетов можно принять превышение гребня над НПГ на высоту 1,0-1,5 м.

Расчет наполнения пруда водой производится в большинстве случаев на сток весенних талых вод. Гидрологический расчет прудов, предназначенных для орошения, проводят на сток 50%- или 70%-ной обеспеченности (гл. 3). Сток весенних вод рассчитывают по формуле:

$$W_c = F\,h\,\delta\,\sigma\,, \qquad (113)$$

где W_c - суммарный весенний сток с водосборной площади, м^3; F - площадь водосбора, м^2; h - мощность снега перед весенним снеготаянием, м; δ - плотность снега; σ - коэффициент стока.

Объем пруда определяют по горизонталям плана балки, для чего вычисляют площади, ограниченные каждой горизонталью и осью плотины (рис. 65).

Расчет объема проводят по формуле:

$$V_{47-48} = \frac{f_{47} + f_{48}}{2}\,h\,, \qquad (114)$$

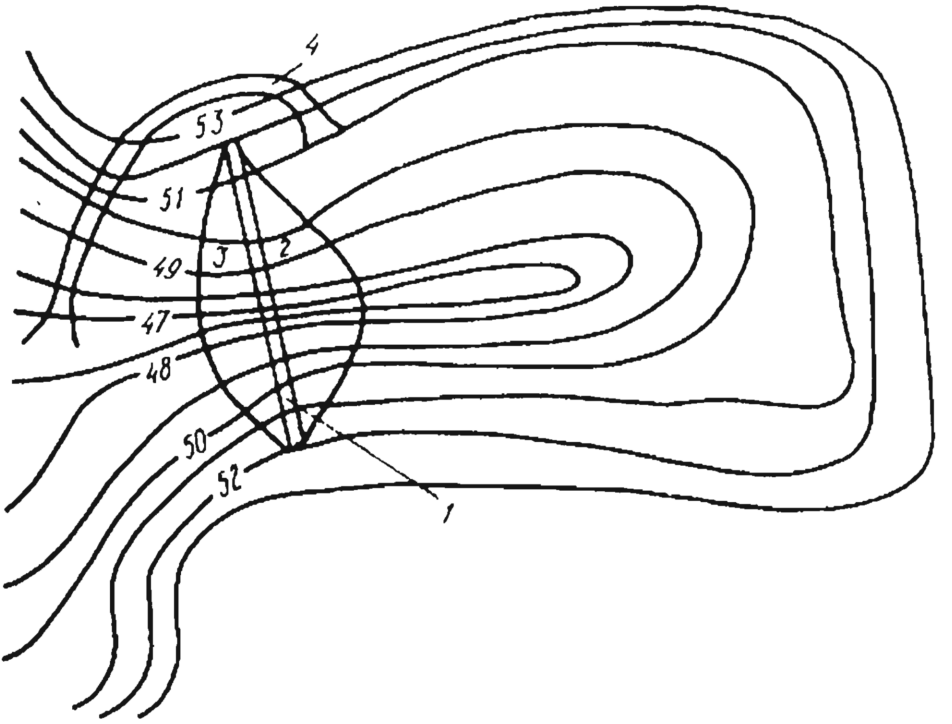


Рис. 65. План балки с плотиной и водосливом:
1 - гребень плотины; 2 - мокрый откос; 3 - сухой откос; 4 - водослив

где $V_{47\text{-}48}$ - объем чаши пруда между горизонталями 47-48; f_{47}, f_{48} - площади, ограниченные горизонталями 47 и 48; h - высота сечения горизонталей.

Суммирование объемов между каждой парой горизонталей даст общий объем пруда.

Водосбросные сооружения. В большинстве случаев в прудах задерживается часть годового стока с водосбора. Излишние воды могут переполнит водохранилище и вызвать разрушение плотины. Для отвода избыточных вод устраивают водосбросные сооружения: водосливы, каналы, водоспуски.

В о д о с л и в устраивают обычно в виде канала с быстротоком (см. рис. 44) или перепадом (см. рис.43), располагая его в стороне от плотины в обход ее. Входную часть водосливного сооружения располагают не ближе 30-40 м от плотины по урезу воды на уровне НПГ. Далее канал огибает плотину, располагаясь не ближе 40-50 м от основания сухого откоса. Верхняя горизонтальная часть водослива называется понуром, наклонная часть - водобойным полом и нижняя горизонтальная площадка - сливным полом. По верхней границе понура ниже его основания устраивают противофильтрационную стенку

или забивают шпунтовый ряд глубиной 1,5-2,0 м. Шпунтовый ряд забивают и в конце понурого пола. Входная часть понура делается расширенной для рассредоточения потока воды на входе. Водобойный пол заканчивается водобойным колодцем. Входную часть водослива (сливной пол), так же как и входную часть понура, делают уширенной для обеспечения более спокойного течения воды.

Ширину водослива приближенно можно определить по формуле:

$$b = \frac{Q}{\alpha a\sqrt{2gZ}}, \qquad (115)$$

где b - ширина водослива на входе, м; Q - максимальный расход воды, м^3/с; α - коэффициент (при остром входе - 0,85, закругленном - 0,92); a - глубина воды на пороге водослива, м; g - ускорение свободного падения (9,81 м/с^2); Z - перепад (превышение уровня воды в водохранилище над уровнем над входным отверстием), принимаемый в пределах 0,08-0,10 м.

Расход воды определяют по максимальному модулю стока талых вод по формуле Д.Л.Соколовского:

$$q_{max} = 2{,}8\, a\, \alpha\sigma, \qquad (116)$$

где a - среднемаксимальная интенсивность снеготаяния (2-4 мм/г); σ - коэффициент стока; α - коэффициент редукции, равный для площадей водосбора 100, 1000 и 10 000 га, соответственно 0,98, 0,81 и 0,49.

Канал устраивают взамен водослива на небольших прудах при сбросе небольших расходов воды. Канал прокладывают в коренном берегу балки обычно без укрепления дна и откосов. Иногда для обеспечения устойчивости в нижней части канала делают простейшие быстротоки или ступенчатые перепады. В начале канала устраивают льдозадерживающие сооружения. Ширину по дну земляного водосбросного канала рассчитывают, как и ширину по дну проводящих каналов осушительной сети (см. гл. 6). Расход Q определяют по формуле:

$$Q = q_{max} F, \qquad (117)$$

где q_{max} – максимальный модуль стока, м^3/с с 1 га; F – площадь водосбора пруда, га.

В о д о с п у с к в отличие от водослива и канала устраивают в теле плотины. Он представляет собой камеру с отвесными стенками, закрываемую щитовой задвижкой, или шандорой (рис.66). Наиболее важной частью водоспуска является флютбет (нем. *Flutbett* от *Flut* – поток и *Bett* – постель). Флютбет – часть гидротехнического сооружения (водоспуска, водослива), поверх которого протекает водный поток. Он служит для пропуска воды из пруда через плотину (водоспуск) или в обход (водослив).

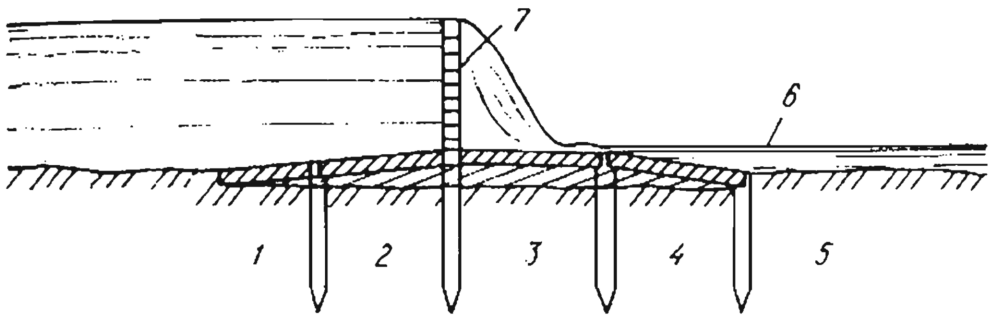


Рис. 66. Схема водоспуска в теле плотины:
1- предпонурное сооружение; *2*- понурная часть; *3*- водобойная часть; *4*- сливная часть; *5*- рисберма; *6*- нижний бьеф; *7*- дамба

Основные элементы флютбета изображены на рис. 66. П о н у р – водонепроницаемое покрытие дна в начальной части флютбета со стороны верхнего бьефа, уменьшающее возможности фильтрации воды под основание водосбросного сооружения. Перед понуром иногда укладывают слой мятой глины. В о д о б о й (водобойный пол) – часть флютбета, воспринимающая динамическое воздействие воды. Особенно сильно это воздействие при наличии затвора, подпирающего воду в верхнем бьефе. Водобойный пол постепенно переходит в сливной пол, который может устраиваться с некоторым уклоном. Р и с б е р м а - участок флютбета, предназначенный для гашения кинетической энергии потока и снижения скорости, приближая ее к скорости течения в нижнем бьефе (русле ниже водосбросного сооружения). Флютбет устраивают из различных материалов, лучше из железобетона, но возможно (в небольших прудах) и из дерева. Для уменьшения фильтрации воды и предотвращения размыва и разрушения под флютбетом устраивают одну или несколько подпорных стенок, или шпунтовых рядов. Первый ряд в начале понура, второй – под запорным щитом (затвором),

далее - в конце сливного пола. При устройстве водоспуска из древесины пол и стенки изготавливают двойными из шпунтовых досок, антисептируя их.

Нижнюю часть водоспуска (дно камеры) располагают на уровне дна пруда, поэтому через водоспуск при необходимости можно спустить всю воду пруда.

Ширину отверстия водоспуска определяют по видоизмененной формуле водослива с широким порогом:

$$b = \frac{Q}{m\,H\sqrt{H}}, \qquad (118)$$

где b - ширина отверстия, м; Q – максимальный расход воды, м^3/с; H - напор на пороге водоспуска, м; m - коэффициент, равный 1,42- 1,52.

Кроме водосбросных сооружений для подачи воды на орошение применяют т р у б ы и с и ф о н ы. Трубы для орошения укладывают при строительстве плотины на коренном берегу балки на отметке горизонта мертвого объема. Сифоны устраивают из стальных труб, укладываемых через плотину со стороны пруда к основанию сухого откоса. Трубы и сифоны с обеих сторон оборудуют задвижками, а концы и откосы в местах выхода оформляют прочной каменной кладкой. Для включения сифона полость его заполняют водой с верхней части через специальное отверстие на уровне гребня плотины, герметически закрываемое после заполнения сифона водой. После этого открывают задвижки.

Трубы и сифоны, используемые для подачи воды на орошение, нужно выводить со стороны сухого откоса к голове магистрального оросительного канала. В отдельных случаях трубы и сифоны можно использовать для сброса излишней воды из пруда. В местах выпуска воды устраивают водобойные колодцы.

При строительстве прудов в садово-парковом хозяйстве могут создаваться особые виды водосбросных сооружений. Примером разнообразия таких сооружений является г. Пушкин (Царское Село). Сброс воды в системе каскадных прудов Екатерининского парка часто производят через гребень плотин (рис. 67, 68). Вода через специальные отверстия поступает на ступеньки низового откоса плотины и далее в следующий пруд. Для украшения пейзажа на ступеньках плотины “Зеленого мо-

ста" (г. Пушкин) установлены крупные валуны, которые, разделяя поток, создают иллюзию движения воды между скалами (рис.67). На малых каскадах прудах канала вдоль парковой улицы над потоком сооружена арка из туфа (рис.68). Можно сооружать туннели, устраивая арочное покрытие над водосливами и водоспусками.

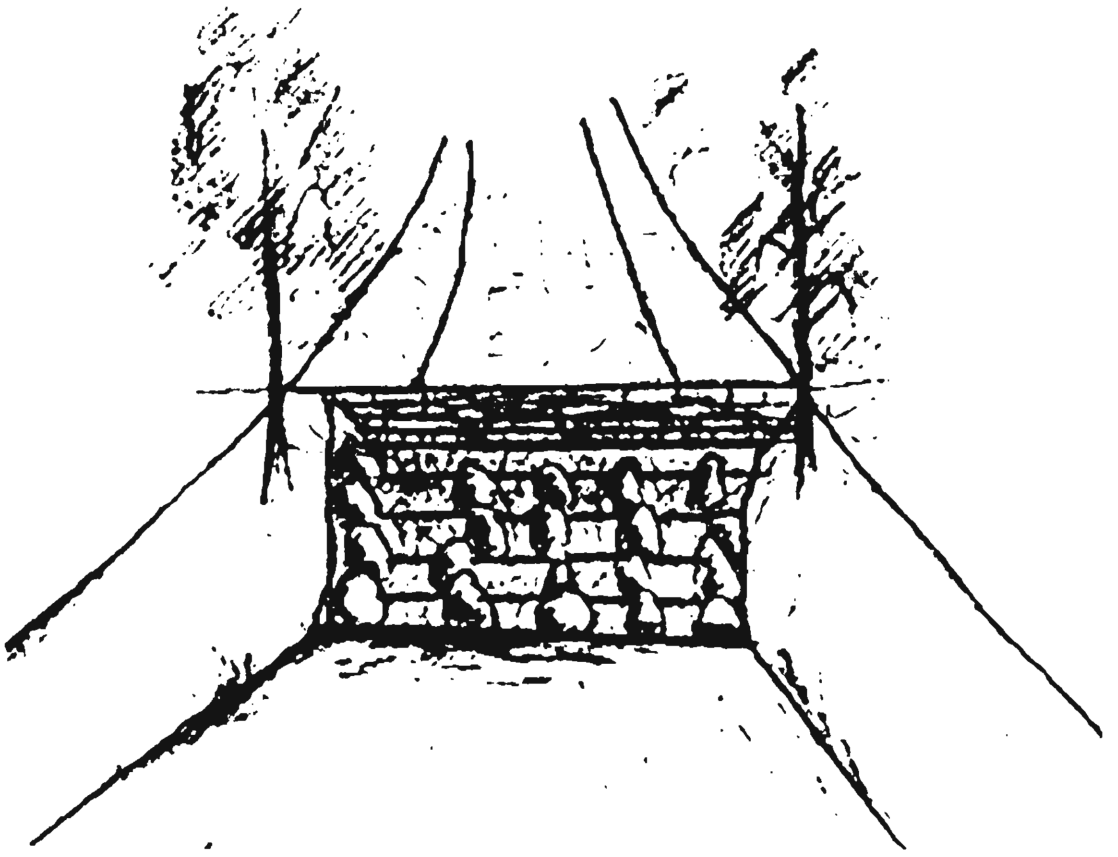


Рис. 67. Схема сброса воды через гребень плотины

Строительство плотинных прудов и их эксплуатация. Строительство начинают с разбивки на местности пикетами оси плотины, очертания основания и гребня с указанием местоположения замка. Одновременно размечают местоположение водосбросного сооружения. После разбивки плотины под ее основанием и по всей площади пруда вырубают древесную и кустарниковую растительность. На всей площади под основанием плотины на глубину 0,2-0,3 м снимают растительный грунт, удаляя его за пределы границ низового (сухого) откоса. Места будущих мелководий желательно углубить.

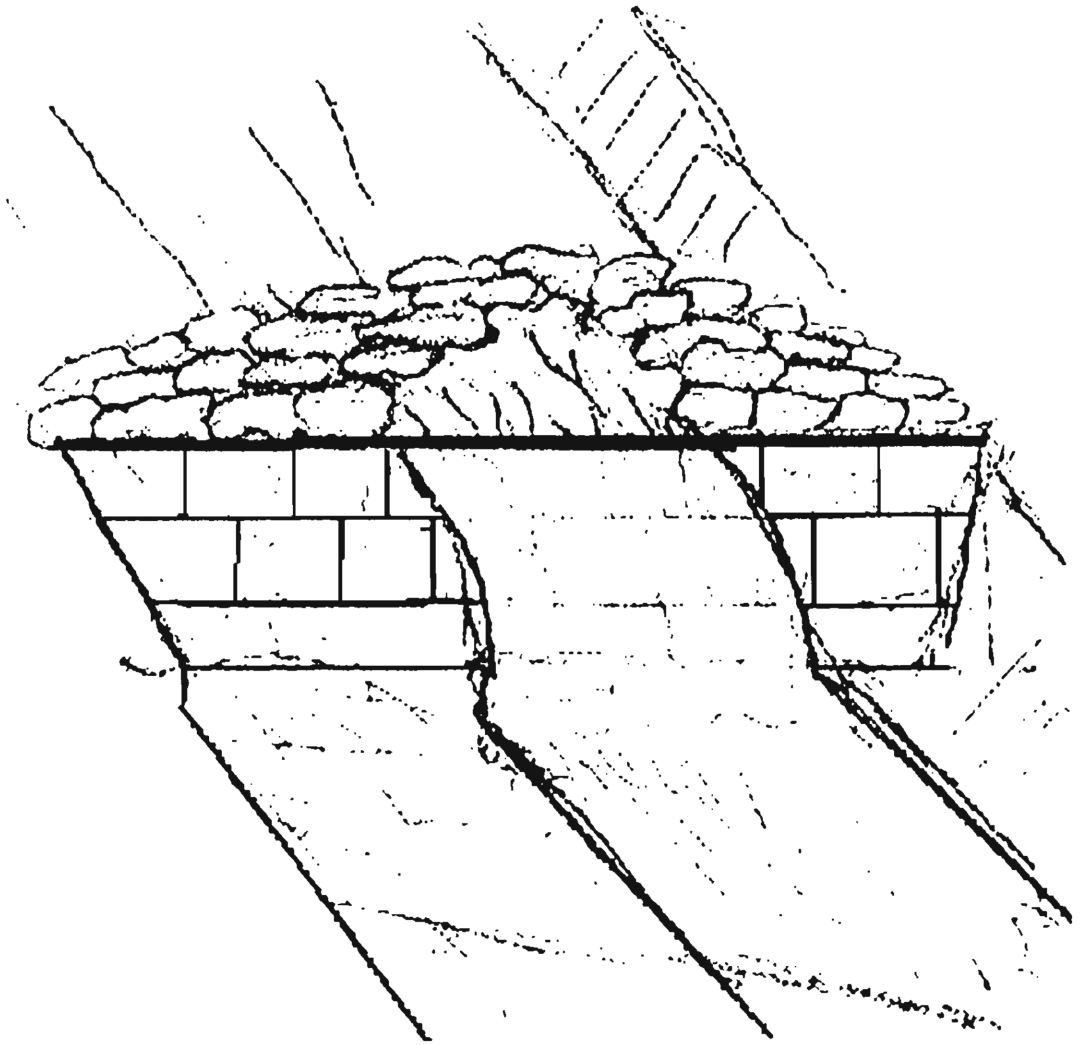


Рис. 68. Схема сброса воды через отверстия в верхней части плотины

Перед насыпкой плотины устраивают замок. Насыпку начинают с пониженных мест слоями толщиной 0,2-0,3 м, постоянно разравнивая и уплотняя грунт катками. Сухой грунт увлажняют. Оптимальная влажность супесчаного грунта - 9-14%, суглинистого – 12-20%, глинистого – 20-28%. Плотину насыпают на 10-15% выше проектной высоты с учетом осадки грунта. Ядро или экран устраивают одновременно с насыпкой плотины. Водоспуск строят до насыпки плотины, и через него при необходимости сбрасывают поступающую в балку воду.

Сопряжения насыпи плотины с берегами балки производятся короткими уступами по наклонным плоскостям. Вертикальные уступы способствуют образованию трещин.

Объем насыпи плотины определяют по отдельным отрезкам. По оси плотины через 10-20 м разбивают пикеты, вычисляют площадь поперечного сечения плотины на каждом пикете.

Объем насыпи между пикетами V вычисляют по формуле:

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} l, \qquad (119)$$

где F_1 и F_2 - площади поперечных сечений плотины на пикетах, м^2; l – расстояние между пикетами, м.

Зная коэффициент откоса, площадь поперечного сечения на пикете можно вычислить по формуле:

$$F = 0{,}5\, h\, (m_1 + m_2) + b\, h, \qquad (120)$$

где m_1 и m_2 - коэффициенты откосов (мокрого и сухого); b – ширина гребня плотины; h – высота плотины.

Суммируя объемы по отрезкам между пикетами, получим объем всей плотины.

Эксплуатация прудов и плотины включает мероприятия по надзору и уходу за плотинами и водосбросными сооружениями, их ремонт и работу по благоустройству территорий пруда.

Основные виды повреждений: перелив воды через гребень плотины; образование трещин в теле плотины; фильтрация воды через плотину; разрушение плотины волнобоем; повреждение водосбросных сооружений.

Перелив воды через гребень наблюдается при очень больших паводках или вследствие неподготовленности водосбросных сооружений к пропуску паводка. Для предотвращения перелива воды водосбросные сооружения необходимо весной перед половодьем очистить от снега, льда, мусора. При больших паводках, когда водосбросные сооружения не успевают сбросить воду, для устранения перелива воды необходимо устроить временный водосбросный канал с отводом воды в балку ниже плотины.

Трещины часто образуются на новых плотинах до полной усадки грунта вследствие его замерзания в верхних слоях и продолжающейся осадки нижних слоев, что ведет к возникновению пустот. При образовании в плотине поперечной трещины ее заделывают частями. Вначале выкапывают траншею поперек трещины

(вдоль плотины) шириной 0,75 м, длиной 1,5- 2,0 м и глубиной на 0,5 м ниже трещины, затем заделывают следующую часть трещины. При продольной трещине траншею выкапывают вдоль нее на всю длину. Трещину заполняют тем же грунтом, из которого устроена плотина, слоями 15-20 см с тщательной трамбовкой.

Фильтрация воды через плотину может наблюдаться при нарушении правил проектирования или строительства. Для устранения фильтрации необходимо увеличить основание плотины за счет ее уширения со стороны сухого откоса или устроить дренаж. Если фильтрующаяся через дренажное устройство вода чистая, то это указывает на хорошие состояние плотины, мутная вода говорит об опасности ее разрушения.

Разрушение плотины волнобоем устраняют креплением мокрого откоса каменной отмосткой, бетонными плитами или наброской камней по квадратам, созданным из кольев (черенков) ивы.

Водосбросные сооружения следует постоянно очищать от мусора, а весной - от снега и льда. Наиболее частым видом повреждения водосбросных сооружений является образование провалов вдоль их стенок вследствие фильтрации воды. Все провалы за стенками водопропускных сооружений следует своевременно заполнять грунтом, из которого создана плотина, с тщательной трамбовкой.

Во избежание размыва плотин необходимо во время половодья или паводка организовать наблюдение и сосредоточить нужные материалы и механизмы.

В систему эксплутационных мероприятий входит благоустройство территории вокруг пруда: восстановление нарушенного дернового покрытия, создание древесно-кустарниковых насаждений (ассортимент пород подбирают в зависимости от почвенно-климатических условий).

На берегах водохранилища по урезу воды, особенно в местах разрушения берега волнобоем, целесообразна посадка кустарниковых ив. При использовании пруда для тушения пожаров строят подъездные пути и мосты в местах забора воды. Целесообразно также разведение в прудах ценных пород рыб (карп, линь, лещ). Для этого на 1 га зеркала пруда выпускают 400-500 мальков (сеголеток).

Периодически необходимо проводить очистку пруда от травянистой водной растительности. Небольшие пруды очищают вруч-

ную, для очистки больших прудов используют специальные косилки и земснаряды. Через 20-30 лет, освободив пруд от воды полностью, очищают его от растительности, мусора и ила. Воду отводят через водоспуски или откачивают насосами.

13.2. Копаные пруды

При отсутствии возможностей строительства плотинных прудов устраивают копаные пруды. Их можно делать, полностью выкапывая (в выемке), или, при наличии небольших балок или тальвегов, сочетая выемку с небольшой плотиной.

Копаные пруды устраивают в водонепроницаемых грунтах в нижних частях склонов, при возможности - в понижениях (впадинах). Место для прудов выбирают, обследуя территорию, как и для плотинных прудов, грунт исследуют до глубины 5-6 м.

Дно пруда должно располагаться на водоупоре. Копаные пруды питаются в основном весенними талыми водам. Поэтому определяя объем пруда, необходимо знать площадь водосбора, с которой будет поступать вода в копаный пруд. Объем весеннего стока вычисляют по формуле (113): $W_{в.с.} = F\,h\,\delta\,\sigma$.

Для устойчивого питания прудов необходимо иметь достаточную водосборную площадь. Рассчитывать накопления пруда следует на сток талых вод 80-90%-ной обеспеченности.

Копаные пруды могут подпитываться и грунтовыми водами, в этом случае они обеспечиваются водой более надежно. В определенных условиях возможна подпитка копаных прудов из ручьев. Небольшие пруды в садах и парках могут заполняться водопроводной или дождевой водой. Во избежание подтопления окружающих земель уровень воды в прудах должен быть ниже поверхности земли не менее 0,5 м.

Устройство копаных прудов. Необходимый объем пруда достигается выемкой грунта на глубину 2-4 м (рис.69). Откосы стенок пруда устраивают пологими в зависимости от грунта (двойными, тройными и более - до 5:1). Перед устройством выемки снимается верхний слой на глубину 20-30 см. Торфяной горизонт удаляют полностью. Вынутый минеральный грунт укладывается вокруг пруда в виде дамбы.

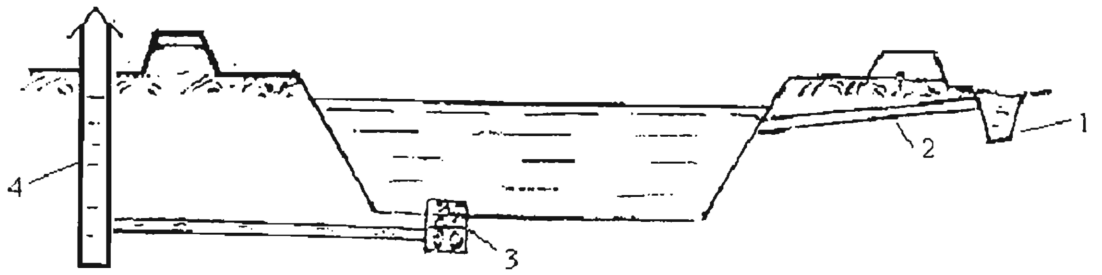


Рис. 69. Копаный пруд без плотины:
1- канавка для осветления воды; *2*- сливная труба; *3*- колодец с фильтром; *4*- колодец для забора воды

При необходимости вынутую землю можно использовать для устройства плотины в нижний части пруда (рис. 70). С помощью плотины можно увеличить объем пруда. Плотина располагается на удалении 10-20 м от котлована. При строительстве прудов в парках и садах дамб не делают, а вынутую землю равномерно разбрасывают, выравнивая микропонижения.

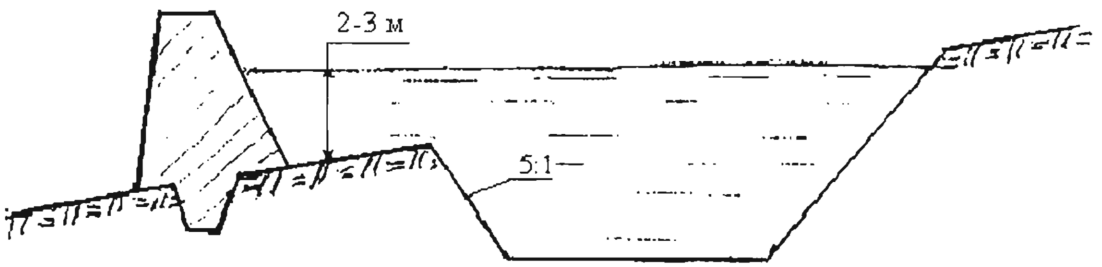


Рис. 70. Копаный пруд с плотиной

Для отвода из пруда излишней воды устраивают водосбросные сооружения в виде канала с простейшим креплением откосов, а при необходимости - и дна (хворостяной выстилкой, наброской щебня, дерном и пр.). Слой сбрасываемой воды принимается не более 0,2-0,3 м.

Для очистки воды перед входными отверстиями создают загущенные посадки кустарников (обычно ив). В целях уменьшения твердого стока и заиления прудов необходимо со стороны склона, откуда поступает вода, устраивать вдоль направления горизонталей канавки глубиной 40-50 см для осветления воды. Отстоявшаяся вода отводится в пруд по специальным трубчатым водовыпускам или лоткам, уложенным на 20-30 см выше дна канавки.

Забор воды из копаных прудов рекомендуется производить с помощью специальных колодцев – фильтров. Колодец включает фильтр, устраиваемый на дне пруда, по типу, приведенному на рис. 74, и водоотводную трубу, подающую воду в колодец для забора воды. Фильтр круглого или прямоугольного сечения устраивается из чередующихся 20-30-сантиметровых слоев мелкозернистого и крупнозернистого песка, гравия и крупного гравия и камней. Из слоя камней отводится вода в колодец.

На территории вокруг копаных прудов следует создать лесную полосу шириной не менее 10-20 м, что снизит интенсивность заиления пруда. Лесную полосу не рекомендуется использовать для отдыха и посещения людей и животных, это уменьшит интенсивность эфтрофикации пруда.

Копаные пруды, как и плотинные, требуют периодической очистки. При небольшой глубине пруда в зимний период очистку можно проводить путем вымораживания воды и периодического удаления льда вместе с илом.

При устройстве прудов на водопроницаемых грунтах во время очистки целесообразно оставлять небольшой слой ила (5-10 см). Это уменьшит фильтрацию воды через дно пруда после его очистки.

13.3. Грунтовые воды

Грунтовыми называются воды, залегающие в первом от поверхности водоносном горизонте, подстилаемом водоупорным горизонтом. При наличии уклона водоупорного горизонта образуются потоки грунтовых вод. Если водоносный горизонт перерезается обрывисто, например рекой, ручьем, озером, оврагом, то грунтовые воды могут выходить на поверхность. В местах обрывов происходит сосредоточенный выход грунтовых вод, образуя на склонах нисходящие родники. В условиях прогиба пластов земной коры образуются напорные грунтовые воды. Они по трещинам или в местах размыва верхних слоев земной коры могут выходить на поверхность в виде восходящих родников. Если водоносный горизонт находиться между двумя наклонно расположенными водоупорными горизонтами, то в не имеющих свободного выхода на поверхность горизонтах возникает гидростатический

напор. При выходе напорного горизонта на поверхность в местах прогиба или при бурении скважин вода может изливаться фонтаном. Такой горизонт межпластовых напорных вод называется а р т е з и а н с к и м .

Грунтовые подземные воды являются важным источником воды для орошения, особенно в засушливых областях, где нет источников поверхностных вод. Оросительная вода подземных источников по химическому составу должна быть физиологически пригодной для растений, не вызывать засоления почвы. А.Н. Костяков отмечал, что для орошения наиболее пригодна вода с массовой концентрацией сухого остатка менее 1,0-1,5 г/л.

При орошении грунтовыми водами устраивают колодцы или каптажные сооружения. По технике исполнения колодцы подразделяются на шахтные и буровые (трубчатые).

Ш а х т н ы е колодцы (рис. 71) устраивают при заборе воды с глубины не более 10-20, реже 30 м. Шахтный колодец состоит из трех частей: оголовка, шахты, или ствола, и водоприемника. Основной частью колодца является шахта, которая может иметь

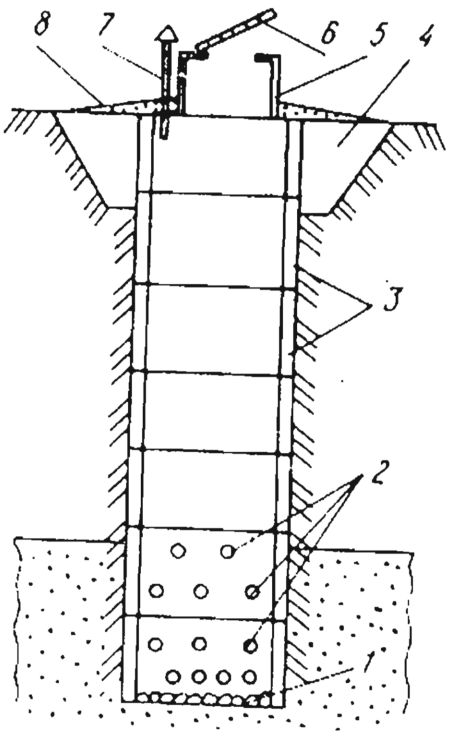


Рис. 71. Шахтный колодец:

1 - слой гравия и гальки; *2* - водоприемные отверстия; *3* - железобетонные кольца; *4* - глиняный замок; *5* - оголовок; *6* - крышка; *7* - вентиляционная труба; *8* - каменная отмостка

квадратное сечение размером примерно 1,5х1,5 (2,0х2,0) м или круглое диаметром 0,9-1,2 м. Стенки шахты крепят деревянным срубом или железобетонными кольцами толщиной 8 см. При устройстве неглубоких (до 10 м) колодцев в легких грунтах шахту строят ручным способом. В этом случае на выбранном месте выравнивают площадку и на ней устанавливают железобетонное кольцо. Внутри кольца и под его стенками вынимают грунт. Кольцо под действием собственной тяжести опускается. После погружения кольца на него устанавливают новое, и так постепенно колодец погружается на необходимую глубину.

Глубокие колодцы (до 30-40 м) с диаметром шахты до 1300 мм устраивают специальными копателями КШК-30А и КШС-40.

Водоприемную часть колодца заглубляют в водоносный слой. По степени заглубления колодцев в водоносный слой они подразделяются на совершенные (полные) и несовершенные (неполные). Совершенным является колодец, прорезающий весь водоносный слой до водоупора. Если колодец прорезает только верхнюю часть водоносного горизонта, его называют несовершенным. В стенках водоприемной части колодца делают отверстия для поступления воды. Для защиты от заполнения грунтом из водоносного горизонта дно колодца засыпают крупнозернистым песком, а сверху - гравием и мелким камнем слоем 0,3-0,4 м. Иногда на дно колодца укладывают сборную железобетонную решетку. Для защиты от проникновения в колодец поверхностных вод вокруг верхней части шахты прокладывают траншеи глубиной 1,5 и шириной 1 м, заполняя их грунтом из хорошо утрамбованной жирной глины. Верхнюю часть шахты закрывают оголовком, выступающим над поверхностью земли, и крышкой. Поверхность грунта вокруг колодца покрывают бетоном или асфальтом с уклоном 0,1 в сторону от колодца, обеспечивающим отток воды от его оголовка.

Один колодец рассчитан на обеспечение водой не более 100-150 чел. при доставке воды от колодца не далее 100 м.

Трубчатые колодцы (рис.72) устраивают, как правило, при заборе воды с глубины 50-100 м и более. Такие колодцы состоят из трех основных частей: эксплуатационной скважины диаметром 100-250 мм, водоприемной части и устья с оголовком. Колодцы располагают за пределами территорий, затопляемых половодьями. Бурение неглубоких (до 8-10 м) скважин диаметром до 100 мм производят

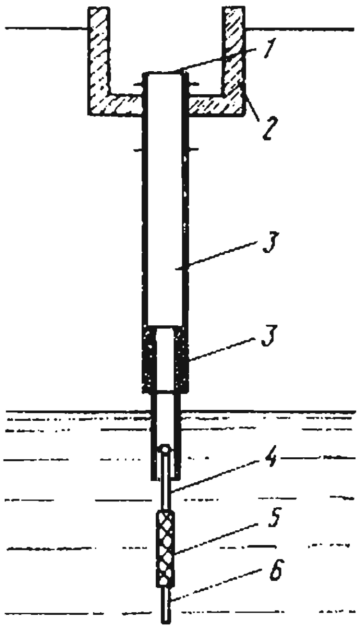


Рис. 72. Трубчатый колодец:
1 - шахта и обсадная труба; *2* - устье; *3* - эксплуатационная скважина; *4* - надфильтровая труба; *5* - фильтр; *6* - отстойник

без применения буровых вышек. Для бурения глубоких скважин применяют самоходные буровые установки УРБ-3АМ, УРБ-2А и БА-15В (последняя наиболее совершенна). Ствол скважины закрепляют стальными обсадными трубами (при глубине скважин до 10-15 м можно использовать асбоцементные трубы). При неглубоком залегании водоносного слоя используют обсадную трубу одного диаметра на всю глубину. При глубоком залегании водоносного горизонта при бурении до глубины 10-15 м опускают обсадную трубу большего диаметра. Далее опускают вторую трубу меньшего диаметра, при необходимости третью трубу и т.д. до заглубления нижней трубы в водоносный горизонт. Затем поднимают нижнюю трубу и на ее место опускают фильтр с надфильтровой трубой и отстойником, образующими водоприемную часть колодца. Все соединения в трубах уплотняют сальниками. Вода в трубчатый колодец поступает через сетчатый фильтр, представляющий собой спирально намотанную на стержневой или трубчатый каркас проволоку с шагом намотки 5-10 мм. Проволока покрыта латунной сеткой или сеткой из нержавеющей стали. Для сопряжения фильтра с обсадной трубой служит надфильтровая труба. Ниже рабочих частей фильтра располагают отстойник, выполненный в виде отрезка трубы длиной 1-10 м и предназначенный для осаждения песка

и ила. Фильтр и отстойник по мере необходимости извлекают из колодца для очистки и ремонта. В верхней части колодца возводят шахту круглого или квадратного сечения с оголовком. Стенки и дно шахты бетонируют, предохраняя колодец от притока верховодки. В шахте монтируют водоподъемное оборудование. Шахту утепляют, предохраняя воду при ее подъеме от замерзания.

Разновидностью трубчатого колодца являются забивные, или абиссинские, колодцы. Диаметр такого колодца 25-100 мм (чаще 30 мм). Колодец устраивают путем забивки не менее чем на глубину 3 м заостренной трубы. Максимальная глубина забивки - 10-15 м. Конец трубы оборудуют фильтром. Насос монтируют в верхней части трубы. Для обеспечения усадьбы лесхоза или лесничества водой достаточно одного колодца.

Приток воды к колодцам. При отборе воды из колодцев уровень грунтовых вод вокруг него понижается и образуется депрессионная воронка. Чем больше разность между зеркалом грунтовых вод (статический уровень) и уровнем воды в колодце (динамический уровень), тем больше приток воды в него. В совершенном колодце при безнапорном водоносном горизонте приток воды (дебит колодца) определяют по формуле:

$$Q = 1{,}36\,K\frac{H^2 - h^2}{\lg R/r}, \qquad (121)$$

где Q - приток воды в колодец, м^3/с; K- коэффициент фильтрации водоносного слоя, м/с; H - мощность водоносного слоя, м; h – глубина пониженного уровня воды у стенок колодца, приближенно равна глубине воды в колодце; R – радиус воронки понижения от центра колодца, м; r – радиус внешней окружности трубы колодца, м.

Радиус воронки понижения, или радиус действия (рис. 73), можно определить по эмпирической формуле:

$$R = 300(H - h)\sqrt{K}. \qquad (122)$$

Для приближенных расчетов величину радиуса действия на 1 м понижения (откачки) воды в колодце можно изменять: для мелкозернистых песков в пределах 50-100 м, среднезернистых - 100-300 м, крупнозернистых - 300-400 м, гравелистых - 400-600 м.

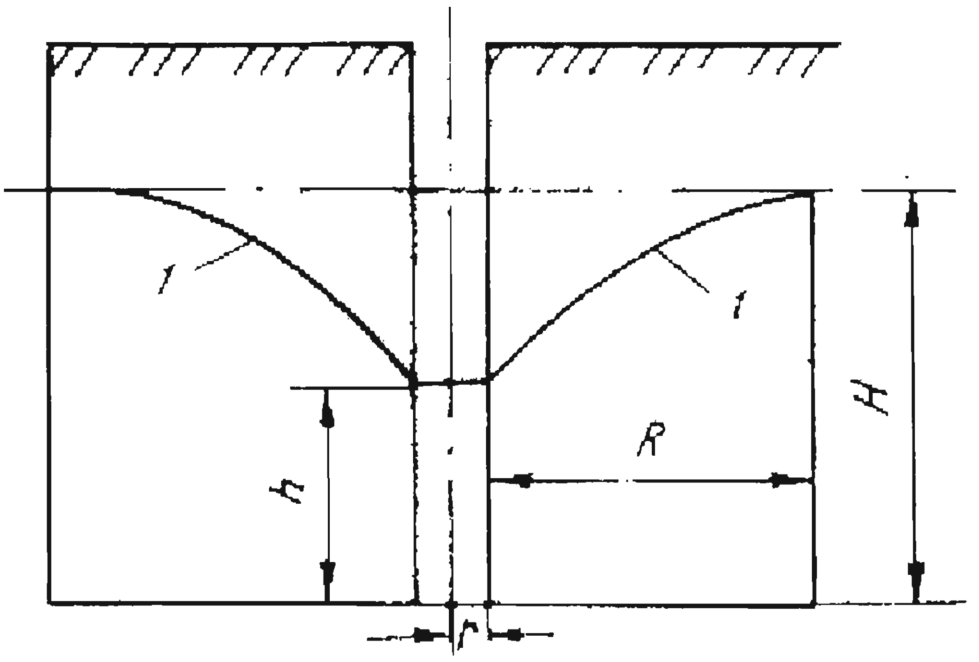


Рис. 73. Схема притока воды к колодцу:
1 - кривые депрессии, характеризующие депрессионные воронки; *H* - мощность водоносного пласта; *h* - глубина пониженного уровня воды; *R* - радиус депрессионной воронки; *r* - радиус внешней окружности колодца

Приток воды к несовершенным колодцам определяют по формуле:

$$Q = 1{,}36 \frac{K\,(H^2 - T^2)}{\lg R/r} \sqrt{\frac{h + 0{,}5r}{T}} \sqrt{\frac{2T - h}{T}}, \qquad (123)$$

где T – расстояние от уровня воды в колодце до подстилающего водоупорного слоя, м; остальные обозначения те же, что в формуле (121).

При большой мощности водоносного слоя поступление воды ограничено верхней (активной) зоной, равной приближенно (по Паркеру) 4/3 глубины воды в неполном колодце до откачки воды. В этом случае H и T следует определять от нижней границы активной зоны.

Дебит колодца можно увеличить созданием вакуума внутри него. Для этого колодец герметически перекрывают и через перекрытие пропускают трубу насоса. При откачке в колодце возникает вакуум и приток воды к колодцу увеличивается в 2-3 раза.

При водоснабжении небольших населенных пунктов, усадеб, лесхозов и лесничеств забор воды из открытых источников можно проводить с помощью колодцев-фильтров (рис. 74).

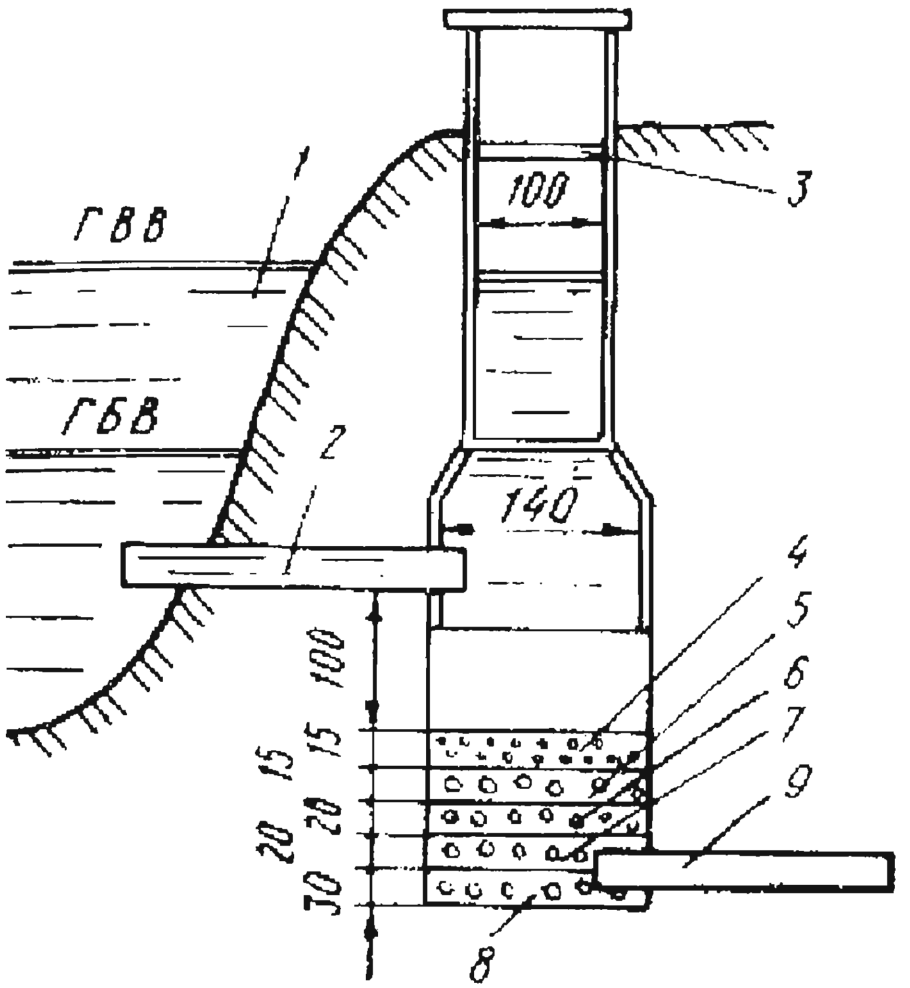


Рис. 74. Колодец-фильтр:
1- источник водоснабжения; самотечная труба; *2* - водоподводящая труба; *3* - настил из досок; *4* - мелкий песок; *5* - крупный песок; *6* - мелкий гравий; *7* - крупный гравий; *8* - крупная галька; *9* - труба к водозаборному сооружению или водопроводу

Колодец-фильтр устраивают в виде шахты в коренном берегу на удалении от уреза воды за пределами затопления водами половодий и паводков. Колодец-фильтр состоит из ствола (верхняя часть) и водоприемной камеры с фильтром. Стенки колодца крепят железобетонными кольцами толщиной 8-10 см, диаметром 100 см в стволовой и 130-140 см в водоприемной части. Глубина водоприемной части 2,0-2,5 м. В нижней части водоприемника ставят фильтр, состоящий внизу из слоев гальки и крупного гравия мощностью по 20 см, выше располагают слои мелкого гравия и крупного песка

толщиной по 15 см, а сверху - слой мелкого песка мощностью до 100 см. Вода в колодец поступает из открытого водного источника по трубе. Оголовок трубы, подводящей воду из водного источника, располагают на 1,0-1,5 м ниже горизонта бытовых вод. Труба выходит в колодец-фильтр на 0,5-0,7 м выше фильтрующей засыпки (фильтра). Труба, отводящая воду к водозаборному сооружению или водопроводу, отходит от нижней части фильтра, начинаясь в слое гальки. Шахтную часть глубиной 1,5-2 м приподнимают над уровнем земли на 0,7-1,0 м, ставят настил из досок внутри колодца на уровне земли и закрывают крышкой. Можно установить вентиляционную трубу (см. рис. 71).

Водоподъемники. Для подъема воды используют насосы (поршневые и центробежные), эрлифты, гидравлический таран.

Поршеневые насосы получили широкое распространение при заборе воды из шахтных и трубчатых колодцев. Для водоснабжения усадеб лесхозов, лесничеств и индивидуальных хозяйств можно использовать вертикальные поршневые штанговые насосы (рис.75). Поршневой насос состоит из цилиндра с поршнем, выполняющих роль рабочей камеры. К цилиндру подводят всасывающую трубу с клапаном и трубу с нагнетательным клапаном. Подъем воды насосом осуществляется за счет возвратно-поступательного движения поршня в вертикальном цилиндре. При ходе поршня вверх вода в цилиндре поднимается и через напорный клапан вытесняется в напорную трубу, а из всасывающей трубы через всасывающей клапан поднимается очередная порция воды. При движении поршня вниз всасывающий и напорный клапаны закрыты, вода в цилиндре, продавливаясь через клапаны поршня, оказывается выше него. При движении поршня вверх процесс повторяется. Высота всасывания теоретически может составлять 10,3 м (гл. 2), фактически она несколько меньше (обычно 6-7 м). Высота нагнетания в зависимости от конструкции насоса и мощности двигателя колеблется от 8 до 75 м. Расход поршневого насоса определяют по формуле:

$$Q = \pi \alpha R^2 n h, \qquad (124)$$

где Q – расход л/мин; α - коэффициент наполнения насоса водой, равный 0,9-0,95; R – радиус поршня, дм; n – число полных качаний поршня в минуту (вперёд и назад); h – ход поршня, дм.

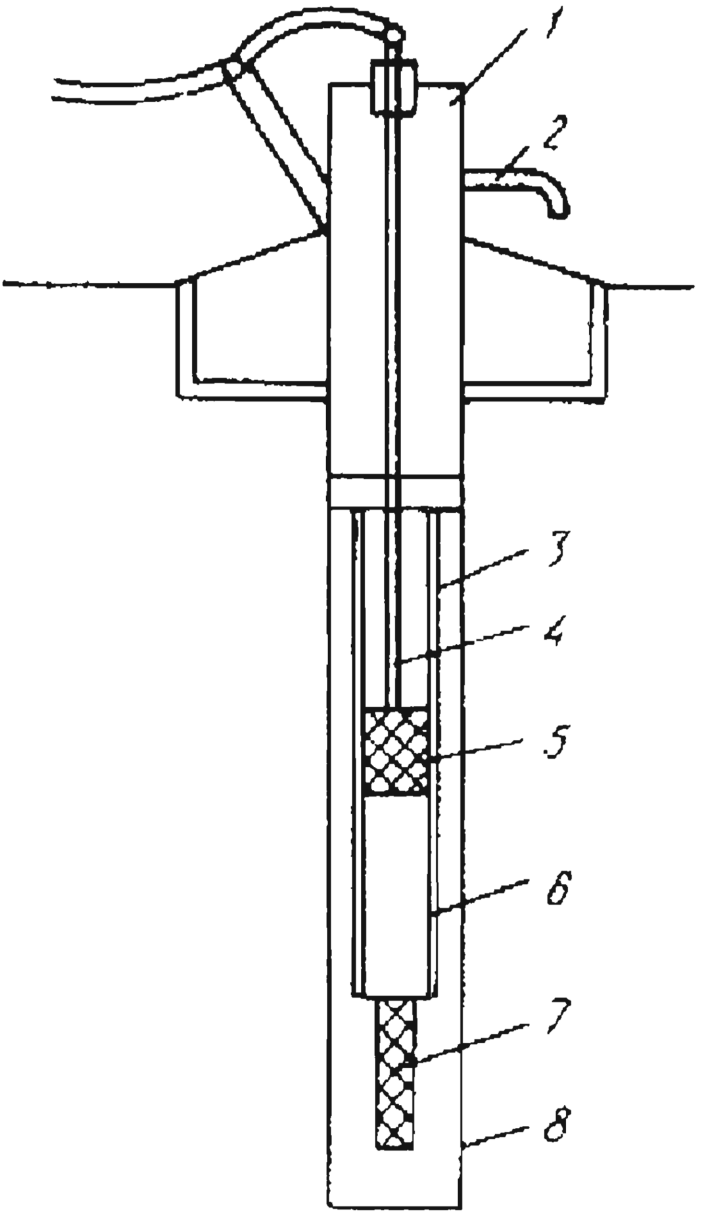


Рис. 75. Ручной штанговый насос:
1- колонка; *2* - сливной патрубок; *3* - водоподъемная труба; *4* - шток; *5* - поршень с клапаном; *6* - цилиндр; *7* - фильтр; *8* - обсадная труба

Центробежные насосы работают по принципу центрифуги: вода поступает в центр рабочего колеса и выходит на его периферию. В центробежных насосах турбинного типа вода поступает по направлению оси от насоса через ряд ступенек (лопаток).

В центробежном насосе разряжение создается за счет вращения лопастного колеса. Вода в корпус поступает по всасывающей трубе. Высота всасывания указывается в паспорте. При быстром вращательном движении лопастей под действием центробежных сил

вода от центра насоса устремляется к внешней части корпуса и поступает в напорную трубу. Кинетическая энергия превращается в гидравлический напор, зависящий от частоты вращения и диаметра трубы. По величине создаваемого напора насосы делятся на низконапорные, создающие напор до 30 м, средненапорные – от 30 до 50 м и высоконапорные – 60 м. Расход воды у центробежных насосов, выпускаемых отечественной промышленностью, колеблется от 1 л/с до 1,5 тыс.л/с.

Для подъема воды из трубчатых буровых колодцев применяют скважинные центробежные насосы, полупогруженного или погруженного типов, выпускаемые в виде агрегатов в комплекте с электродвигателем. Промышленность выпускает полупогруженные насосные агрегаты АТН-8, АТН-10 и АТН-14 для скважины с трубами диаметром 200, 250 и 350 мм и с напорным трубопроводом до 100 м. Их желательно применять для скважин глубиной 60-80 м. Для подъема воды из высокодебитских скважин диаметром 500-600 мм используют насосы типа А.

Погружные насосные агрегаты включают в себя погружной насос, погружной электродвигатель, водоподъемные (всасывающие и напорные) трубы. Выпускается несколько типов таких агрегатов серии АВП, ЭЦВ, ЭПЛ, ЭПНЛ с подачей воды от 3 до 470 м/ч для скважин диаметром до 400 мл. Эти агрегаты относятся к наиболее совершенным водоподъемным установкам.

Э р л и ф т ы (рис. 76) поднимают воду из колодца путем смешивания ее с воздухом, подаваемым в воду колодца. Получается смесь с меньшей, чем вода, удельной массой. Эрлифт представляет собой водоподъемную трубу, опущенную в буровую скважину и погруженную в воду колодца на 50-70% высоты подъема воды. В воду, заполняющую трубу, с нижней части по трубе от компрессора подается сжатый воздух. Получаемая смесь с удельной массой меньше 1 по водоподъемной трубе поднимается вверх. На каждый кубометр поднимаемой воды подается от 2 до 11 $м^3$ воздуха. Эрлифт подает от 2 до 75 л/сек воды в зависимости от диаметра водоподъемной трубы и количества подаваемого воздуха. КПД эрлифта - 20-50%. В районах с большими колебаниями уровней грунтовых вод в колодце эрлифты применять нельзя.

Г и д р а в л и ч е с к и й т а р а н - автоматически действующий за счет силы текущей воды водоподъемник (рис.77). Таран состоит

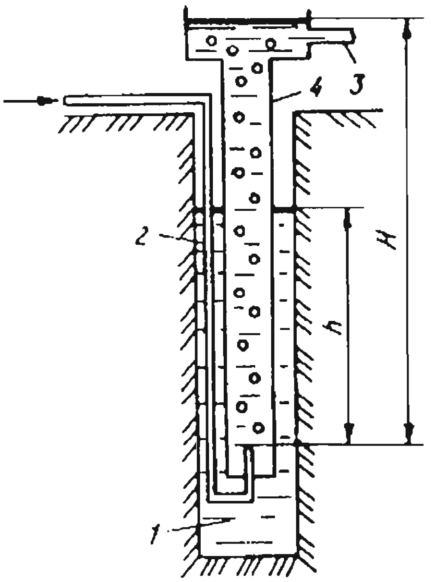


Рис. 76. Схема эрлифта:
1- скважина; *2* - труба для подачи сжатого воздуха; *3*- труба для отвода воды; *4*- подъемная труба; *h*- глубина погружения трубы эрлифта; *H*- высота подъема воды

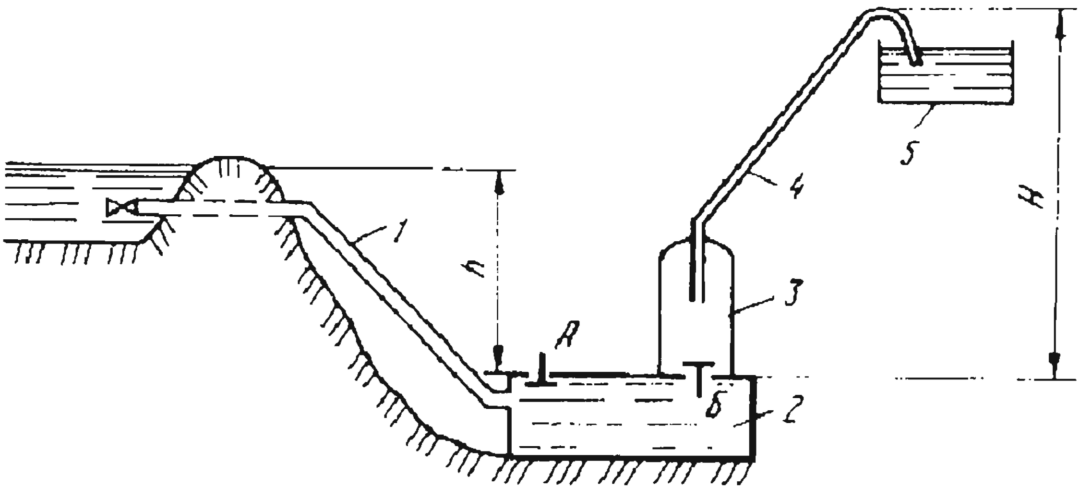


Рис. 77. Схема гидравлического тарана:
1- водоподводящий трубопровод; *2*- рабочая камера; *3*- воздушный колпак; *4*- нагнетательный трубопровод; *5*- емкость для воды; *h*- напор воды; *H*- высота подъема воды тараном; *А*- ударный клапан; *Б*- нагнетательный клапан

из водоподводящего напорного трубопровода, рабочей камеры с воздушным колпаком и отходящего от него нагнетательного трубопровода. В верхней части корпуса рабочей камеры имеются два клапана – ударный (отбойный), находящийся со стороны водоподводящего трубопровода, и нагнетательный (воздушный), открывающий доступ под воздушный колпак. Гидравлический таран для работы

должен располагаться вблизи источника (пруда, родника, реки) ниже его не менее чем на 1,5-2 м. Водоподводящий трубопровод подает воду к рабочей камере гидравлического тарана.

Пока рабочая камера не заполнена водой, ударный клапан находится под действием собственной тяжести в опущенном положении, открывая отверстие вокруг щитка клапана и увеличивая скорость. Достигнув наибольшей скорости, вода давит на тарелку ударного клапана, приподнимает её, и она мгновенно закрывает отверстие. Происходит гидравлический удар. В рабочей камере возникает высокое давление, нагнетательный клапан открывается. Часть воды выталкивается в воздушный колпак, сжимая в нём воздух. После вытекания воды через нагнетательный клапан давление в рабочей камере падает. Нагнетательный клапан закрывается, ударный открывается, и вода вновь начинает вытекать через него, чтобы при определённой скорости и давлении закрыть его и вызвать гидравлический удар. Воздушный колпак постепенно заполняется водой, сжимающей воздух, и гидравлический удар постепенно выталкивает воду из воздушного колпака по нагнетательному трубопроводу в резервуар, расположенный выше источника воды, питающего гидравлический таран. Из резервуара вода может использоваться на потребление. Процесс поступления воды в резервуар будет продолжаться до тех пор, пока не прекратится ее поступление из водного источника в рабочую камеру тарана.

Гидравлический таран является самым удобным для снабжения водой объектов с небольшим водопотреблением, почти не требует ухода и эксплуатационных расходов. Для непрерывной работы необходимо достаточное количество воздуха в колпаке и исправное состояние отбойного и нагнетательного клапанов. Недостатком его являются необходимость подходящих топографических условий (наличие источника воды выше месторасположения тарана) и потеря большого количества воды, вытекающей из отверстия ударного клапана.

К а п т а ж г р у н т о в ы х в о д (фр. captage от лат. capto – ловлю) можно использовать для орошения или водоснабжения при небольших расходах воды. Каптажные сооружения устраивают в местах выхода родников для сбора родниковой воды. Каптаж нисходящего родника устраивают в виде водосборной камеры, ограждённой гравийным фильтром в месте выхода родника (рис. 78). Если нисходящий родник имеет рассредоточенный выход, то грунтовая вода перехватывается дренами и отводится в водосборную камеру.

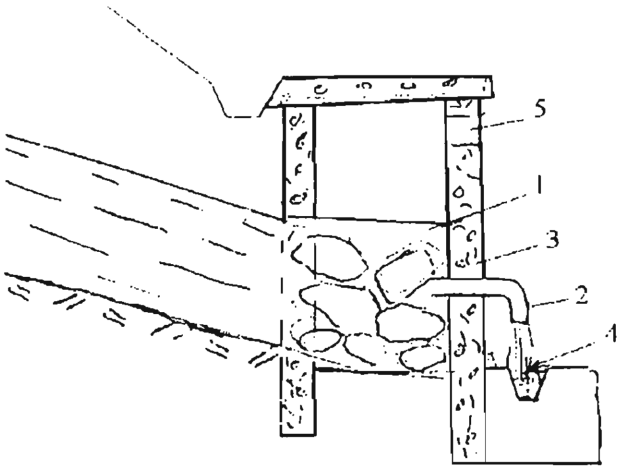


Рис. 78. Каптаж нисходящего родника:
1 - водосборная камера; *2* - кран для воды; *3* - подпорная стенка; *4* - водосбросная канавка (лоток); *5* - вентиляционное отверстие

При каптаже водосходящих родников (рис. 79) устраивают камеры в виде шпунтовых стенок. Полученную емкость очищают от наносов и заполняют камнем. В одной из стенок устраивают выход для воды. Если родник выходит из песчаных грунтов, целесообразно перед каменной наброской устроить гравийный фильтр, над каптажными сооружениями - бетонное перекрытие.

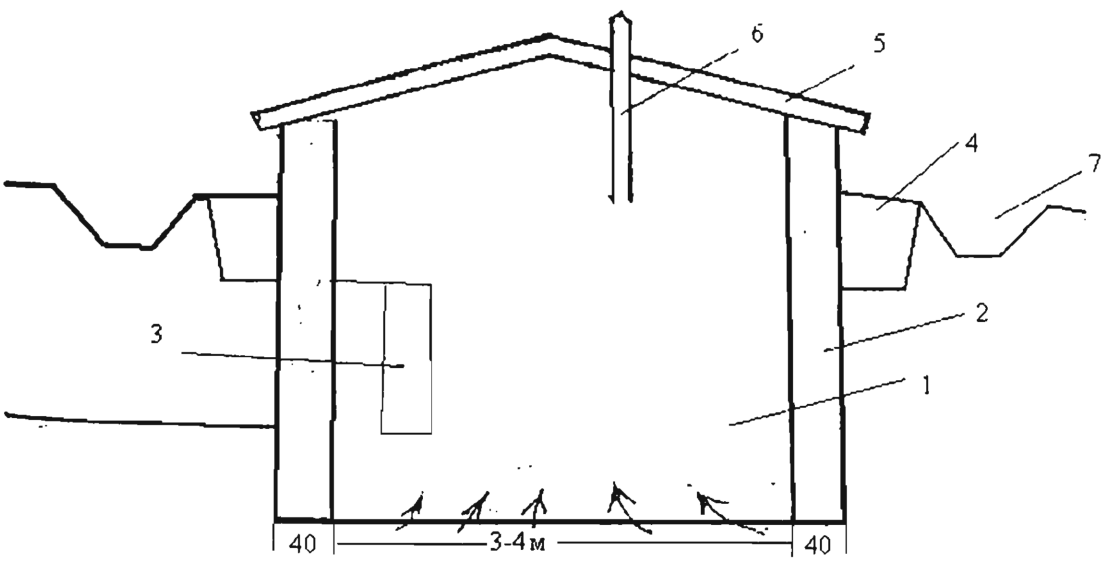


Рис. 79. Каптаж восходящего потока:
1 - каптажная камера с водой; *2* - стенки камеры; *3* - водосливное отверстие; *4* - глиняный замок; *5* - крыша; *6* - вентиляционная труба; *7* - дренажная канавка

При устройстве каптажных сооружений нельзя полностью перекрывать выход воды. При затруднении свободного истечения воды родник может найти другой выход.

Для водоснабжения можно использовать и открытые источники – реки, ручьи, водохранилища. Использование поверхностных источников часто оказывается предпочтительнее, поскольку в большинстве случаев это позволяет доставлять потребителям больше воды. Требования к качеству воды определяется стандартами (см. гл. 13).

При использовании для водоснабжения открытых источников необходимо заключение органов здравоохранения о пригодности воды для потребления. Внешне чистая вода не всегда пригодна для водоснабжения, особенно в качестве питьевой. Водозаборы необходимо располагать выше населённого пункта. В местах отбора воды выделяют санитарную зону и запрещают всякую хозяйственную деятельность. В прибрежной полосе проводят облесение. В реки, ручьи, водохранилища, используемые для водоснабжения, запрещается сброс сточных вод промышленных предприятий, жилых домов, животноводческих комплексов. Сброс неочищенных сточных вод в реки, ручьи, водохранилища запрещён вообще. В местах водозаборов глубина воды в водном источнике должна быть не менее 2,5 м. Берега в местах отбора воды должна быть устойчивыми, с удобными подъездами. Отбор воды целесообразно проводить с помощью металлических водозаборных труб. Трубу укладывают на 1,0-1,5 м ниже горизонта бытовых вод (гл. 3). Для задержания крупных предметов место расположения водозаборной трубы ограждают металлической решеткой. Для задержания мелких предметов и мусора на оголовок трубы устанавливают сетку. По трубе вода подается в помещение насосной станции.

Контрольные вопросы. 1. Плотины какого типа устраивают при строительстве плотинных прудов? 2. Что такое замок, требования к его устройству? 3. Какие вопросы решаются при водохозяйственном расчёте пруда? 4. С помощью каких сооружений можно регулировать уровень воды в пруде? 5. Как строится плотина? 6. Какие мероприятия проводятся в целях сохранения плотины и увеличения срока службы прудов? 7. Каковы источники воды для орошения? 8. Перечислите водосборные сооружения. 9. Что такое каптаж грунтовых вод? 10. Как и из каких источников производят отбор воды для водоснабжения населённых пунктов? 11. Колодцы каких типов используют для водоснабжения? 12. Какие факторы оказывают влияние на дебит колодца? 13. Какие водоподъёмные приспособления используют при водоснабжении?

Глава 14
ОРОШЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ

В лесном хозяйстве орошение применяют в основном при выращивании посадочного материала в питомниках и на лесосеменных плантациях. Можно применять орошение при выращивании садов, сельскохозяйственных культур и в полезащитном лесоразведении.

14.1. Оросительная система и ее элементы

Оросительной системой называется сеть каналов и сооружений на них, предназначенных для забора воды из источника и подачи ее на орошаемую площадь. Оросительная система состоит из следующих элементов: источника воды, водозаборного (головного) сооружения, оросительной сети, водосбросных и дренажных устройств, сооружений на каналах, дорожной сети и древесных насаждений на каналах.

Водозаборные сооружения. Для забора воды из источников и подачи ее в оросительные каналы устраивают водозаборные сооружения, позволяющие подавать воду в каналы самотеком или с помощью насосных станций.

Бесплотинный водозабор устраивают на реках с устойчивым уровнем воды. Часть русла реки отделяют шпорой (рис. 80), сооружаемой путем наброски камней или какой-либо кладки. Ширина водоотводящей части русла b_1 принимается равной полуторной ширине магистрального канала b. Длина шпоры равна полуторной - тройной ширине канала. Между шпорой и дамбой оставляют закрываемый проем для промывки входной части, открываемый по мере необходимости.

Плотинный водозабор состоит из плотины и шлюза, устраиваемого в голове магистрального канала (рис. 81). Плотинный водозабор, обеспечивая подъем воды и поддержание ее на необходимом уровне, создает надежный «горизонт командования» в голове магистрального канала.

Водозаборы с помощью насосных станций применяют при расположении орошаемого участка выше источника, когда возникает необходимость в механическом подъеме воды.

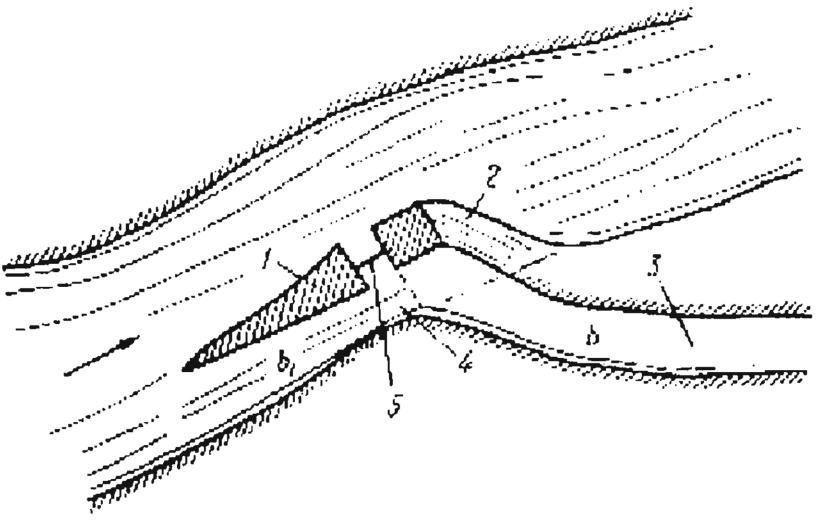


Рис. 80. Схема бесплотинного водозабора на реке:
1- шпора; *2*- дамба; *3*- магистральный канал; *4*- головное сооружение; *5*- шлюз для промывки головного сооружения

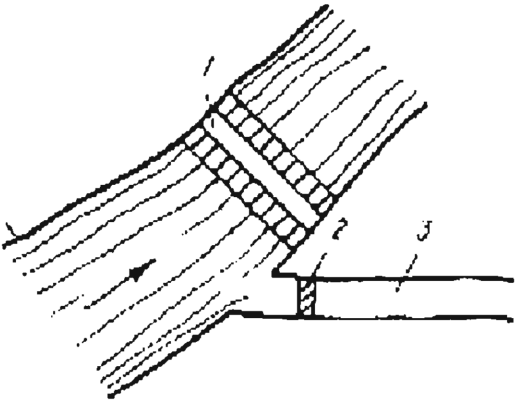


Рис. 81. Схема плотинного водозабора:
1- плотина; *2*- шлюз; *3*- магистральный канал

Можно применять стационарные, плавающие или передвижные насосные станции. При колебаниях уровней воды в пределах 5 м используют стационарные насосные станции, а при больших колебаниях - передвижные. Стационарные станции при орошении в лесном хозяйстве наиболее распространены.

Для подачи (вывода) воды из плотинных прудов в магистральные каналы в качестве водозаборного сооружения используют водовыпуски в виде труб с задвижками, уложенные в плотину на уровне горизонта мертвого объема.

14.2. Оросительная сеть

Оросительная сеть может быть открытой и закрытой. Открытая оросительная сеть включает: магистральные, распределительные и оросительные каналы.

Магистральные каналы располагают по высшим отметкам рельефа с уклоном 0,0002-0,0008. Участок канала, сооруженный до орошаемого участка, служит для транспортировки воды и носит название холостой части. Остальной участок канала, из которого вода подается в распределительные и оросительные каналы, называется рабочей частью канала. Оросительные каналы относительно поверхности земли можно устраивать в выемке, полувыемке или в насыпи. Магистральный канал в холостой части желательно сооружать в выемке для снижения потери воды на фильтрацию. В рабочей части в зависимости от способа орошения канал устраивают в выемке, полувыемке или насыпи. Желательно проектировать каналы с наиболее короткой холостой частью.

Оросители в зависимости от уклонов поверхности располагают вдоль или поперек склонов. При уклонах поверхности менее 0,002 применяют продольное размещение, на участках с уклоном 0,004-0,006 - поперек склона (поперечное). Длина оросителей принимается от 400 до 600 м. Расстояние между оросителями в зависимости от выбранного способа орошения может изменяться от 70 до 200 м. Оросители могут быть постоянными или временными.

Воду для орошения можно подавать и по закрытым трубопроводам, особенно при орошении дождеванием. Для трубопроводов используют асбоцементные трубы ВТ-3, ВТ-6, ВТ-9, ВТ-12, рассчитанные на рабочий напор 30, 60, 90 и 120 м соответственно. Диаметр труб (внутренний) ВТ-3, ВТ-6, ВТ-9 изменяется от 50 до 456 мм. Для соединения труб применяют асбоцементные или металлические муфты с резиновыми уплотнительными кольцами (рис.82).

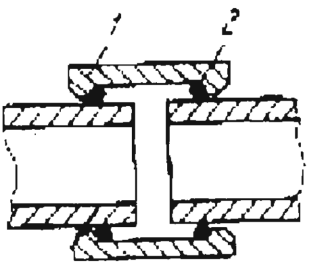


Рис. 82. Соединительная муфта *(1)* с уплотнительными кольцами *(2)*

Такие соединения допускают некоторый поворот и изгиб трубопровода, что предохраняет его от поломок при деформации грунта. Трубопровод закладывают на глубину 0,7-1,5 м в зависимости от глубины промерзания почвы.

Для уменьшения длины стационарных трубопроводов применяют разборные металлические и гибкие переносные трубопроводы. Наибольшее распространение имеют 5-метровые быстроразъемные трубы РТ-180 с внутренним диаметром 180 мм. В комплект оборудования переносного трубопровода входит до 1200 м разборных труб.

Применяют также алюминиевые трубы РТ-125, гибкие полиэтиленовые и капроновые шланги диаметром 150, 200, 250 и 500 мм, шланги из капроновой пластифицированной (мелиоративной) ткани диаметром 400-460 мм.

14.3. Сооружения на оросительной сети

При орошении в лесном и садово-парковом хозяйстве применяют водопроводящие сооружения: акведуки и дюкеры.

А к в е д у к (рис. 83) предназначен для переброски воды через овраги, лощины, водные потоки. Он имеет вид лотка, переброшенного через понижение, и состоит из входной части, лотка и выходной части. Иногда вместо лотков используют трубы. Пролетное сооружение акведуков может быть арочной, рамной или балочной конструкции. Вход в акведук имеет плановое очертание в виде раструба или косых плоскостей. Скорость течения в акведуке составляет от 1,0 до 2,5 м/с.

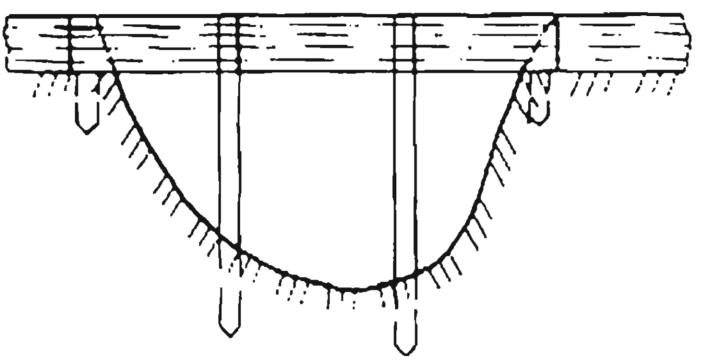


Рис. 83. Акведук

Дюкер предназначен для транспортировки воды под дорогами, каналами, балками, реками. Он представляет собой трубу, укладываемую на поверхность грунта на склонах балок, дне реки или в грунте на некоторой глубине (рис. 84).

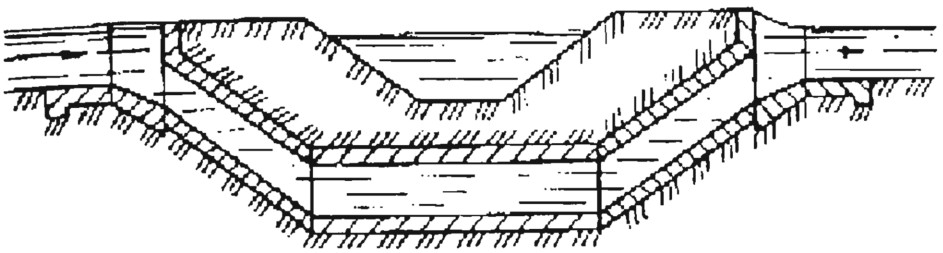


Рис. 84. Дюкер

Перепады и быстротоки относятся к группе сопрягающих сооружений и предназначаются для снижения скоростей движения воды на участках оросительных каналов с большими уклонами. Их устраивают как на каналах при осушении земель, так и на водосбросных сооружениях при плотинах (см. рис. 43, 44). Их пропускную способность и размеры рассчитывают на требуемые расходы воды.

Для поддержания в каналах необходимых уровней воды создаются водоподпорные сооружения. К ним относятся шлюзы-регуляторы, водовыпуски, перемычки. Шлюзы-регуляторы являются постоянными сооружениями (см. рис. 42). Водовыпуски часто устраивают в виде труб, укладываемых в головной части оросительных каналов в местах выхода их из магистральных или распределительных каналов. В качестве водовыпуска можно использовать щиты, перегораживающие канал, с отверстиями необходимого размера. Перемычки в виде металлических или деревянных щитов, а также изготовленные из брезента или пластмассовых материалов устанавливают в местах, где нужно повысить уровень воды (например, в местах ее забора для орошения дождевальными машинами).

Водомерные сооружения предназначены для замера воды, подаваемой на орошаемую площадь. При расходе воды не более 100-150 л/с в качестве водомерных сооружений используют водосливы с тонкой стенкой. Регулируя величину напора (см. рис.9), можно изменять расход. Приближенно расход воды через водосливы определяют по формулам (52) - (54).

14.4. Водосбросная и дренажная сеть

Водосбросная сеть предназначена для отвода излишней воды. Водосбросные каналы сооружают в концевой части распределительных и оросительных каналов, располагая их по возможности по естественным понижениям местности вдоль дорог и границ орошаемых участков. Глубина водосбросных каналов должна быть такой, чтобы при пропуске расчетных расходов уровень воды в каналах был на 15-20 см ниже поверхности земли, ширина каналов по дну определяется расчетом, но должна быть не менее 0,3 м.

При невозможности своевременного отвода излишней воды за пределы орошаемых участков и недостатке воды ее целесообразно собирать в пруды для использования на орошение повторно.

Во избежание переувлажнения орошаемых земель прибегают к устройству дренажа, выбирают вид дренажа (гл. 7) и составляют проект на его строительство.

Для снижения потерь воды из оросительной сети на физическое испарение вдоль основных оросительных каналов создают полосы из древесных растений, уменьшающие движение воздушных потоков.

Контрольные вопросы. 1. Как осуществляется забор воды для орошения? 2. В чем различия между оросительной сетью и оросительной системой? 3. Какие сооружения и для чего устраивают на оросительной сети?

Глава 15
СПОСОБЫ ОРОШЕНИЯ

Существуют различные способы орошения: дождевание, поверхностное самотечное, мелкодисперсное, синхронно-импульсное, капельное, подпочвенное. Под способом орошения понимают комплекс мероприятий, обеспечивающих подачу воды к орошаемым культурам и распределение ее на орошаемом участке в целях увлажнения почвы. При выборе способа орошения следует учитывать возможности механизации работ и автоматизации полива, агротехнику выращивания посадочного материала, назначение угодий (питомники по выращиванию посадочного материала, сады, садово-парковые объекты, лесные насаждения), рельеф местности, особенности водоснабжения (круглогодичное, сезонное).

15.1. Дождевание

Дождевание обеспечивает подачу воды на орошаемую площадь в виде искусственного дождя, создаваемого специальными дождевальными приспособлениями (устройствами). Последние подразделяют на короткоструйные (дальность полета струй до 10 м), среднеструйные (до 50 м) и дальнеструйные (свыше 50 м). В дождевальных приспособлениях для образования искусственного дождя используют насадки двух типов: отражательные (дефлекторные) и струйные. Дефлекторные насадки (рис. 85) относятся к короткоструйным. В таких насадках струя воды, подаваемая через отверстие водоподводящей трубы, ударяется о дефлектор, образуя размельченную струю, распадающуюся в воздухе на отдельные капли, выпадающие в виде дождя.

Струйные насадки (рис.86) подают воду из сопла в атмосферу тонкой струёй с большой скоростью на значительные расстояния. Распад струи на капли происходит за счет сопротивления воздуха. Чем выше скорость струи, тем дальше от насадки начинается образование дождя. Для его образования вблизи насадки применяют дополнительные устройства: распылители, отсекатели или вспомогательные насадки. В зависимости от числа струйных насадок в дождевальном аппарате они бывают одно-, двух- и трехсопловые.

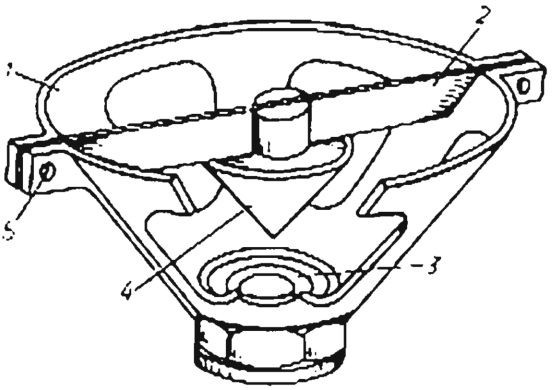


Рис. 85. Дефлекторная насадка для кругового полива:
1- корпус; *2*- планка крепления; *3*- водоподводящее отверстие; *4*- корпусный дефлектор; *5*- штифт

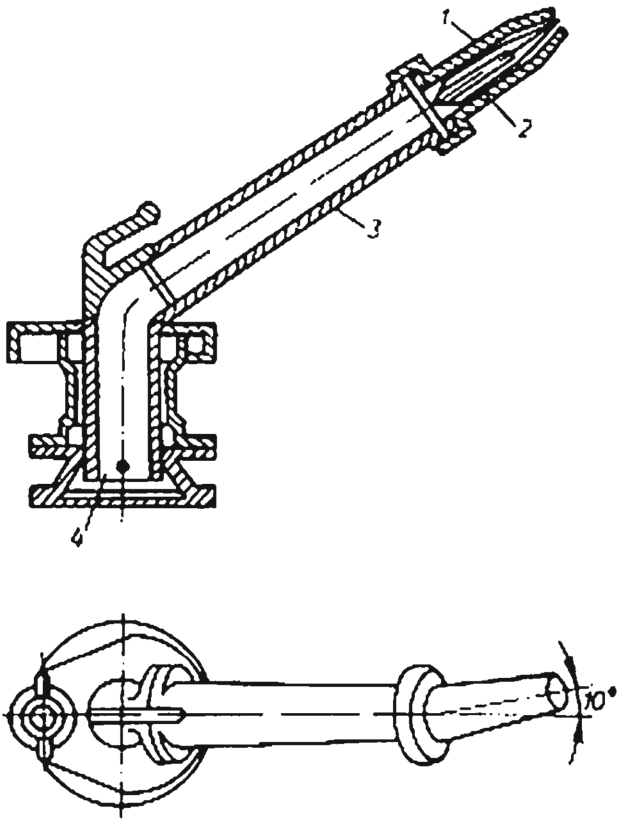


Рис. 86. Среднеструйный дождевальный аппарат:
1- насадка; *2*- струенаправляющее устройство; *3*- ствол; *4*- водоподводящий патрубок

Качество дождя характеризуется его интенсивностью, крупностью капель и равномерностью распределения по площади. Чем мельче капли и равномернее их выпадение, тем лучше орошение. Под средней интенсивностью дождя понимают отношение среднего слоя осадков, выпавших на площадь F, ко времени их выпадения

$$P_{ср} = \frac{h_{ср}}{t}, \qquad (125)$$

где $P_{ср}$ - средняя интенсивность дождя; $h_{ср}$ - средний слой осадков, мм; t - время выпадения осадков, мм/мин.

Среднюю интенсивность дождя, мм/мин, можно определить по формуле:

$$P_{ср} = \frac{60Q}{F}, \qquad (126)$$

где Q - расход воды дождевальной машиной, л/с; F - площадь, орошаемая с одной позиции, м^2.

Важно обеспечить равномерное распределение дождя по площади. Показателем равномерности служит коэффициент равномерности $K_р$, рассчитываемый по формуле:

$$K_р = \frac{h_{ср}}{h_{max}}, \qquad (127)$$

где $h_{ср}$ - средний слой дождя, выпадающий на орошаемую площадь; h_{max} - максимальный слой, выпадающий на части площади.

15.2. Дождевальные устройства

Большинство существующих дождевальных устройств можно использовать для орошения угодий в лесном хозяйстве. Наиболее пригодны двухконсольная дождевальная машина ДДА-100 и ее модификации, дождевальная установка «Радуга» (КИ-50), дождевальная машина «Волжанка» (ДКШ-64), дождевальная дальнеструйная машина ДДН и ее модификации. Техническая характеристика дождевальных устройств приведена в прил. 11.

Двухконсольный дождевальный агрегат ДДА-100М (рис. 87) смонтирован на тракторе ДТ-75, относится к установкам короткоструйного типа. Состоит из двухконсольной фермы длиной 110,3 м и насосной установки. Ферма в поперечном сечении имеет форму равностороннего треугольника.



Рис. 87. Общий вид двухконсольного дождевального агрегата

Высота фермы в средней части - 3075 мм, в концевой - 1000 мм. Нижний пояс фермы изготовлен из труб диаметром от 114 до 45 мм, по которой подается вода. К водоподводящей трубе приварены трубчатые открылки длиной от 0,3 до 1,4 м, на концах которых установлены 52 дефлекторные насадки. На концах фермы смонтированы две струйные насадки с отражательными лопатками. Агрегат оборудован гидравлической системой для регулирования наклона фермы. Ферма опирается на поворотный круг, позволяющий разворачивать ее в транспортное положение вдоль трактора.

Агрегат работает следующим образом. Насосная установка забирает воду из оросительного канала и подает ее под напором 26 м в водоподводящую трубу фермы. Всасывающее устройство поплавкового типа размером в плане 150х40 см, высотой 20 см может подниматься и опускаться из кабины водителя с помощью подъемника, установленного на тракторе. Глубина воды в оросительном канале при ее заборе должна быть не менее 25-30 см.

Агрегат работает в движении при уклонах поверхности до 0,005. Специальная коробка передач позволяет трактору двигаться вперед со скоростью 410 м/ч, назад - 370 м/ч. В стационарном положении агрегат орошает площадь 120х20 м. Расход воды - 100 л/с. Средняя интенсивность дождя - 2,4-3,0 мм/мин.

Оросительные каналы делают постоянными или временными. При орошении лесных питомников чаще устраивают постоянные оросители (рис. 88).

Длину оросителей в земляном русле принимают от 400 до 1200 м при уклонах 0,004-0,005. Для обеспечения необходимой глубины воды для ее забора оросители разделяют переносными и постоянными перемычками на бьефы длиной 100-500 м в зависимости от уклона. При уклонах 0,004 длина бьефов должна быть 200-250 м, при меньших уклонах - до 500 м. Воду в оросители подают из

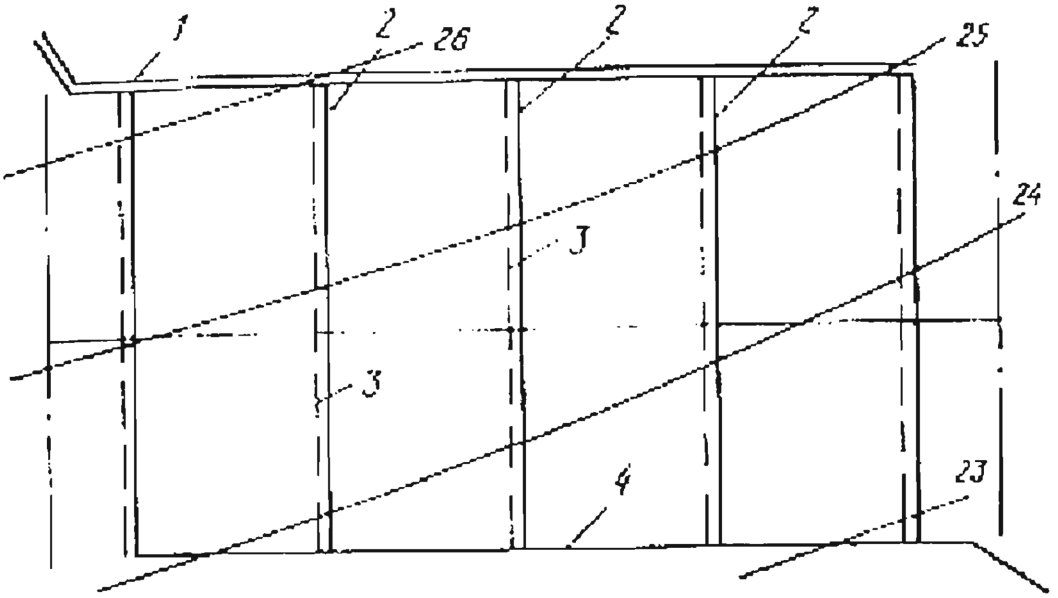


Рис. 88. Схема орошения ДДА-100:
1- распределительный или магистральный канал; *2*- оросители; *3*- дорога для проезда агрегата; *4*- водосбросный канал; *23,24,25,26* - горизонтали

магистральных или распределительных каналов через водопуски автоматического или ручного управления, а также из трубопровода через гидранты.

Производительность агрегата за 7-часовую смену - 6,4 га (при поливной норме 300 м^3/га). Сезонная нагрузка на машину - 88 га. Модификацией ДДА-100М является ДДА-100МА, монтируемый на тракторе ДТ-75М. Расход воды - 130 л/с. Ширина захвата - 122,5 м. Сезонная нагрузка - 115 га.

При орошении лесных питомников можно применять комплект передвижного оборудования, в который входят: передвижная насосная станция СНП-50/80, дождевальная машина, 900 м разборного трубопровода РТ-150, семь труб-гидрантов РТ-250х180 и семь водозаборных колонок диаметром 1-80 мм.

Установка КИ-50 «Радуга» относится к машинам среднеструйного типа. Комплект оборудования включает: передвижную насосную станцию СНП-50/80, магистральный трубопровод длиной 905 м из труб диаметром 150 и 125 мм, два распределительных трубопровода длиной по 126 м со среднеструйными дождевателями «Роса-3» и гидроподкормщик. Оборудование монтируют стационарно (рис. 89).

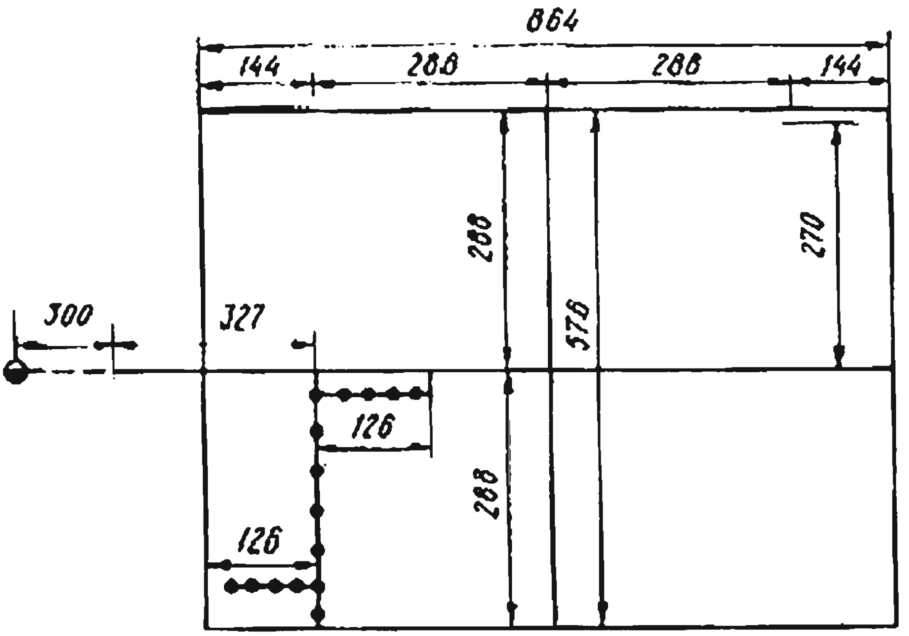


Рис. 89. Схема орошения установкой КИ-50

К каждому из двух распределительных трубопроводов к гидрантам подключают два крыла, одно из которых работает, а второе, после полива участка на одной позиции, переносят на другую. Расстояние между гидрантами на распределительном трубопроводе 36 м. На дождевальном крыле через 36 м поставлены четыре аппарата «Роса-3». Расход дождевального крыла - 23,6 л/с. Средняя интенсивность дождя - 0,28 мм/мин. На позиции крыло поливает 0,25 га площади. Распределительный трубопровод поливает 8,25 га. За время полива каждый из распределительных трубопроводов можно использовать для орошения с трех позиций. Тогда обслуживаемая площадь составит не менее 50 га.

Дождевальная машина ДКШ-64 «Волжанка» (рис. 90) также относится к среднеструйным машинам. Она состоит из двух трубопроводов диаметром 150 мм и длиной по 395,8 м, монтируемых из отдельных труб (звеньев) длиной по 12,6 м. На каждом трубопроводе закреплены 54 металлических колеса диаметром по 1,91 м. В средней части трубопроводов имеются приводные тележка с бензиномоторным двигателем, который вращает ходовые колеса. На каждом крыле установлено по 52 среднеструйных аппарата кругового действия. Аппараты оборудуют через 12,6 м устройствами, обеспечивающими вертикальное положение их после перемещения (перекатывания) трубопровода с позиции на позицию. Расход

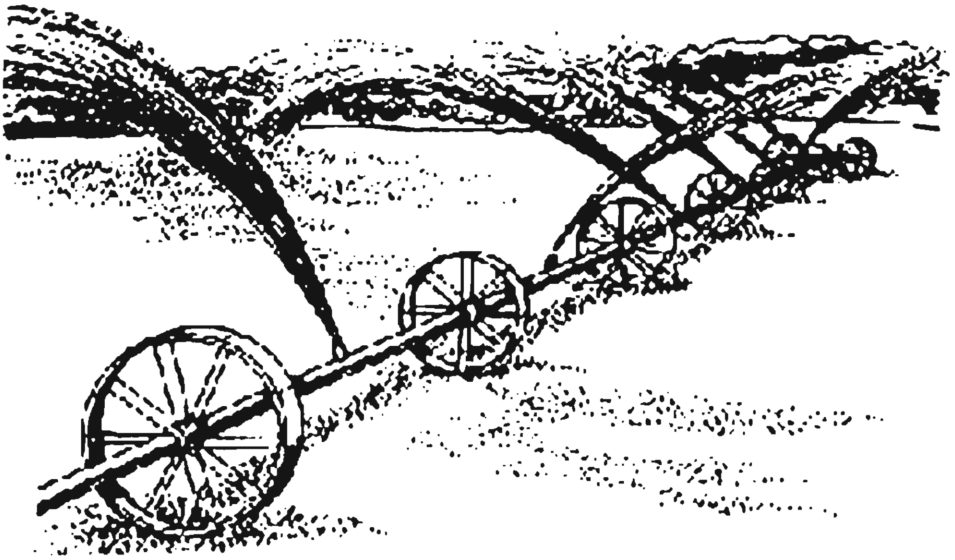


Рис. 90. Общий вид дождевальной многоопорной машины ДКШ-64 «Волжанка»

воды аппаратом - 0,9-1,0 л/с при напоре 50-40 м. Дальность отлета струи - 17-18 м.

Машина работает позиционно. Вода может подаваться как от гидрантов на стационарном (рис. 91) или переносном трубопроводе, так и непосредственно от передвижных насосных станций. Расстояние между гидрантами 18,3 м, но за счет применения вспомогательных трубопроводов оно может быть увеличено. Дождевальные крылья к гидрантам подключают гибкими шлангами. Расчетный расход воды при одновременной работе двух дождевальных крыльев - 62,7 л/с. Средняя интенсивность дождя - 0,256 мм/мин. Время полива участка на одной позиции при поливной норме 300 м^3/га - 143 мин. Сменная производительность машины - 2,95 га. Сезонная нагрузка - 51,5 га. Машину целесообразно применять на хорошо спланированных участках с уклонами до 0,02.

Дальнеструйная дождевальная машина ДДН-70 (дальнеструйный дождеватель навесной) агрегатируется с трактором ДТ-75 или ДТ-74. Машина (рис. 92) состоит из следующих основных узлов: центробежного насоса со всасывающей системой и приемным клапаном, редуктора с карданным валом, дальнеструйного аппарата с двумя насадками диаметром 55 (или 50, 45 и 35) и 16 мм, навесной рамы, блокировочных цепей и гидроподкормщика. Малое сопло оборудовано разбрызгивающей лопаткой. Расход воды машиной - 30, 45 и 65 л/с в зависимости от диаметра насадка. При диаметре насадки 55 мм дальность полета струи 70 м.

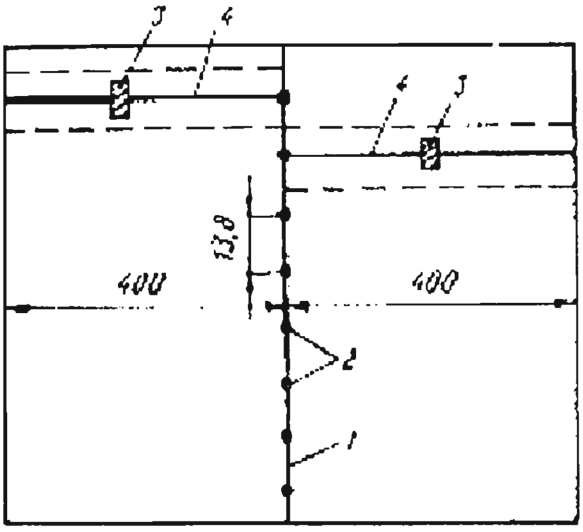


Рис. 91. Схема орошения машиной ДКШ-64 «Волжанка»:
1- стационарный трубопровод; *2*- гидранты; *3*- приводной двигатель; *4*- дождевальные крылья

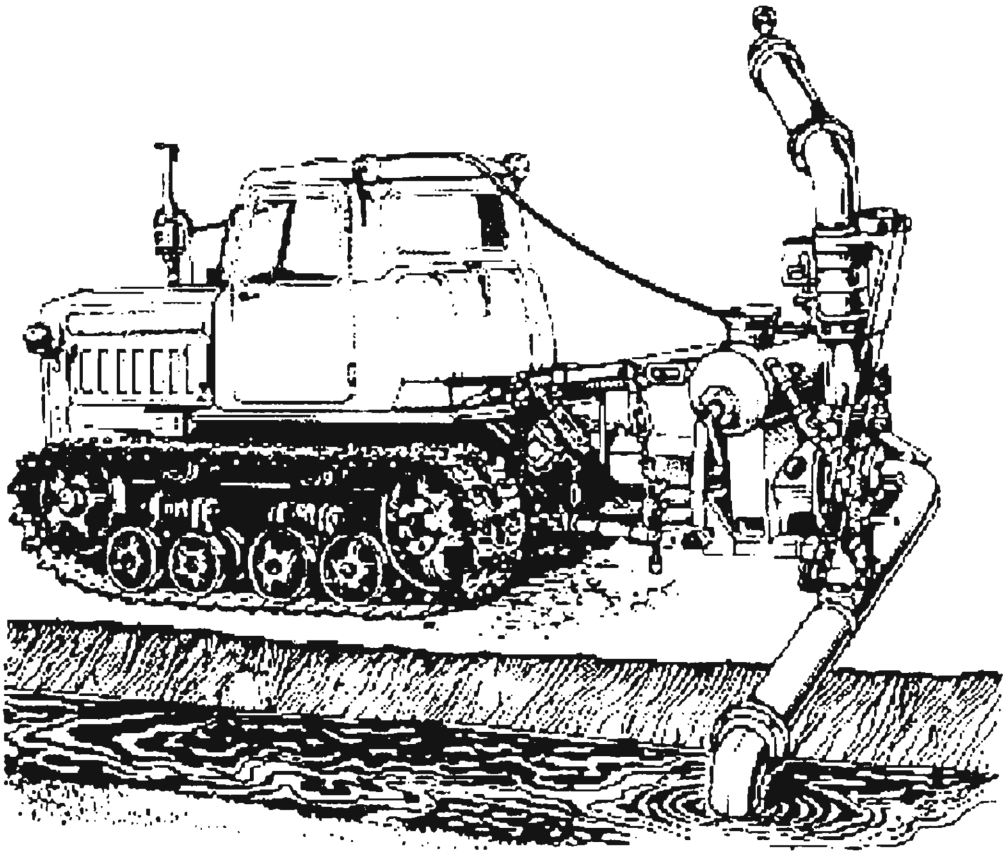


Рис. 92. Общий вид дождевальной машины ДДН

Машина позиционного действия, поливает по кругу или сектору за счет вращения дождевального аппарата. Глубина воды в канале у места забора воды должна быть не менее 0,5 м. При меньшей

глубине необходимо устраивать углубления (приямки). Расстояние между рядами стоянок при круговом поливе - 96,2 м, но вследствие искажения контура орошения принимается равным 90 м. Расстояние между стоянками в ряду 111 м принимается 100 м (рис. 93).

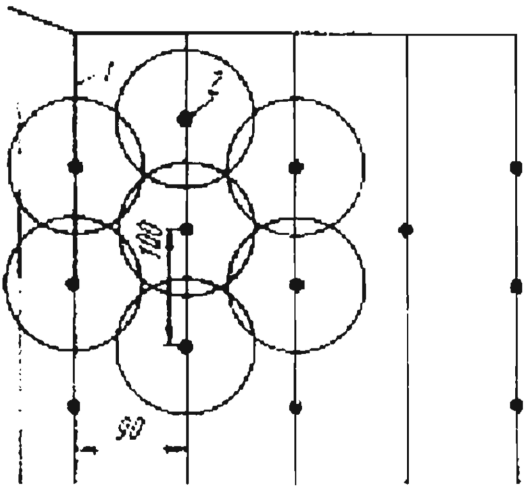


Рис. 93. Схема орошения дальнеструйной дождевальной машиной ДДН:
1- оросительные каналы; *2*- стоянка для забора воды

Средняя интенсивность дождя в пределах круга - 0,332 мм/мин, а с учетом перекрытий кругов - 0,434 мм. Подача воды к машине производится по каналам или с помощью стационарных или переносных (в том числе гибких) трубопроводов. Сезонная нагрузка на машину - 42 га.

В последние годы получили распространение гибкие трубопроводы длиной до 300-400 м, изготавливаемые из капроновой ткани и наматываемые на барабан, который навешивается на трактор. Применение гибких трубопроводов позволяет ограничиваться разреженной сетью оросительных каналов или трубопроводов.

Модификацией машины ДДН-70 является ДДН-100, агрегатируемая с трактором Т-150, Т-150 К, Т-40А и ДТ-75М. Расход воды может изменяться от 85 до 115 л/с при напоре 65 м. Дальность отлета струи - 75-85 м. Расстояние между оросителями - 110-120 м, между позициями - 110-145 м. Интенсивность дождя - 0,27-0,38 мм/мин. Машину ДДН-100 можно использовать как передвижную насосную станцию.

В садово-парковом хозяйстве орошение проводят с помощью среднеструйных дождевальных аппаратов ДА-2 и ДН-1. Дождевальный

аппарат ДА-2 (см. рис. 84) присоединяют к патрубку, подводящему воду от трубопровода. Аппарат вращается с помощью коромысла с реактивной лопаткой. Расход и дальность полета струи зависят от диаметра насадка. Применяют насадки диаметром 22, 25 и 28 мм, обеспечивая расход воды 11, 15, 20 л/с и дальность полета струи - 35, 40, 45 м. Требуемый напор на входе дождевального аппарата - 50-60 м.

Полив по кругу обеспечивает и дождевальный аппарат ДН-1. Вращение аппарата возникает за счет реактивной силы воды, создаваемой изгибом трубопровода в насадке концевой части (см. рис. 86). Дождевальный аппарат ДН-1 работает при напоре 35-60 м. Расход воды - 11,4-24,6 л/с, дальность полета струи - 30-43 м.

Преимущества и недостатки дождевания. Дождевание один из наиболее совершенных способов полива. Существенное преимущество дождевания - возможность применения его на участках с повышенным уклоном и не очень тщательно спланированной поверхностью. К преимуществам дождевания относятся также: высокая механизация полива и снижение трудозатрат; получение влаги не только почвами, но и приземным слоем воздуха и растениями; возможность внесения удобрений при орошении; обеспечение равномерного орошения площади и полива в течение всего периода вегетации.

Недостатки дождевания: значительная металлоемкость конструкции; влияние ветра на качество дождевания; расход энергии, топлива.

15.3. Специальные способы орошения

Полив по бороздам получил широкое распространение при выращивании пропашных сельскохозяйственных культур. Его можно применять в лесном хозяйстве и хозяйствах садово-паркового назначения, а также в маточных отделениях питомников.

При поливе по бороздам требуется очень тщательная планировка поверхности. В зависимости от механического состава почв, вида выращиваемых культур и уклона местности применяют борозды проточного и непроточного типа различной глубины. Борозды бывают мелкие - глубиной 8-12 см, средние - 15-16 см, глубокие - 17-22 см и очень глубокие - более 22 см. Расстояние между бороздами изменяется от 0,5 до 1,1 м.

Увлажнение почвы при таком способе полива достигается тем, что вода, подаваемая в борозды, фильтруется через дно и откосы

борозд. На легких хорошо водопроницаемых почвах влага, поступающая из борозд в почву, быстро фильтруется вниз, на тяжелых почвах интенсивно распространяется в стороны. Поэтому на легких почвах эллипсовидные контуры увлажнения вытянуты вниз, на тяжелых - в стороны. Расстояние между бороздами принимают для песчаных и супесчаных почв 0,5-0,6 м, для легко- и среднесуглинистых - 0,6-0,8 м, для тяжелых суглинков и глин - 0,8-1,1 м.

Полив можно производить по непроточным (тупым) и проточным бороздам. Полив по тупым бороздам обычно применяют на участках с уклоном (вдоль борозд) 0,01-0,002, проводя его без сброса воды в концах борозд или со сбросом. При поливе без сброса воды борозды устраивают средней глубины, наполняя их водой на 1/4-1/5 глубины. Длина борозд в зависимости от уклона и расхода воды варьирует от 75 до 400 м. Расход воды изменяется от 0,02 до 2,0 л/с. Полив со сбросом воды применяют при уклонах более 0,01. При таком поливе в борозды подают большое количество воды, до 50 % которой может сбрасываться за пределы орошаемых участков.

Поливную сеть при поливе по бороздам устраивают следующим образом. Вода из магистрального или распределительного канала поступает в оросители (рис. 94). На орошаемые участки вода отводится выводными бороздами, параллельно которым устраивают распределительные (вспомогательные) борозды, от которых отводят по 10-20 поливных борозд. Вода из выводных борозд в поливные может поступать из вспомогательных (распределительных) борозд, через сифоны или трубки непосредственно из выводных борозд или специальных трубопроводов с отверстиями против каждой поливной борозды. Последние можно устраивать окучником.

Мелкодисперсное дождевание заключается в том, что на орошаемых объектах (обычно в теплицах) специальными установками в виде системы труб с форсунками создаются мельчайшие в виде тумана капли воды, насыщающие влагой воздух. Повышение влажности воздуха снижает транспирацию, увеличивает фотосинтез. Воду подают в жаркое время с небольшими перерывами. Мелкодисперсное дождевание снижает расход воды в 4-5 раз по сравнению с обычными способами орошения. Повышенное увлажнение воздуха позволяет выращивать растения при более низкой влажности почвы, что важно для определенного вида растений.

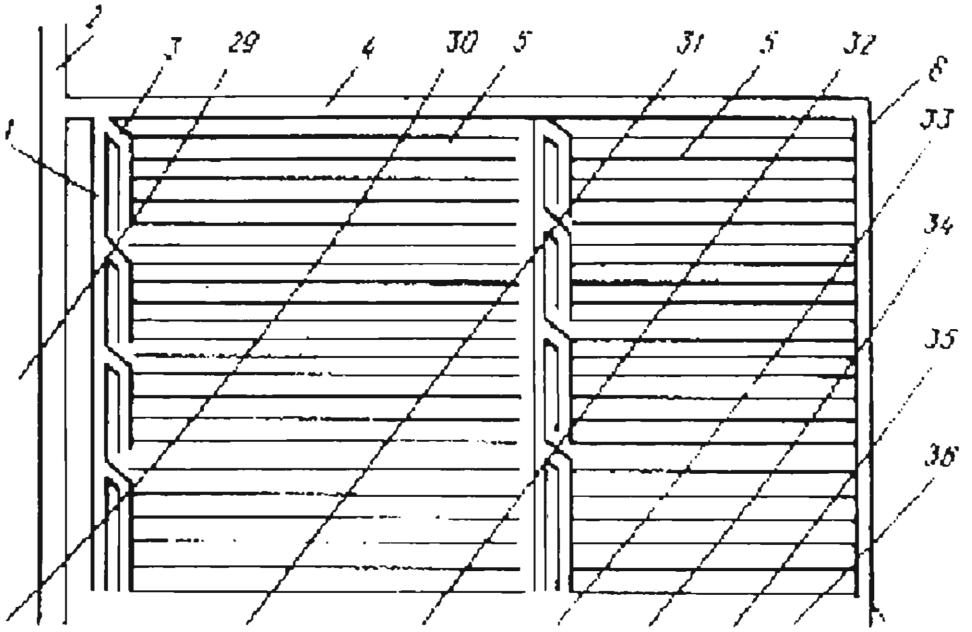


Рис. 94. Схема полива по бороздам:
1- выводная борозда; *2*- распределительный канал; *3*- вспомогательная борозда; *4*- ороситель; *5*- поливные борозды; *6*- водосбросный канал

Синхронно-импульсное дождевание снабжает растения водой по мере потребления ее, т.е. практически постоянно на протяжении всего периода вегетации. Дождевальные аппараты работают в режиме чередования пауз по мере накопления воды в особых емкостях. Время подачи воды определяется специальными датчиками, передающими сигналы о влагозапасах почвы на пульт автоматического управления. Вода подается по трубам одновременно на всю орошаемую площадь. Синхронно-импульсное дождевание снижает нормы потребления воды. Практически непрерывная подача воды изменяет микроклимат на орошаемом участке, что особенно важно при выращивании посадочного материала и цветов в теплицах.

Капельное орошение относится к типу подпочвенного орошения, когда вода малыми дозами подается непосредственно в зону корней растений по мере необходимости. К растениям вода поступает по трубопроводам в специальные микроводовыпуски (капельницы). Трубопроводы располагают вдоль рядов растений на небольшой глубине в почве в неглубоких канавках или на ее поверхности. Капельницы размещают в почве, на поверхности почвы или выше поверхности. Расстояние между поливными трубопроводами зависит от ширины междурядий. В России используются серийно

изготавливаемые капельницы «Украина-1», «Коломна-2», «Молдавия-1». Капельное орошение удобно использовать при орошении аллейных посадок в садово-парковом хозяйстве в зонах с ограниченными ресурсами воды.

15.4. Лиманное орошение

При лиманном орошении на пути стока талых вод устраивают земляные валы или дамбы, за которыми образуются затопленные водой участки суши, называемые лиманами (рис. 95). Грунт для устройства валов, или дамб берется непосредственно возле дамб из траншей (резерва). Резервы могут достигать глубины 0,6-1,0 м, располагаясь с внутренней или наружной стороны лимана.

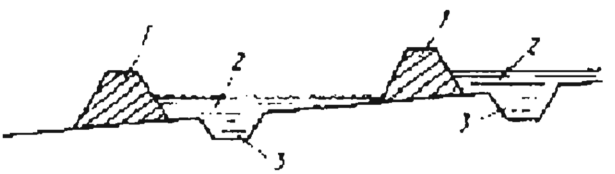


Рис. 95. Схема размещения лиманных дамб:
1- дамба; 2- водное зеркало лимана; 3- резерв

При необходимости осушения территории лиманов резерв, располагаясь с внутренней стороны, служит осушительным каналом. Если осушение не требуется, резерв может располагаться с наружной стороны.

Виды лиманов. При лиманном орошении в основном используют воды местного стока. В России местный сток для орошения можно использовать на площади около 50 млн. га. Приблизительно на половине этой площади можно проводить лиманное орошение.

Устройство лиманов зависит от способа наполнения их водой, характера рельефа, уклона поверхности и вида орошаемой площади. По способу наполнения водой лиманы разделяют на три типа: непосредственного наполнения водой, стекающей с водосбора при снеготаянии (рис. 96, а, б, в); пойменные, наполняющиеся водой при разливе рек (рис. 96, г); припрудовые, располагаемые ниже пруда и наполняемые водой, сбрасываемой из пруда в период прохождения паводка. Ширина верхнего бьефа лимана принимается от 100 до 700 м.

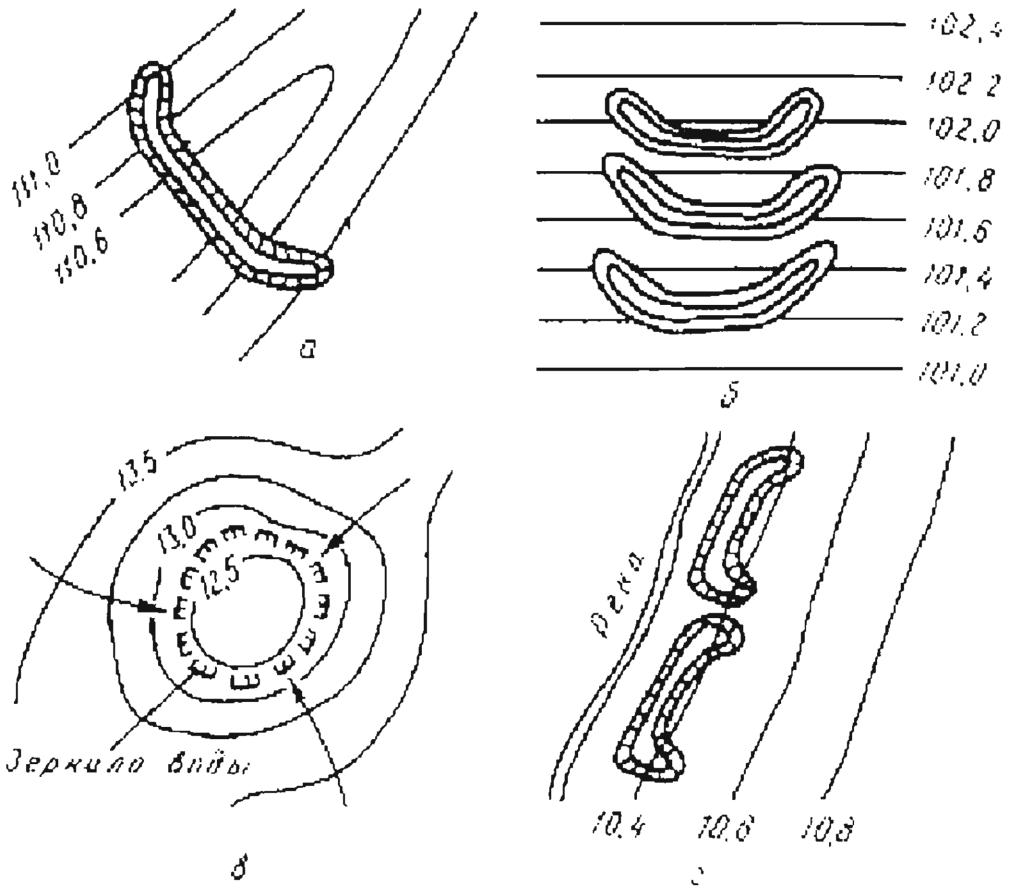


Рис. 96. Виды лиманов:
а – простой; *б*- ярусные; *в*- в котловинных понижениях; *г*- пойменные

По расположению дамб лиманы бывают простые (одноярусные) и ярусные. Простые лиманы устраивают при малых уклонах поверхности на склоне или на дне широкой балки. Излишняя вода сбрасывается за пределы лимана в обход одернованных краев дамб лимана или через специальные водовыпуски в дамбах.

На участках с большими водосборами при значительных уклонах, когда для создания широкого лимана необходимо устраивать высокие дамбы, целесообразно создание ярусных лиманов. В этом случае вниз по склону возводят несколько рядов дамб. Стекающая по склону вода задерживается первым рядом валов, излишняя вода через края дамб вытекает в лиманы нижнего яруса, заполняя их, избыточная вода сбрасывается через водовыпуски в теле дамб или в обход дамб.

При создании системы лиманов, расположенных вниз по склону, расстояние между дамбами (валами) в зависимости от уклона поверхности определяют по формуле:

$$B = \frac{h_1 - h_2}{i}, \qquad (128)$$

где B - ширина лимана (вдоль по уклону); i - уклон поверхности; h_1 - глубина воды в нижней части лимана; h_2 - минимальная глубина в верхней части лимана.

По глубине заполнения лиманы разделяют на мелководные (мелкого наполнения), со средней глубиной наполнения до 0,3 м и глубоководные (глубокого наполнения) при глубине заполнения более 0,3 м.

Высоту водоудерживающего вала (дамбы) на мелководных лиманах принимают из такого расчета, чтобы уровень воды возле вала был на 10-20 см ниже гребня вала, и ее принимают равной 0,5-0,8 м. При глубоководных лиманах высота дамб достигает 1-2 м, ширина гребня - 2 м. Крутизна откосов принимается 4:1 или 5:1.

В естественных котловинных понижениях лиманы не имеют дамбы и представляют собой замкнутые понижения в виде блюдец правильной или продолговатой формы со слабым (0,0002-0,0004) уклоном к центру (рис. 94, в).

В зависимости от рельефа площадь лимана колеблется от нескольких гектаров до 1000 га и более. Продолжительность стояния воды в лимане зависит от вида древесных пород и их состояния (гл. 5). Желательно освободить лиманы от верховодки к началу активного роста деревьев и не допускать длительного (более 5 сут.) затопления корневых систем в период вегетации.

Расчет наполнения лимана ведется на сток весенних вод 25- или 75%-ной обеспеченности. Наполнение лимана определяют с учетом коэффициента стока и запасов воды в снеге. Объем весеннего стока определяют по формуле (113).

Лиманы можно применять при орошении полезащитных полос, участков леса по склонам балок, при создании маточных плантаций по выращиванию ивовых, при выращивании трав. Для орошения лесных полос, идущих вдоль склона, применяют ярусные лиманы с расположением ярусов вдоль полосы. При размещении полос поперек склона устраивают простые лиманы, располагая их вдоль горизонтали поперек полос.

Преимущества и недостатки лиманного орошения. К преимуществам лиманного орошения относятся: простота устройства и малая стоимость; возможность орошения высоко расположенных

участков без механического подъема воды; возможность широкого применения для орошения древесных насаждений. Недостатками лиманного орошения являются: возможность только однократного орошения весной; неравномерность увлажнения по причине уменьшения глубины воды в лимане от дамбы к верхней части; изменение площади лиманов по годам в зависимости от запасов снега и величины стока.

15.5. Режим орошения

Режим орошения определяется нормой, числом и сроками полива выращиваемых культур. Он зависит от биологических особенностей растений, климатических, почвенных и гидрологических условий орошаемых земель.

Вода является необходимым элементом плодородия. Содержание влаги в почве в естественных (природных) условиях может изменяться от состояния увлажнения на уровне гигроскопической влаги до уровня полной влагоемкости. Для растений нежелательны как недостаток, так и избыток влаги. Нормальные условия роста создаются тогда, когда в почве 50-40 % пор занято воздухом, остальные промежутки между почвенными частицами заполнены водой. Обычно такое увлажнение наблюдается при насыщении почвы влагой до состояния полевой влагоемкости, определяемой в основном капиллярной скважностью почвы. Основные водно-физические свойства некоторых почв приведены в табл. 42.

Таблица 42

Водно-физические свойства почв, % от объема

Тип почвы	Частицы размером 0,01 мм	Скважность	Максимальная гигроскопичность	Капиллярная скважность	Полная влагоемкость
Песчаная	2-10	30-40	1-3	12-18	12-20
Супесчаная	10-25	40-45	5-5	18-23	20-30
Суглинистая	25-45	45-50	5-8	23-27	30-35
Глинистая	45-75	50-55	8-12	27-30	35-45
Тяжелая глина	75	55-65	12-16	30-35	45-55

Увлажнение почвы не остается неизменным на протяжении периода вегетации, поэтому в природных условиях сложно постоянно поддерживать оптимальную увлажненность. Растения снижают интенсивность роста при уменьшении влажности от оптимальной величины, но рост их не прекращается. Снижать влажность до критической величины, называемой влажностью завядания, недопустимо. В качестве показателя влажности завядания условно принимается величина, характеризующаяся содержанием влаги в почве на уровне полуторной или двойной максимальной гигроскопичности (см. табл. 42). Завядание наступает для супесчаных почв при объемной влажности 4-6 %, легких суглинков - 6-8 %, средних суглинков - 8-10 %, тяжелых суглинков - 10-14 %.

В течение периода вегетации орошение участков проводят неоднократно. Период времени, в течение которого возникает надобность в поливах, называется оросительным периодом. Длительность его зависит от продолжительности вегетации орошаемой породы. Количество воды, которое подается на 1 га орошаемой площади за оросительный период, называется оросительной нормой. Эта норма вычисляется как разница между водопотреблением растений и естественными ресурсами влаги в почве в течение вегетации. Величину оросительной нормы M определяют по уравнению:

$$M = E - P_{о} + И - З_{н} + З_{к} - B_{гв}, \qquad (129)$$

где E - транспирация растениями (водопотребление); $P_{о}$ - количество осадков, поступающее в течение вегетации в активный слой почвы (АСП); $З_{н}$ - запас влаги в АСП в начале вегетации; $З_{к}$ - запас влаги в АСП в конце вегетации; $B_{гв}$ - количество влаги, поступающее в АСП от грунтовых вод; $И$ - испарение в период вегетации.

Оросительная норма должна обеспечивать увлажнение только активного слоя почвы без сброса воды в нижние горизонты, а на орошение, наоборот, следует использовать влагу грунтовых вод. Поэтому на землях с близким залеганием грунтовых вод оросительную норму следует уменьшать.

При современных способах полива воду на орошаемую площадь обычно подают отдельными поливами. Объем воды, который требуется подавать на 1 га орошаемой площади за один полив, называется поливной нормой, или нормой полива.

Величина поливной нормы зависит от степени увлажнения почвы к началу полива, величины потребления воды растениями в данную фазу развития, влагоемкости почвы, глубины слоя промачивания почвы. На норму полива оказывает влияние возможность регулирования подачи воды и водного режима, а также техника полива. Выше отмечалось, что завядание растений начинается при влажности на уровне полуторной или двойной максимальной гигроскопичности, однако полив следует начинать при величине увлажненности выше этой критической величины. Например, после посевов семян в фазе развития всходов, когда растения не имеют развитой корневой системы и сильно страдают при иссушении верхних горизонтов почвы, необходимо поддерживать более высокую увлажненность почвы. Растения, сформировавшие корневую систему и надземную часть, поглощая питательные вещества из почвы, интенсивно транспирируя влагу, вызывают более глубокое иссушение почвенных горизонтов, но медленнее снижают интенсивность роста при большем иссушении почвы, чем в стадии развития всходов. Исключительное значение имеют влагоемкость и структура почвы, которые в значительной степени определяются качеством агротехники и характеризуют культуру производства. Устанавливая поливную норму, необходимо, чтобы после полива вода не уходила в нижележащие слои почвы, так как это ведет к потерям оросительной воды, может вызвать подъем грунтовых вод и способствовать засолению почв.

Устанавливая слой промачивания в питомниках, следует учитывать, что увеличение глубины промачивания способствует развитию глубокой корневой системы. При выкопке посадочного материала значительная часть корней подрезается. Это снижает приживаемость посадочного материала на лесокультурной площади или при посадке в школьные отделения питомников. Поэтому в питомниках по выращиванию сеянцев древесно-кустарниковых пород глубина промачивания почвы принимается равной 10-30 см в зависимости от фазы развития и вида растений. В школьных отделениях глубина промачивания увеличивается до 0,4-0,5 м, в молодых садах - до 0,6-1,0 м, в парках - до 1,0-1,2 м.

Поливную норму рассчитывают по формуле:

$$m = 100\, H\, \alpha\, (r_{пр} - r_{t}), \qquad (130)$$

где H - слой промачивания; α - объемная масса почвы; $r_{пр}-r_0$-влажность почвы после полива и влажность почвы до полива, % к абсолютно сухой почве.

Объемная масса почвы зависит от механического состава, составляя 1,38 - для супесчаных почв, 1,40 - для легкосуглинистых, 1,42 - для суглинистых, 1,45 - для тяжелосуглинистых и 1,50 - для глин. Нормы полива, изменяясь от вида древесных пород и фаз развития древостоя, зависят и от типа почв (табл. 43).

Таблица 43

Примерные нормы полива, м³/гп

Тип почвы	Слой увлажнения, см		
	0-10	0-20	0-30
Песчаная	60	110	170
Супесчаная	100	150	230
Легкосуглинистая	130	270	360
Среднесуглинистая	170	290	430
Тяжелосуглинистая	190	310	470

Поливной режим питомников. Количество поливов изменяется в широких пределах в зависимости от вида и возраста древесных пород, климатических условий, водно-физических свойств почв, глубины грунтовых вод. В зоне избыточного увлажнения (гл. 1) поливы в питомниках требуются только после посева и в фазе развития всходов, а также периодически в засушливые периоды и годы. В зоне неустойчивого увлажнения количество поливов может достигать 5-7, а в зоне недостаточного увлажнения - 8-10 и более. В табл. 44 приведены оросительные нормы для лесных питомников по данным Гипролесхоза.

Поливной режим садов и лесонасаждений. При орошении садов почва увлажняется до глубины 1 м, так как активная часть корневой системы располагается до этой глубины. В садах поливная норма зависит от вида плодовых и ягодниковых культур, их возраста и механического состава почвы. В питомниках по выращиванию посадочного материала плодовых проводят не менее 3-5 поливов при поливной норме от 150-200 м³/га для супесчаных почв до 250-350 м³/га для тяжелых суглинков. В молодом неплодоносящем саду достаточно 2-3-х поливов в июне и июле при поливной норме 300-500 м³/га. В плодоносящем яблоневом саду первый полив необходим после

Таблица 44

Ориентировочные величины оросительных норм для лесных питомников, м³/га

Природно-климатическая зона	Год выращивания	Береза	Хвойные, липа, ирга, орех, вяз, смородина, облепиха	Клен остролистный, акация белая, дуб, лох узколистный	Калина, рябина
Европейская часть России					
Степная	1	2100	1800	800	-
	2	800	800	400	-
Лесостепная	1	1500	1100	700	-
	2	600	500	600	-
Подзона средней тайги	1	600	650	-	550
	2	400	300	-	300
Западная Сибирь					
Степная	1	1800	2100	-	1000
	2	600	900	-	600

опадения избыточной завязи, второй - за две-три недели до созревания плодов летних сортов. Например, в Московской области за вегетационный период рекомендуется не более трех поливов с нормой 400-600 м³/га. Оросительная норма ориентировочно составляет 1100-1300 м³/га.

Ягодники поливают трижды: в период зеленой завязи на растениях, при созревании ягод и после уборки урожая для формирования плодовых почек следующего года.

В древесных насаждениях поливы целесообразны при создании полезащитных полос и парков. Поливной режим насаждений характеризуется данными табл. 45.

Таблица 45

Режим полива молодых полезащитных насаждений

Возраст, лет	Норма полива, м³/га	Число поливов по регионам			
		юг Украины и Молдова	юго-восток европейской части РФ	Закавказье	Средняя Азия и юг Казахстана
1	600	2-5	3-5	4-5	6-9
2	700	2-3	2-4	3-5	5-8
3	800	1-2	2-3	2-3	3-5
4-5	900	1-2	1-3	1-3	2-4

Орошение древесных насаждений естественного происхождения производится в редких случаях, и наиболее приемлемым способом орошения является устройство лиманов.

15.6. Определение расчетных расходов воды в каналах оросительной сети

Расчетные расходы воды в каналах оросительной сети определяют на основе выяснения потребности в воде растений в различных отделениях питомников, с учетом рельефа местности, характера почвогрунтов и возможностей источника орошения. Если источник орошения в состоянии одновременно полностью обеспечивать данный участок водой, то вода во все каналы может подаваться одновременно, если воды для одновременного орошения недостаточно, то оросительные каналы работают по очереди. Поливы следует производить с постоянной подачей воды по каналам в более короткие сроки, а при необходимости - круглосуточно. В случаях, когда в древесном питомнике требуется поливать культуру в одном отделении (посевном, школьном, маточном и т.д.), расход воды по оросительному каналу можно определить по формуле:

$$Q_H = \frac{f\ m\ 1000}{t\ 86400}, \qquad (131)$$

где $Q_н$ - расход воды, требуемой для полива (без учета потерь на испарение и фильтрацию) л/с; m - поливная норма, м^3/га; f - площадь полива, га; t - продолжительность полива, сут; 86400 - число секунд в сутках.

Если водой канала одновременно проводят орошение нескольких культур на полях в разных отделениях питомников, то общий расход воды для полива равен сумме расходов, требуемых для каждой культуры, и рассчитывается по формуле:

$$Q_1 = \frac{afm_1}{t_1\ 86{,}4}, \qquad Q_2 = \frac{bfm_2}{t_1\ 86{,}4}, \qquad (132)$$

где m_1 и m_2 - расчетные поливные нормы первой и второй орошаемых культур, м^3/га; f - общая орошаемая площадь, га; a и b - части общей площади орошаемых культур.

Произведения afm_1 и bfm_2 характеризуют необходимые объемы воды для орошения каждой культуры.

При орошении дождевальными установками, забирающими воду из оросителей, расчетные расходы определяют по расходам дождевальных устройств. Расход воды из канала равен сумме расходов дождевальных машин.

Для определения потребностей питомников в воде составляют графики поливов. При построении графиков на горизонтальной оси откладывают время полива (сроки с учетом продолжительности), по вертикальной - расход воды. Расходы, требуемые одновременно на разных полях, суммируют. Из приведенного графика видно, что в одни периоды требуется большой расход воды, в другие - малый. При планировании необходимо несколько смещать сроки поливов в периоды максимальных расходов на время с малыми расходами. Пример укомплектованного графика дан на рис. 97.

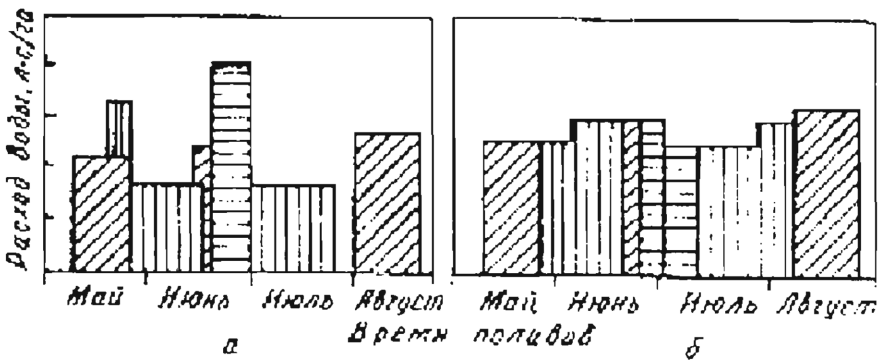


Рис. 97. Графики полива:
а- неукомплектованный; *б* - укомплектованный

При подаче воды по каналам с земляным руслом часть воды, забираемая в канал в головном сооружении, теряется на фильтрацию и испарение

$$Q_{бр} = Q_н + Q_h, \qquad (133)$$

где Q_h - потери воды из канала.

Для обеспечения подачи расчетного количества воды необходимо забирать воду с учетом потерь. Расчетный расход воды $Q_{бр}$ (брутто) определим по формуле:

$$Q_{бр} = Q_н \ \eta, \qquad (134)$$

где η - коэффициент полезного действия оросительной системы.

Величина потерь воды в зависимости от состояния каналов может достигать 30-40% и более. По расчетному расходу определяют ширину по дну канала и глубину воды аналогично расчету проводящих каналов осушительной сети.

Горизонт воды в магистральных распределительных каналах можно принимать ниже поверхности почвы, в оросителях при орошении дождеванием также допускается положение горизонта ниже поверхности почвы. При самотечном орошении и поливе по бороздам горизонты воды в оросительных каналах должны поддерживаться выше поверхности почвы. Поэтому оросительные каналы можно устраивать в выемке, полувыемке, полунасыпи, а при пересечении оросителями низин - в насыпи (рис. 98).

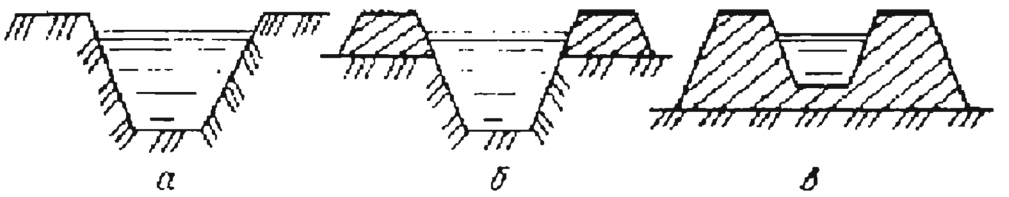


Рис. 98. Поперечный профиль оросительных каналов:
а - в выемке; *б* - в полувыемке; *в* - в насыпи

Потери воды существенно зависят от вида канала. Наибольшие потери происходят в каналах, прокладываемых в насыпи, наименьшие - в выемке.

Контрольные вопросы. 1. Различия коротко-, средне- и дальнеструйных дождевальных устройств, как регулируется дальность струи? 2. Чем оценивается качество дождя? 5. Какие дождевальные установки используют при выращивании посадочного материала в открытом грунте и в теплицах? 4. Преимущества и недостатки дождевания. 5. Особенности устройства лиманов. 6. Можно ли лиманное орошение использовать в лесных питомниках? 7. Чем отличается режим орошения питомников, садов и древесных насаждений? 8. Как рассчитать норму полива? Почему происходит потеря воды в оросительных каналах?

Глава 16
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Мероприятия по эксплуатации оросительных систем проводят для уменьшения потерь воды и обеспечения бесперебойной работы оросительных каналов и сооружений.

16.1. Потери воды из оросительных каналов

Снижение поступления воды на орошаемую площадь по сравнению с количеством воды, забираемой из источника орошения, в основном объясняется ее потерями на фильтрацию и испарение. При глубоком залегании грунтовых вод происходит свободная фильтрация через дно и откосы каналов. Потери на фильтрацию, м^3/с на 1 км длины канала, можно определить по формуле Н.Н.Павловского:

$$Q_ф = 0{,}0116\ K\ (B + 2h), \qquad (135)$$

где K - коэффициент фильтрации, м/сут; B - ширина канала поверху, м; h - глубина воды в канале, м.

Кроме потерь на фильтрацию происходят потери воды на испарение с водной поверхности каналов (м^3/с). Эти потери на 1 км длины канала можно определить по формуле:

$$E_в = 0{,}0116\ h\ e\ (\alpha + 2m), \qquad (136)$$

где h - глубина воды в канале, м; e - слой испарения, м/сут; α - отношение ширины к глубине воды в канале ($\alpha = b/h$); m - заложение откосов.

Потери на испарение невелики по сравнению с потерями на фильтрацию, однако в южных районах в жаркие дни они могут достигать 15-20 мм слоя воды. Суммарные потери могут достигать 50-60 % количества воды, забираемой от источника орошения. Особенно высоки потери при периодической подаче воды по каналам вследствие повышения фильтрации после пересыхания каналов.

16.2. Способы снижения фильтрации воды из каналов

Существуют два способа борьбы с фильтрацией воды из оросительных каналов: уменьшением водопроницаемости грунтов и устройством антифильтрациоаных одежд. Уменьшение водопроницаемости можно достигнуть уплотнением грунта, кольматацией, солонцеванием, оглеением и др.

Уплотнение грунтов производится при помощи специальных катков, трамбовочных и вибрационных машин. Уплотнение может снизить фильтрацию на 70-75 %, но может проводиться только для связных грунтов. Срок службы уплотненного слоя 2-4 года.

Кольматация грунтов достигается в процессе вмывания глинистых и илистых частиц в поры грунта канала под действие фильтрующейся воды. Глубина вмывания изменяется от 5 до 30 см. Вода со взвешенными частицами грунта движется по каналу. Скорость движения воды не должна превышать 0,2 м/с, мутность должна быть не более 5 кг на 1 $м^3$ воды. Кольматация снижает фильтрацию на 50-70 %. Срок действия 5-7 лет.

Солонцевание осуществляется путем заполнения канала стоячей водой, в которой растворяется поваренная соль из расчета 3-5 кг на 1 $м^2$ поверхности канала. При солонцевании ионы натрия, войдя в почвенно-поглощающий комплекс, образуют экран в верхних слоях почвогрунта, снижающий фильтрацию в 12-15 раз. Растрескивание грунта при просушке снижает экранирующее влияние, однако после солонцевания фильтрация понижается в 2-5 раз. Срок действия солонцевания 3-5 лет.

Оглеение дна и откосов каналов достигается созданием условий для глееобразования. Для этого на дно и откосы каналов ниже уровня воды укладывают слой растительных остатков (листьев, соломы, травы и пр.) толщиной 5-7 см. Сверху укладывают слой грунта мощностью 10-15 см. В растительной прослойке восстанавливаются процессы разложения органического вещества, происходит оглеение. Оглеенный горизонт резко снижает водопроницаемость.

Для уменьшения фильтрации применяют битумизацию: пропитывание откосов и дна каналов нефтью, битумным составом и пр.

При расположении каналов в грунтах с большой водопроницаемостью (крупнозернистые пески, галечники) или в условиях

недостатка воды применяют специальные антифильтрационные покрытия (облицовки) каналов.

Глиняные покрытия делают только на непрерывно действующих каналах. Толщина покрытий принимается равной 5-10 см. Для периодически действующих каналов применяется покрытие из смеси глины и соломы толщиной 4-6 см.

Глинобетонные покрытия готовят из смеси глины, песка, гравия (щебня) в следующем соотношении: глины - 20-50 %, песка - 40-45 %, гравия - 30-35 %, При толщине 10 см глинобетонные покрытия обеспечивают почти полную водонепроницаемость.

Бетонные и железобетонные облицовки (рис. 99, а) рекомендуют применять в условиях мало деформируемых грунтов. Толщина покрытий - 6-15 см. Для заполнения швов применяют асфальтовые мастики.

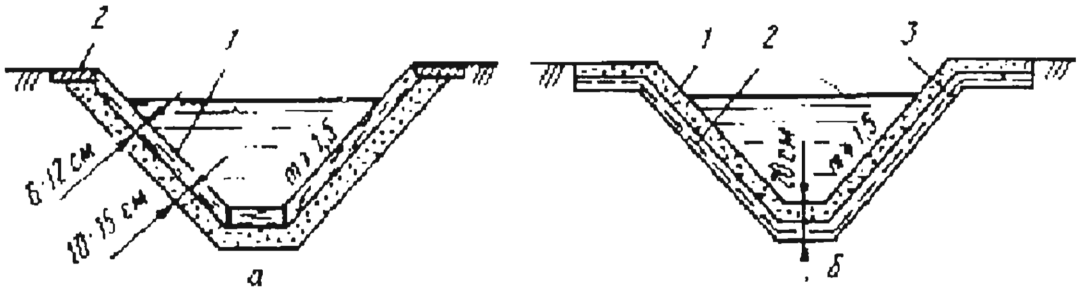


Рис. 99. Облицовка оросительных каналов:

а- бетоном: *1*- железобетонная облицовка; *2*- уплотненный грунт; *б* – асфальтобетоном: *1*- защитный слой из местного грунта; *2*- армированный слой асфальта; *3*- уплотненный грунт

Бетонные и железобетонные облицовки можно устраивать из сборных элементов.

Асфальтобетонные облицовки (рис. 99, б) делают армированными для большей прочности и трещиноустойчивости. Толщина их - 5-8 см. Такие облицовки укладывают на уплотненное основание или на песчано-гравийную подготовку толщиной 10-15 см. Асфальтобетонную облицовку можно выполнить в виде погребенной мембраны.

Пластмассовые покрытия изготавливают из полиэтиленовых пленок толщиной 0,1-0,2 мм. Пленки укладывают на дно и откосы каналов и покрывают защитным слоем из местного грунта (рис. 100). Срок службы пленок 3-4 года.

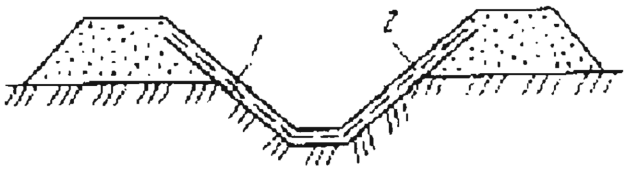


Рис. 100. Антифильтрационная одежда канала из полиэтиленовой пленки:
1- слой пленки; *2*- защитный слой грунта

При эксплуатации оросительных систем следует уделять необходимое внимание состоянию сооружений на оросительной сети.

При подаче воды бесплотинными водозаборными сооружениями основное внимание должно уделяться обеспечению забора необходимого количества воды, свободной от взвешенных наносов. Плотинные водозаборы требуют систематического надзора за состоянием сооружений, осадкой грунта, образованием трещин, а также выявления и ликвидации фильтрации воды в обход сооружений.

Служба эксплуатации оросительных систем организует постоянный надзор за соблюдением правильного водопользования, за сохранностью каналов и сооружений на них, обеспечивает круглосуточное наблюдение за оросительными системами во время паводков и половодий.

16.3. Засоление орошаемых земель и борьба с ним

Орошение земель сопровождается просачиванием некоторой части воды на участках орошения и оросительной сети в глубокие горизонты почвы, вызывая подъем грунтовых вод. Подъему их способствует превышение норм полива, а также возможные аварии оросительных систем. При подъеме грунтовых вод к поверхности может образовываться слой сплошного промачивания от поверхности почвы до зоны капиллярной каймы. Минерализованные грунтовые воды по капиллярам поступают к поверхности почвы, испаряются, увеличивая тем самым содержание солей в почвенном слое и вызывая засоление.

В целях борьбы с засолением необходимо обеспечивать сокращение фильтрационных потерь, не допускать превышения поливных норм, обеспечивать тщательную планировку поверхности орошаемой территории для исключения стока воды в понижения,

улучшать структуру почвы, предусматривать создание лесных полос для замедления перемещения воздушных потоков над орошаемыми полями, что снизит физическое испарение,

Засоление почв можно устранить их промывкой, основанной на удалении легкорастворимых солей с помощью пресной воды. Промывку можно проводить при глубоком залегании грунтовых вод или наличии на участках закрытого дренажа. При промывке на каждый гектар площади в два-три приема подают 2-3 тыс. $м^3$ воды. В первый прием почву насыщают водой до полной влагоемкости, затем после растворения солей через 4-5 дней подают остальную часть воды.

Для промывки мелиорируемую территорию разбивают на участки (чеки) по 0,15-0,25 га. Промывку проводят осенью или ранней весной, когда вода не требуется на орошение.

Контрольные вопросы. 1. Чем вызваны потери воды из оросительных каналов? 2. Как снизить потери воды из каналов? 3. Почему происходит засоление орошаемых земель?

Раздел IV

ПРОТИВОЭРОЗИОННЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Противоэрозионные мероприятия проводят в целях снижения вреда, вызываемого эрозией. Различают ветровую и водную эрозию. Виды эрозии подробно рассматриваются в курсе почвоведения (раздел «Основы геологии»), способы борьбы с ветровой эрозией - в курсе «Лесные мелиорации». Водная эрозия возникает в результате деятельности текучих вод. Наибольшее влияние на величину эрозии оказывают осадки и воды весеннего снеготаяния. Различают два вида эрозии, возникающей в результате стекания поверхностных вод, - смывание и размывание. В процессе смыва происходят разрушение и снос верхних слоев почвы. Борьба со смывом осуществляется с помощью агротехнических и лесомелиоративных мероприятий.

Атмосферные воды производят не только горизонтальный смыв. Вследствие неровности рельефа, различных углублений сток местами концентрируется в водные потоки и производит размыв, приводя к вертикальной эрозии и образованию оврагов. Овраги ежегодно повреждают сельскохозяйственные угодья, дороги, жилые и хозяйственные сооружения. Вынос большого количества продуктов размыва приводит к интенсивному заилению рек, прудов, водохранилищ. Борьба с оврагами невозможна без гидротехнических сооружений.

Глава 17
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ ПРИ БОРЬБЕ С ОВРАГАМИ

Эрозионные процессы и причины, их вызывающие, в разных частях зоны деятельности оврага различны. На водосборе эрозия вызывается концентрацией стока в определенных местах: в вершине оврага - вследствие размыва поверхности в промоинах, на дне оврага - за счет его углубления и разрушения берегов. Поэтому и противоэрозионные гидротехнические сооружения для разных зон различны.

17.1. Противоэрозионные мероприятия на водосборе

На водосборе обычно возводят простейшие противоэрозионные сооружения: валы-террасы, водозадерживающие валы Борткевича, распылители стока,

Валы-террасы размещают в направлении горизонталей местности. На участках с хорошо водопроницаемыми почвами концы валов поворачивают вверх по склону для задержания стекающей воды. На слабо водопроницаемых почвах валы делают прямыми без поворота вверх по склону. Высота валов - 30-40 см, ширина основания - не менее 8-12-кратной высоты вала. Во избежание разрушения вала в местах пересечения ложбин, где концентрируется больше воды, устраивают простейшие водосбросные сооружения в виде трубчатого или фашинного дренажа, используют и склоны, а при небольших расходах - залуженные водоотводы шириной 20-30 м в виде разрывов в валах. На этих работах применяют плуги при вспашке всвал или бульдозеры. На небольших склонах (до 8°) валы-террасы располагают под небольшим углом к горизонталям.

Водозадерживающие валы Борткевича впервые были применены в 1910 г. на Украине. Валы имеют вид дамбы трапецеидальной формы (рис. 101, а). Высота вала h - 0,8-2,5 м, ширина гребня - до 2,5 м, заложение откосов - 1,5-2,5. Мокрый откос делают более пологим, чем сухой. Грунт для насыпки дамбы берут непосредственно возле вала, образуя вдоль него выемку, являющуюся составной частью гидротехнического сооружения.

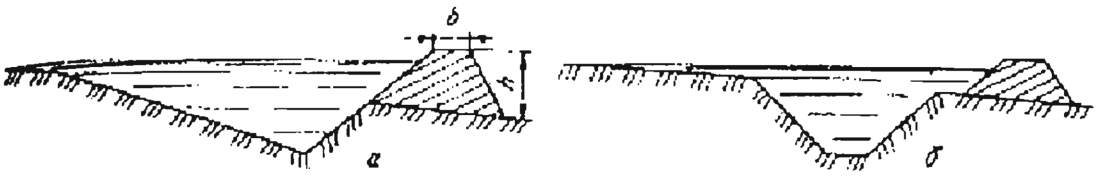


Рис. 101. Схема валов Борткевича

Для большей устойчивости дамбу целесообразно располагать на расстоянии от выемки 0,5-1 м (рис. 101, б). Валы размещают строго по горизонталям в несколько рядов. Концы вала выводят вверх по склону в виде шпоры. Для пропуска излишней воды в конечных частях валов делают водосливные отверстия. Параметры водозадерживающих валов и расстояния между ними определяют гидрологическим расчетом - см. формулы (93, 94, 120). Крутизна склона на участке размещения валов Борткевича не должна превышать 6°. Водозадерживающие валы применяют для приостановки роста оврагов.

Распылители стока являются простейшими гидротехническими сооружениями и предназначены для рассредоточения водного потока. Они представляют собой земляные валы, располагаемые по ложбинам под углом к водотоку (к горизонталям). Высота вала колеблется в пределах от 0,3 до 0,5 м в зависимости от глубины ложбин, уменьшаясь до нуля в сторону верхнего конца (вверх по склону). В поперечном сечении вал распылителя приобретает треугольную или трапецеидальную форму с заложением откосов не менее 1,0-1,5. Распылители размещают по ложбине через каждые 50-100 м.

Распылители стока сооружают также для борьбы с эрозией на неблагоустроенных грунтовых полевых дорогах под углом 40-50°. Высота валика не более 15 см с широким основанием.

17.2. Гидротехнические сооружения в вершине оврагов

При небольших расходах воды со скоростью течения до 1 м/с при малых размывах Всесоюзный агролесомелиоративный институт (ВНИАЛМИ) рекомендовал производить выполаживание оврага. Вершину оврага планируют с уклоном не более 5°. Дно образованной балки рыхлят, вносят удобрения, засевают многолетними

травами. В вершинах оврагов для предотвращения эрозии устраивают различные водосбросные сооружения, быстротоки, перепады и консольные водосбросы (рис. 102).

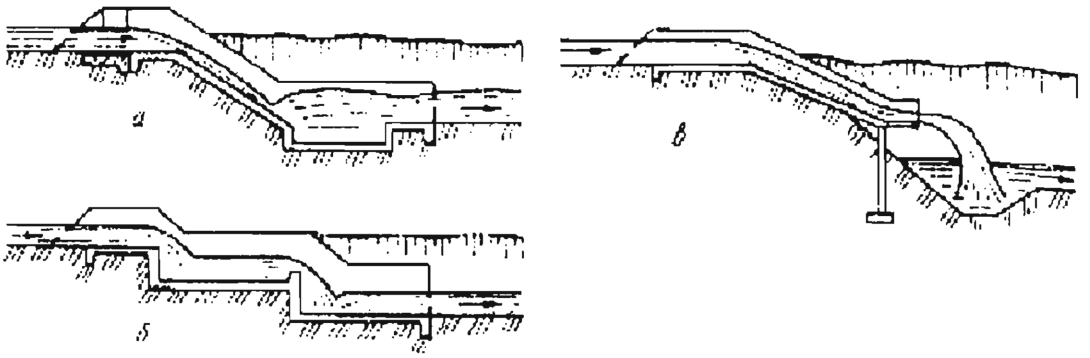


Рис. 102. Гидротехнические сооружения в вершине оврагов:
а- водосброс (быстроток); *б*- перепад; *в* - консоль

Б ы с т р о т о к и , применяемые при закреплении оврагов, можно устраивать по типу, описанному в гл. 6 и 14. Их изготавливают из сборных железобетонных конструкций (см. рис. 44). Как исключение можно применять деревянные быстротоки, при строительстве которых дно (основание) водослива (входная часть, сливной пол и водобойный колодец) и его стенки изготавливают из шпунтовых досок. Срок службы деревянных «вершинных» сооружений 10-12 лет.

При строительстве быстротока необходимо выемку грунта производить строго по профилю будущего водослива. Наличие пустот под дном и возле стенок водослива недопустимо. Ширину быстротока определяют гидравлическими расчетом.

Перепады устраивают при больших уклонах вершинной части оврага. Наиболее распространены ступенчатые перепады. Число ступеней зависит от величины перепада высот в вершине оврага. При высоте перепада до 5-4 м можно применять одноступенчатые, при большей высоте - многоступенчатые перепады. Высоту ступеней и их длину подбирают с таким расчетом, чтобы перепад с минимальным объемом земляных работ вписывался в профиль дна по оси оврага. Иногда применяют хворостяные перепады. Для этого в вершине оврага делают площадки уступами высотой 0,3 м, длиной ступени 1 м. На каждом уступе в траншеи устанавливают два плетня из свежесрезанного хвороста. Траншеи врезают в боковые откосы на 0,5-0,6 м. Площадки между плетнями заполняют смесью гли-

ны с навозом, тщательно утрамбовывая. Подготовленные ступени и откосы укрепляют дерном. Деревянные перепады делают также из шпунтовых досок. Наиболее надежными являются бетонные перепады из сборных конструкций (см. рис. 43).

При устройстве перепадов и быстротоков, недопустимы как пустоты под основанием сооружения, так и подсыпка грунта, поскольку при пропуске больших расходов вода, фильтрующаяся под основание, может вызвать частичное или полное разрушение водоспуска.

Консольные водосбросы обеспечивают пропуск воды, поступающей к вершине оврага через водосброс, смонтированный над дном оврага на опорах (рис. 102, в). Входная часть консольного водосброса врезается в вершину оврага, обеспечивая плавный переход воды с водосбора. Далее вода по быстротоку поступает на консоль. Для уменьшения энергии воды и разрушающего действия ее на грунт при падении конец лотка консоли расширяют, что рассредоточивает поток. Место падения воды укрепляют бетонными плитами или камнем.

В настоящее время в качестве вершинных гидротехнических сооружений применяют трубчатые водосбросные сооружения из сборных железобетонных конструкций различного типа.

17.3. Донные сооружения

Поступающая в овраги вода даже после закрепления вершины продолжает размыв и углубление оврага, что приводит к обрушению берегов и продолжению процесса эрозии. Для прекращения размыва возводят донные гидротехнические противоэрозионные сооружения. Наиболее распространенными из них являются запруды из различных материалов.

Плетневые запруды. При устройстве плетневых запруд (рис. 103) поперек дна оврага на расстоянии 100-150 м от вершины роют траншею глубиной и шириной 0,5 м, которую заглубляют в откосы оврага не менее чем на 0,7-1,0 м. Через 20-25 см друг от друга в траншею комлем вниз забивают ивовые колья диаметром 5-10 см. Установку кольев начинают от середины будущей запруды, при этом каждый последующий от центрального кол ставят выше на 2 см.

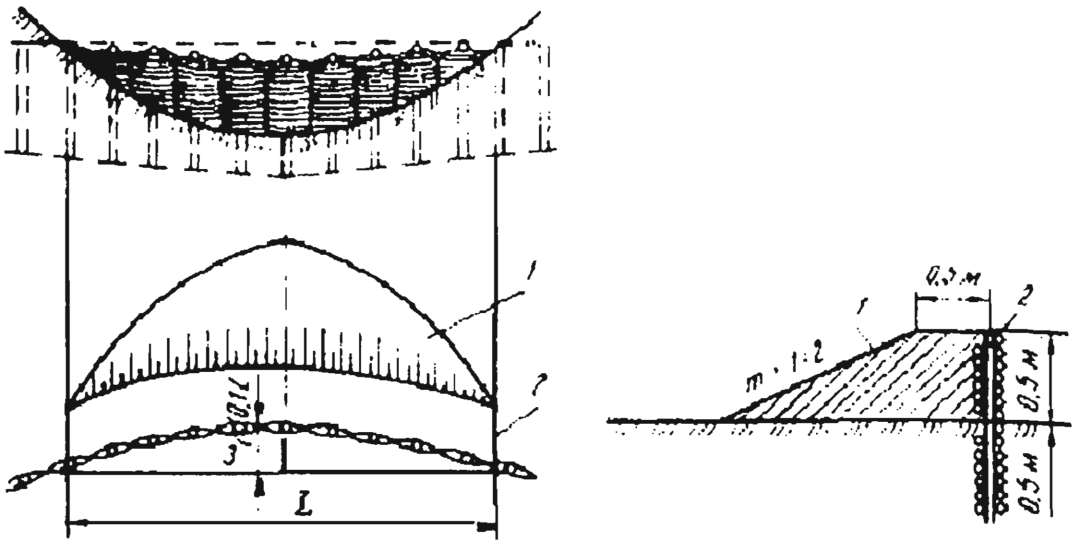


Рис. 103. Однорядная плетневая запруда

1- утрамбованный насыпной грунт; *2*- плетень; *3*- *0,1L* - величина прогиба

Тем самым средняя часть запруды оказывается ниже крайних частей для слива воды. Колья плотно оплетают, начиная со дна траншеи. Верхний ряд плетня закрепляют проволокой. Высота плетневых запруд - 0,5-0,7 м. Плетневые запруды могут устраиваться с одним или двумя плетнями, располагаемыми на расстоянии 0,5 м один от другого с поперечными связями рядов через 1,0-1,5 м.

Запруда должна быть несколько выпуклой в сторону текущей воды к вершине оврага. Стрела прогиба - 1/8-1/10 длины плотины. Для устранения подмыва запруды снизу устраивают водобойную площадку, заглубляя ее в грунт на 0,5 м при ширине вниз по склону, равной 1,5-2 высотам плотины. Водобойную площадку укрепляют хворостом, фашинами или наброской камней. Перед плетнем со стороны движения воды ставят дамбу с двойным откосом и шириной гребня 0,5 м.

Деревянные запруды. При их устройстве поперек оврага забивают ряд свай, к сваям крепят деревянные пластины или доски толщиной 50-60 мм. Перед утсановкой сваи и пластины просмаливают. Остальные элементы запруд сооружают также, как и элементы плетневых запруд.

Фашинные запруды. В траншею, проложенную как и при строительстве плетневых запруд, укладывают фашину, закрепляют кольями и тщательно утрамбовывают. Затем укладывают одна на другую две фашины, образуя стенку высотой 0,5-0,6 м. Сверху кла-

дут прерывистую фашину, образуя отверстие для пропуска воды. Концы фашин тщательно заделывают в откосы оврага. Со стороны устья оврага фашины закрепляют сваями. Остальные элементы запруд аналогичны описанным выше.

Срок службы плетневых запруд 5-6 лет, деревянных - 7-10 лет.

В последние годы начали создавать запруды из сборных железобетонных элементов - железобетонных пластин толщиной 10 см, устанавливаемых в столбах с контрфорсами. Высота плотин может достигать нескольких метров. В средней части запруд делают водослив с водобойным полом из таких же пластин, что и стенки запруды.

При наличии материала можно устраивать и каменные запруды.

Расстояние между запрудами можно определить по формуле:

$$l = h/i\,, \qquad (137)$$

где l - расстояние между запрудами, м; h - высота запруды, м; i - уклон дна оврага.

17.4. Эксплуатация противоэрозионных гидротехнических сооружений

Противоэрозионные гидротехнические сооружения с течением времени подвергаются разрушению под воздействием естественных и искусственных причин: разрушения строительного материала (особенно древесины), ошибок в проектировании и строительстве, катастрофических отклонений природных явлений от нормы (сильные паводки или морозы и др.), несоблюдения агротехнических приемов при освоении водосбора, подверженного эрозии и др. Для увеличения срока службы ведут регулярные наблюдения за состоянием сооружений, осадкой земляных плотин, дамб и валов, выявляют трещины, деформацию склонов и дна оврагов. Особенно сильные разрушения могут происходить при пропуске расходов периода половодья и паводков. Весной перед снеготаянием проводят очистку от снега водопропусков водозадерживающих валов, лотков отверстий водосбросных вершинных сооружений, проверяют состояние дамб перед запрудами донных сооружений.

В период пропуска вод половодья необходимо своевременно устранять подпоры, вызываемые посторонними предметами и мусором у входной части перепадов, быстротоков, консольных водосбросов и водопропусков водозадерживающих валов.

Перед весенним половодьем для своевременной ликвидации аварий заготавливают материалы для ремонта гидротехнических сооружений (талый грунт, солому, щебень, камень, необходимые инструменты и механизмы).

Контрольные вопросы. 1. С какой целью проводятся противоэрозионные мероприятия на водосборе? 2. Чем отличаются гидротехнические сооружения в вершине оврага от донных сооружений? 3. С какой целью проводится уход за гидротехническими сооружениями?

Глава 18
МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ БОРЬБЕ С ЭРОЗИЕЙ ГОРНЫХ СКЛОНОВ И БЕРЕГОВ РЕК

Эрозия в горах наносит громадный ущерб народному хозяйству не только горных, но и долинных территорий. Сильно пересеченный рельеф, большой базис эрозии, крутые склоны придают стекающим водам высокие скорости.

18.1. Гидротехнические сооружения на горных склонах

При выпадении ливневых дождей, интенсивном таянии снега или ледников возникают селевые потоки. Селевыми называются горные потоки, насыщенные твердым материалом (грунтом, щебнем, обломками скал и пр.). Селевый поток возникает быстро, действует короткое время, обладает громадной разрушительной силой. Для борьбы с эрозией в горах и селевыми потоками необходим комплекс противоэрозионных мероприятий. На горных склонах проводят террасирование, в руслах создают различного рода запруды и наносозадерживающие сооружения, на конусах выноса устраивают наносозадерживающие и селенаправляющие сооружения.

Террасирование горных склонов проводят при их крутизне до 35-40° путем создания ступенчатых террас по горизонталям. Ширина террасы колеблется от 2,2 до 4 м. При создании на склонах садов и виноградников ширину необходимо увеличивать до 6 м. Конструктивно половину террасы (полотна) врезают в склон (рис. 104), вторую половину создают из срезанного при этом насыпного грунта. Террасы размещают ступенчато. Полотно ступенчатых террас может быть горизонтальным или наклонным в сторону склона (прямой уклон) или в сторону горы (обратный уклон). Наиболее распространены террасы с горизонтальным полотном. Террасы с обратным уклоном (3-6°) создают на хорошо водопроницаемых почвах строго по горизонталям.

Террасы с прямым уклоном применяют в районах с повышенным количеством осадков и на почвогрунтах слабой водопроницаемости.

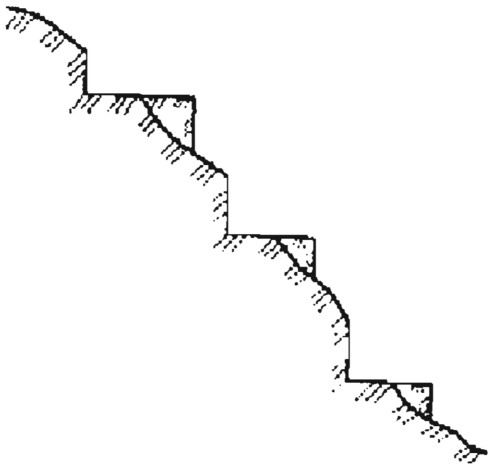


Рис. 104. Террасы на горном склоне

Расстояние между террасами зависит от крутизны склона и ширины полотна террасы. При устройстве террас между основанием насыпаемой части (нижней частью насыпи) и верхней кромкой выемки оставляют ненарушенной часть склона, принимаемую равной: при крутизне до 15° - 0,5; при 15-20° - 0,75; при 20-35° - 1,0 м; при 30° и более - 1,5-2,0 м.

Для устройства террас применяют террасеры Т-4, Т-4М, ТР-2А, ТС-2,5 или универсальные бульдозеры Д-553С и Д-493А.

В руслах горных рек создают различные русловые селезадерживающие гидротехнические сооружения. К ним относятся запруды, плотины и наносоуловители,

З а п р у д ы создают строительством глухих или решетчатых (сквозных) перегораживающих русло сооружений из камня, бетона, металла. Запруды размещают одиночно (барражи), группами в необходимых местах или размещая по всему руслу. Высота запруд колеблется от 5 до 10 м. Расстояние между запрудами в зависимости от мощности селя изменяется от 50-40 до 100-120 м. Маломощные сели, транспортирующие обломки размером менее 0,3-0,4 м, при расчетном уклоне 0,05 требуют сооружения плотин через 30-40 м. Мощные сели, глубиной потока более 2 м, транспортирующие обломки крупнее 0,6 м, требуют создания плотин через 100-120 м.

Запруды устраивают жесткими в виде плотин и гибкими (селезаградительными, разработанными ГрузНИИГиМ) в виде гибких двойных решеток из стальных канатов. Верхняя (первая) решетка выполняет функции селереза, вторая - заградителя. Во избежание бокового и донного размывов запруды заглубляют и прочно закреп-

ляют в неразмываемых грунтах. Гибкие запруды в нижних частях крепят к анкерам, в верхних - подвешивают на канатах.

Наносоуловители сооружают в местах выноса потока выше защищаемого объекта в виде расширенного русла или котлована. В наносоуловителе селевой поток гасит скорость, происходит седиментация (осаждение) твердых частиц и осветление воды.

В некоторых случаях создают специальные сооружения. При необходимости и возможности пропуска селевого потока над защищаемым объектом создают акведуки (селедуки): под ним в виде дюкера или в стороне от него (в виде канала при защите шоссейных и железных дорог, каналов, трубопроводов и пр.). В таких случаях устраивают селепропускные сооружения, выполняемые в виде каналов или лотков, обеспечивающих вывод возможного селевого потока за пределы защищаемого объекта.

18.2. Мероприятия при борьбе с эрозией берегов рек

Берега рек и горных склонов могут подвергаться разрушению вследствие действия грунтовых вод на высоких обрывистых берегах (оползней) и в результате механического действия потока (размыва) и волнобоя (абразий).

Под оползнями понимается медленное смещение (оползание) участков территории по наклонной поверхности. Наиболее часто оползни образуются на крутых склонах при наличии на некоторой глубине наклонного водоупорного слоя, обнажающегося на склоне. При выходе на водоупорный слой происходит постоянная суффозия (лат.-подкапывание) и вынос грунтовыми водами мельчайших частиц грунта. Равновесие вышерасположенных пород нарушается. Образуется трещина, которая постепенно расширяется, и отделенная ею часть склона оползает по водоупору вниз (рис. 105). Причиной оползня могут явиться следующие факторы: сильные дожди и интенсивное снеготаяние, увеличивающие увлажнение водоупорного слоя (контакта) и массу грунта выше контакта, подмыв склонов рекой или прибоем, перегрузка склонов тяжелыми строениями, подрезка склонов при строительстве и др. Размеры оползней могут быть очень большими, протяженностью вдоль склона в несколько километров

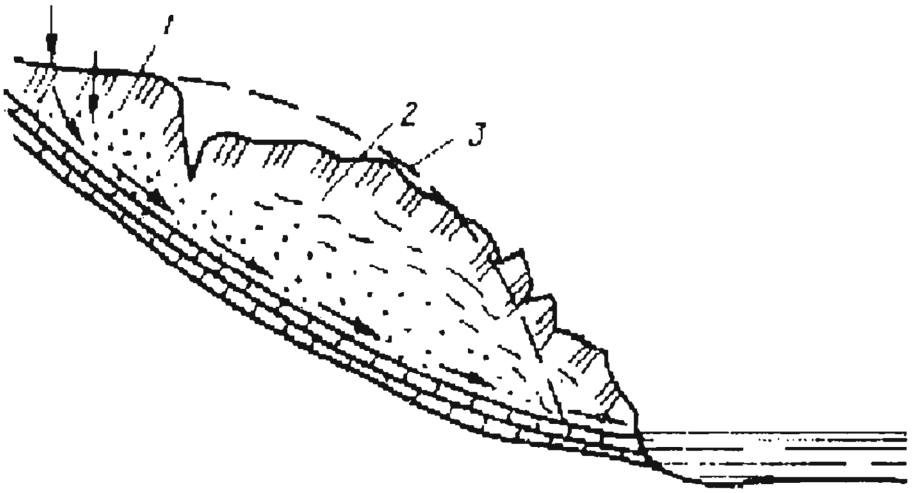


Рис. 105. Оползень:
1- коренной берег; *2*- оползневое тело; *3*- линия берега до оползня

при ширине в сотни метров. Вместе с участками суши оползают леса, сады, здания, железные и шоссейные дороги.

Оползни часто наблюдаются на берегах Волги в районе Ульяновска и Саратова, на Оке, Днепре, Доне и других реках, на побережье Черного моря, в горных районах Памира и Тянь-Шаня.

Для борьбы с оползнями необходимо регулировать водный режим.

Для перехвата и отвода поверхностных вод в зоне подпитки проводят водоотводные каналы и лотки. При неглубоком залегании водоупора применяют дренаж с фильтрующей засыпкой дренажных траншей с отводом воды за пределы опасного участка. Необходимо также обеспечивать правильное водопользование без сброса избыточной воды, соблюдение норм полива при орошении. Следует проводить выполаживание подножных склонов. Полезно проводить облесение оползнеопасных участков. В горных условиях хорошие результаты дает возведение каменных подпорных стенок в сочетании с дренажем.

На крупных реках происходит ежегодное смещение берегов вследствие их размыва. По данным Р.С.Чалова и Е.Й.Сахарова (по М.В.Рубцову), смещение берегов в половодье может достигать от 10-20 до 25-40 м. Это приводит к потере значительной территории, пригодной для интенсивного сельскохозяйственного производства и лесного хозяйства. По данным М.В.Рубцова *[28]* в таежной зоне европейского Севера длина размываемых речных берегов состав-

ляет примерно 24 тыс. км, площадь размываемой прибрежной территории - около 3 тыс. га.

При подтоплении пойменных земель для снижения уровней грунтовых вод можно использовать береговой дренаж (см. рис. 56). Во избежание размыва целесообразно закреплять берега защитными насаждениями или укреплять простейшими гидротехническими сооружениями в виде плетневых запруд, располагаемых вдоль берегов рек. Плетень целесообразнее устраивать из ив. После укоренения и разрастания ивы ускоренно формируется береговой вал.

При затоплении пойм во время разлива рек применяют обваловывание их путем возведения в пониженных местах пойм земляных дамб. В зависимости от характера использования защищаемых земель устраивают затопляемые или незатопляемые дамбы. При строительстве затопляемых дамб поймы защищают только от затопления летними паводками. Незатопляемые дамбы должны возводиться на 1-2 м выше уровня паводковых вод. Коэффициент мокрого откоса дамб со стороны реки принимают равным 2,5-3,5, сухого откоса - 2-3. Мокрый откос укрепляют камнем, одерновкой, фашинами; сухой засевают травами. При необходимости пойменные территории осушают изложенными выше способами (гл. 6, 7, 8).

Контрольные вопросы. 1. Что такое селевой поток? 2. Для чего проводят терасирование горных склонов? 5. Почему происходят оползни? 4. Способы борьбы с эрозией берегов рек.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Значение коэффициентов шероховатости для равнинных рек (по М.Ф. Скрибному)

Категория	Характеристика русла	Коэффициент шероховатости, $\sqrt{n}$
1	Прямолинейные участки канализированых рек в плотных грунтах с тонким слоем илистых отложений	0,020
2	Извилистые участки канализированых рек в плотных грунтах с тонким слоем илистых отложений	0,022
3	Естественные земляные русла в весьма благоприятных условиях, чистые и прямые, со спокойным течением	0,025
4	Галечные и гравийные русла в таких же условиях	0,030
5	Русла постоянных водотоков, преимущественно больших и средних рек в благоприятных условиях состояния ложа и течения воды	0,035
6	Сравнительно чистые русла постоянных водотоков в обычных условиях, извилистые с некоторыми неправильностями в направлении струй или же прямые, но с неправильностями в рельефе дна (отмели, промоины, местами камыши). Незаросшие ровные поймы	0,040
7	Русла больших и средних рек, значительно засоренные, извилистые и частично заросшие, каменистые с неспокойным течением. Поймы больших и средних рек, частично разработанные, покрытые нормальным количеством растительности (травы, кустарники)	0,050
8	Русла периодических водотоков, сильно засоренные и извилистые. Сравнительно заросшие, неровные, плохо разработанные поймы рек (промоины, кустарники, деревья, наличие заводей). Порожистые участки равнинных рек	0,065
9	Русла и поймы весьма значительно заросшие (со слабым течением), с большими глубокими промоинами	0,080
10	Реки болотного типа (заросли, кочки, во многих местах почти стоячая вода). Поймы лесистые, с очень большими мертвыми пространствами, с местными углублениями, озерами	0,140
11	Глухие поймы, сплошь лесные, таежного типа	0,200

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Значение коэффициента *C* по формуле акад. Н.Н. Павловского

$$C = \frac{1}{n} R^{y}, \quad где \quad y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{n} - 0{,}1$$

(для метрических мер)

R, м	*n*						
	0.025	0.030	0.035	0.040	0.050	0.080	0.010
0,10	22,4	17,3	13,8	11,2	8,1	3,7	2,3
0,12	23,5	18,3	14,7	12,1	8,2	4,1	2,7
0,14	24,5	19,1	15,4	12,8	9,3	4,5	3,0
0,16	25,4	19,9	16,1	13,4	10,0	4,8	3,3
0,18	26,2	20,6	16,8	14,0	10,4	5,2	3,6
0,20	26,9	21,3	17,4	14,5	10,9	5,4	3,8
0,22	27,6	21,9	17,9	15,0	11,25	5,8	4,1
0,24	28,3	22,5	18,5	15,5	11,8	6,0	4,3
0,26	28,8	23,0	18,9	16,0	12,2	6,4	4,5
0,28	29,4	23,5	19,4	16,4	12,5	6,6	4,8
0,30	29,9	24,0	19,9	16,8	12,8	6,8	5,0
0,35	31,1	25,1	20,9	17,8	13,55	7,5	5,5
0,40	32.2	26,0	21,8	18,6	14,4	8,0	5,9
0,45	33,1	26,9	22,6	19,4	15,0	8,5	6,4
0,50	34,4	27,8	23,4	20,1	15,6	8,9	6,8
0,55	34,8	28,5	24,0	20,7	16,2	9,4	7,2
0,60	35,5	29,2	24,7	21,3	16,7	9,8	7,6
0,65	36,2	29,8	25,3	21,9	17,2	10,25	7,9
0,70	36,9	30,4	25,8	22,4	17,7	10,6	8,3
0,75	37,5	30,9	26,35	22,9	18,2	10,98	8,6
0,80	38,0	31,5	26,8	23,4	18,5	11,3	8,9
0,85	38,4	31,8	27,15	23,8	18,8	11,5	9,1
0,90	38,9	32,2	27,6	24,1	19,3	11,9	9,5
0,95	39,5	32,75	28,1	24,6	19,7	12,2	9,75
1,00	40.0	33,3	28.6	25,0	20,0	12,5	10.0
1,10	40,9	34,1	29,3	25,7	20,6	13,0	10,5
1,20	41,6	34,8	30,0	26,3	21,2	13,5	10,9
1,30	42,3	35,5	30,6	26,9	21,75	13,95	11,35

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Отклонения ординат биномиальной кривой обеспеченности от середины при *Cv*=1

C_s	Обеспеченность *P*, %										
	1	3	5	10	25	50	75	90	95	97	99
0,2	2,47	1,96	1,7	1,3	0,65	-0,03	0,69	-1,26	-1,58	-1,79	-2,18
0,3	2,54	2,0	1,72	1,31	0,64	-0,05	-0,70	-1,24	-1,55	-1,75	-2,10
0,4	2,61	2,04	1,75	1,32	0, 63	-0,07	-0,71	-1,23	-1,52	-1,70	-2,03
0,5	2,68	2,08	1,77	1,33	0, 62	-0,08	-0,71	-1,22	-1,49	-1,66	-1,96
0,6	2,75	2,12	1,80	1,33	0, 61	-0,10	-0,72	-1,20	-1,45	-1,61	-1,88
0,7	2,82	2,15	1,82	1,34	0, 59	-0,12	-0,72	-1,18	-1,42	-1,57	-1,81
0,8	2,89	2,18	1,84	1,34	0, 58	-0,13	-0,73	-1,17	-1,38	-1,52	-1,74
0,9	2,96	2,22	1,86	1,34	0, 57	-0,15	-0,73	-1,15	-1,35	-1,47	-1,66
1,0	3,02	2,25	1,88	1,34	0, 55	-0,16	-0,73	-1,13	-1,32	-1,42	-1,59
1,1	3,09	2,28	1,89	1,34	0, 54	-0,18	-0,74	-1,10	-1,28	-1,38	-1,52
1,2	3,15	2,31	1,92	1,34	0, 52	-0,19	-0,74	-1,08	-1,24	-1,33	-1,45
1,3	3,21	2,34	1,94	1,34	0, 51	-0,21	-0,74	-1,06	-1,20	-1,28	-1,38
1,4	3,27	2,37	1,95	1,34	0, 49	-0,22	-0,73	-1,04	-1,17	-1,23	-1,32
1,5	3,33	2,39	1,96	1,33	0, 47	-0,24	-0,73	-1,02	-1,13	-1,19	-1,26
1,6	3,39	2,42	1,97	1,33	0, 46	-0,25	-0,73	-0,99	-1,10	-1,14	-1,20
1,7	3,44	2,44	1,98	1,32	0, 44	-0,27	-0,72	-0,97	-1,06	-1,10	-1,14
1,8	3,5	2,46	1,99	1,32	0, 42	-0,28	-0,72	-0,94	-1,02	-1,06	-1,09
1,9	3,55	2,49	2,0	1,31	0, 40	-0,29	-0,72	-0,92	-0,98	-1,01	-1,04
2,0	3,6	2,5	2,0	1,3	0, 39	-0,31	-0,71	-0,90	-0,95	-0,97	-0,99

Определение коэффициентов фильтрации способом восстановления воды в скважинах после откачки

1. Место определения (область, лесхоз, лесничество) _____

_____

2. Номер скважины и ее местонахождение (участок, квартал, выдел и пр.)_____

_____

3. Время проведения наблюдений (дата):

I откачка _____

II откачка _____

4. Фамилия, имя, отчество наблюдателя _____

_____

5. Глубина скважины T, см _____

6. Глубина стояния грунтовой воды h в см:

при I откачке _____

при II откачке _____

7. Глубина воды в скважине H в см:

при I откачке _____

при II откачке _____

8. Диаметр скважины d, см _____

9. Краткое описание почвенного разреза (по генетическим горизонтам)_____

_____

10. Записи подъема уровня воды в скважине:

№ наблюдений	I откачка			II откачка		
	расстояние от поверхности почвы до уровня воды, см	часы	минуты	расстояние от поверхности почвы до уровня воды, см	часы	минуты
1						
2						
3						
4						
.....						

11. Обработка результатов наблюдений:

№ наблюдений	I откачка			II откачка		
	секунды	$Y_n=Y_n-h$	$Lg(Y_t/Y_t)$	секунды	$Y_n=Y_n-h$	$Lg\ (Y_t/Y_t)$
1						
2						
3						
4						
.....						

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Основная характеристика типовых трубчатых переездов из сборного железобетона при нагрузках на основание меньше 80 кПа

Шифр сооружения	Диаметр трубы, см	Максимальный расход, $м^3/с$, в режиме		Заложение откосов	Земляные работы, $м^3$		Сборный железобетон, $м^3$	
		напорном	безнапорном		выемка	насыпь	блоки	плиты
ТП-60	60	0,9	0,3	1,5 2,0	486 509	450 455	4,3 4,8	2,0 2,6
ТП-80	80	1,4	0,7	1,5 2,0	486 509	442 447	5,0 5,6	2,0 2,6
ТП-100	100	2,3	1,3	1,5 2,0	493 519	428 433	6,3 6,8	3,6 3,8
ТП-120	120	3,3	2,2	1,5 2,0	618 638	537 544	11,5 11,5	2,9 3,8
ТП-150	150	5,1	3,7	1,5 2,0	920 1028	738 816	15,1 17,5	5,0 6,1
ТП-2х150	2х150	10,2	7,3	1,5 2,0	1116 1332	788 963	23,0 26,0	6,9 8,2

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Таблица классов бонитета осушенных сосновых насаждений

Давность осушения, лет	Класс бонитета	Высота в момент осушения, м																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		Высота в момент таксации, м																	
10	Ia	5,5	6,5	7,5	8,5	9,4	10,5	11,4	12,2	12,8	13,6	14,3	15,3	16,3	17,2	18,1	19,0	20,0	21,0
	I	4,8	5,9	7,0	7,9	8,8	9,8	10,8	11,6	12,3	13,1	13,9	14,8	15,8	16,7	17,5	18,4	19,2	20,1
	II	4,1	5,3	6,4	7,2	8,2	9,1	10,2	11,0	11,8	12,6	13,4	14,3	15,2	16,2	17,0	17,8	18,6	19,6
	III	3,4	4,7	5,7	6,6	7,6	8,5	9,5	10,4	11,3	12,0	12,8	13,7	14,7	15,6	16,5	17,3	18,2	19,3
	IV	2,6	4,2	5,2	5,9	6,9	7,9	8,9	9,8	10,8	11,6	12,4	13,2	14,2	15,2	16,0	16,7	17,8	18,8
	V	1,9	3,7	4,8	5,4	6,2	7,2	8,2	9,3	10,3	11,2	12,1	12,8	13,8	14,7	15,4	16,0	-	-
15	Ia	8,5	9,4	10,3	11,1	11,9	12,8	13,6	14,4	15,0	15,7	16,5	17,3	18,3	19,3	20,2	21,1	22,0	23,0
	I	6,8	7,9	8,9	9,8	10,7	11,7	12,6	13,4	14,2	15,0	15,8	16,6	17,5	18,3	19,0	19,8	20,6	21,4
	II	5,8	7,0	8,1	9,0	8,9	10,9	11,9	12,7	13,4	14,1	14,8	15,6	16,4	17,3	18,1	18,8	19,7	20,7
	III	4,9	6,2	7,2	8,1	9,0	9,9	10,7	11,5	12,2	13,0	13,9	14,8	15,7	16,6	17,5	18,3	19,2	20,1
	IV	4,0	5,4	6,4	7,2	8,0	8,7	9,7	10,7	11,6	12,5	13,3	14,0	15,0	16,0	16,7	17,5	18,4	19,2
	V	3,1	4,4	5,6	6,3	7,0	8,8	9,0	10,1	11,1	11,9	12,7	13,4	14,2	15,0	15,6	16,0	-	-
20	Ia	11,4	12,3	13,0	13,6	14,3	15,1	15,8	16,7	17,1	17,8	18,6	19,5	20,4	21,4	22,3	23,2	24,0	24,9
	I	8,4	9,8	10,7	11,6	12,3	13,6	14,4	15,3	16,0	16,9	17,6	18,4	19,2	20,0	20,3	21,3	22,0	22,7
	II	7,5	8,6	9,9	10,8	11,7	12,6	13,5	14,3	14,9	15,5	16,2	16,9	17,6	18,3	19,1	19,8	20,8	21,8
	III	6,3	7,5	8,8	9,5	10,3	11,2	11,8	12,6	13,2	14,0	14,8	15,8	16,7	17,6	18,4	19,3	20,1	20,9
	IV	5,3	6,8	7,8	8,6	9,0	9,5	10,4	11,5	12,4	13,3	14,1	14,9	15,8	16,7	17,4	18,2	18,9	19,5
	V	4,2	5,8	6,5	7,1	7,8	8,9	9,9	10,8	11,8	12,7	13,2	13,9	14,7	15,4	15,8	16,0	-	-

Давность осушения, лет	Класс бонитета	Высота в момент осушения, м																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		Высота в момент таксации, м																	
30	Ia	15,5	16,3	17,1	17,5	18,4	19,2	19,8	20,4	21,0	21,6	22,3	23,1	23,9	24,8	25,4	26,3	26,9	27,5
	I	13,1	14,0	14,9	15,6	16,1	17,0	17,7	18,5	19,1	19,8	20,5	21,2	21,8	22,4	22,9	23,4	24,1	24,7
	II	11,3	12,1	13,0	13,7	14,6	15,2	16,0	16,6	17,2	17,7	18,2	18,9	19,7	20,3	21,1	21,9	22,9	23,8
	III	9,3	10,3	11,2	11,8	12,4	13,2	13,9	14,6	15,2	16,0	16,8	17,7	18,5	19,3	20,1	20,8	21,4	22,1
	IV	7,8	8,8	9,6	10,3	11,0	11,7	12,4	13,1	13,9	14,8	15,6	16,3	17,1	17,8	18,5	19,1	19,6	20,1
	V	5,9	7,2	8,0	8,6	9,3	10,4	11,4	12,4	13,0	13,6	14,2	14,7	15,4	15,8	15,9	16,0	-	-
40	Ia	19,5	20,2	20,9	21,5	22,1	22,8	23,3	24,0	24,5	25,0	25,6	26,,3	26,9	27,5	28,0	28,5	29,0	29,5
	I	16,6	17,4	18,0	18,7	19,3	20,0	20,6	21,3	21,8	22,2	22,7	23,2	23,8	24,4	25,0	25,5	26,0	26,5
	II	14,2	14,8	15,6	16,3	16,8	17,4	18,0	18,6	19,2	19,7	20,3	21,0	21,7	22,4	23,1	23,8	24,6	25,2
	III	11,7	12,6	13,3	14,0	14,6	15,3	16,0	16,7	17,2	18,0	18,7	19,4	20,2	20,8	21,4	21,9	22,4	22,9
	IV	9,6	10,7	11,5	12,2	12,7	13,3	13,9	14,6	15,4	16,1	16,9	17,5	18,2	18,7	19,2	19,7	20,2	20,5
	V	7,5	8,6	9,4	10,2	11,0	12,0	12,6	13,3	14,0	14,4	14,9	15,3	15,8	15,9	16,0	16,0	-	-
50	Ia	23,0	23,6	24,3	24,8	25,8	25,9	26,3	26,8	27,2	27,6	28,0	28,4	28,9	29,4	30,0	30,4	30,8	31,3
	I	19,5	20,1	20,6	21,3	21,8	22,3	22,8	23,3	23,7	24,2	24,7	25,3	25,7	26,2	26,7	27,1	27,7	28,1
	II	16,6	17,1	17,7	18,3	18,8	19,4	20,2	20,3	21,2	21,7	22,3	22,9	23,5	24,1	24,7	25,2	25,8	26,3
	III	13,8	14,6	15,3	16,0	16,7	17,3	18,0	18,6	19,3	19,8	20,4	21,0	21,5	22,0	22,4	22,8	23,2	23,7
	IV	11,3	12,3	13,1	13,7	14,2	14,8	15,4	16,0	16,7	17,3	17,9	18,5	19,0	19,4	19,9	20,2	20,5	20,5
	V	9,0	10,2	11,0	11,7	12,4	13,0	13,6	14,2	14,7	15,1	15,4	15,8	16,0	16,0	16,0	16,0	-	-
60	Ia	26,0	26,5	27,0	27,4	27,8	28,2	28,8	28,8	29,2	29,6	30,0	30,4	30,8	31,3	31,7	32,1	32,4	32,7
	I	21,8	22,4	22,8	23,3	23,8	24,3	24,8	25,3	25,7	26,1	26,5	26,9	27,3	27,8	28,3	28,7	29,1	29,5
	II	18,6	19,1	19,7	20,3	20,8	21,4	22,0	22,6	23,1	23,6	24,1	24,6	25,0	25,5	25,9	26,3	26,8	27,3
	III	15,8	16,6	17,2	17,9	18,5	19,1	19,6	20,2	20,7	21,1	21,6	22,0	22,4	22,8	23,2	23,6	24,0	24,3
	IV	12,9	13,8	14,6	15,2	15,6	16,2	16,7	17,2	17,8	18,3	18,8	19,2	19,7	20,0	20,3	20,5	20,5	20,5
	V	10,5	11,6	12,3	12,8	13,3	14,0	14,4	14,9	15,3	15,6	15,8	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	-	-

Прирост в высоту с учетом класса текущего бонитета сосновых насаждений (с учетом таблиц хода роста А. В. Тюрина)

Высота, м	Прирост в высоту, м, за 10 лет по классам текущего бонитета						
	Va	V	IV	III	II	I	Ia
1	1,00	1,30	1,75	2,1	2,6	3,1	3,7
2	1,3	1,6	1,95	2,30	2,80	3,30	3,85
3	1,5	1,8	2,15	2,50	3,00	3,40	4,00
4	1,6	2,00	2,40	2,70	3,15	3,60	4,20
5	1,55	2,05	2,55	2,90	3,30	3,75	4,40
6	1,40	2,00	2,60	3,10	3,45	3,90	4,50
7	1,30	1,85	2,55	3,10	3,55	4,00	4,65
8	1,10	1,75	2,45	3,10	3,55	4,10	4,70
9	0,95	1,60	2,30	3,00	3,55	4,10	4,70
10	0,70	1,50	2,20	2,90	3,50	4,05	4,60
11	0,45	1,30	2,10	2,75	3,40	4,00	4,55
12	0,15	1,20	1,90	2,60	3,30	3,90	4,45
13	--	1,00	1,75	2,50	3,20	3,80	4,30
14	--	0,70	1,60	2,30	3,00	3,70	4,20
15	--	0,50	1,45	2,20	2,90	3,60	4,10
16	--	--	1,25	2,00	2,70	3,45	3,95
17	--	--	1,05	1,85	2,55	3,30	3,85
18	--	--	0,90	1,65	2,40	3,10	3,70
19	--	--	0,65	1,50	2,25	3,00	3,60
20	--	--	0,45	1,35	2,10	2,80	3,40
21	--	--	--	1,20	1,95	2,65	3,30
22	--	--	--	0,95	1,75	2,45	3,15
23	--	--	--	0,75	1,55	2,30	3,00
24	--	--	--	0,60	1,40	2,05	2,85
25	--	--	--	0,40	1,20	1,90	2,70
26	--	--	--	--	1,05	1,70	2,50
27	--	--	--	--	0,85	1,60	2,35
28	--	--	--	--	0,65	1,40	2,20
29	--	--	--	--	0,45	1,20	2,05
30	--	--	--	--	--	1,00	1,90
31	--	--	--	--	--	0,85	1,75

Классификация типов болот (по СПбНИИЛХ)

Местоположение	Поверхность	Обводнение	Растительность	Торфяная залежь	Аэрофотоизображение
1. Низинные (ефтрофные) травяные болота					
Поймы рек и приозерные понижения в условиях сильного подтопления грунтовыми и паводковыми водами, подножия склонов и уступов террас при выклинивании грунтовых вод; карстовые воронки	Обычно ровная или кочковатая	Постоянно обильное, вследствие чего в незначительных понижениях и между кочками длительное время стоит вода	Травяно-моховой ярус представлен различными видами осок (стройной, топяной, дернистой и т.д.), которые занимают ровные местоположения и образуют многочисленные кочки, преобладая на общем фоне растительности. Много болотного разнотравья (таволга, сабельник, сныть, гравилат и т.п.).Встречаются некоторые виды пушниц (преимущественно многоколосовые), тростник, хвощ болотный. Часто под покровом трав имеется сплошной или частичный ковер из гипновых мхов, встречаются и некоторые сфагновые S.squarrosum, S. subbicolor, S. subsecundum. Древесный ярус представлен небольшими разреженными деревьями и куртинами, встречаются ольха черная, ель, береза, различные виды ив, реже сосна	Обычно сложена тростниковыми, осоковыми или гипноосоковыми торфами высокой степени разложения. Мощность обычно невелика и редко превышает 2-3 м. Слой неразложившихся остатков в верхней части залежи не превышает 5-10 см.	Тон снимка при равномерном растительном покрове темно-серый, рисунок гладкий, зернистости нет. При наличии высокой и густой травянистой растительности (осоки) тон снимка светло-серый (за счет высокой отражательной способности покрова из осок). При низком растительном покрове (вахта, сабельник, гипновые и сфагновые мхи и пр.) аэроснимок может иметь пятнистый рисунок (за счет чередования различной степени обводненности, чем более влажен участок, тем более темным фоном он изображается). При наличии древесной растительности на снимках появляются зерна (кроны деревьев).

Местоположение	Поверхность	Обводнение	Растительность	Торфяная залежь	Аэрофотоизображение
2. Богатые переходные (ефтрофно-мезотрофные) травяно-сфагновые болота					
Окрайки моховых комплексных болотных массивов или массивы сточных впадин	Более или менее ровная поверхность с относительно небольшим количеством кочек	Слабее по сравнению с низинными болотами, но в весенне-осенний период, а также после продолжительных дождей в понижениях между кочками стоит вода, а в остальное время вода легко выдавливается под ногой человека	В травяном ярусе фон образуют осоки (прежде всего корневищные); много хвоща, вахты, белокрыльника. Встречаются некоторые кустарнички. В моховом ярусе господствуют сфагновые мхи. Присутствуют также гипновые, а иногда некоторые представители рода *Polytrichum*. В древесном ярусе встречаются ель, береза, сосна, некоторые виды ивы	Мощность сфагнового очеса, а также слаборазложившегося торфа не превышает 20-30 см. Ниже обычно залегает осоково-сфагновый торф средней и высокой степени разложения, который, в свою очередь, покоится на ефтрофных органических отложениях. Общая мощность торфа колеблется в широких пределах: от нескольких сантиметров до 2-3 м.	Тон снимка серый, однородный, с единичными зернами (кроны деревьев). При наличии воды между кочками на общем сером фоне видны мелкие серые и черные точки или пятна

Местоположение	Поверхность	Обводнение	Растительность	Торфяная залежь	Аэрофотоизображение
3. Бедные переходные (мезотрофные) травяно-кустарничково-сфагновые болота					
Дренированные окрайки моховых комплексных болотных массивов или самостоятельные массивы во впадинах пологих склонов и сточных впадинах	Поверхность часто неровная. Не менее 10-15% ее занимают осоковые или пушицевые кочки, а также моховые подушки. Встречаются болота с ровной поверхностью	Обводнение гораздо менее значительно, чем на богатых переходных болотах, но сразу же после схода снега и глубокой осенью местами на поверхности на сравнительно короткий период задерживается вода. В то же время, если участок бедного переходного болота расположен в прибрежной полосе болотного массива, возможно сильное переувлажнение его и в середине лета за счет поступления воды с выше расположенной территории и с минеральных берегов, из-за чего окрайки бывают труднопроходимы	Травяно-моховой ярус. На сравнительно ровных участках преобладают некоторые виды осок (преимущественно осока волосистоплодная) . Заметную роль играют хвощи, вахта, тростник, морошка, росянка. Кочки образованы главным образом пушицей влагалищной, подбелом, клюквой . Из мхов на ровных местоположениях преобладают *S. aptculatus, S.angustifolium, Polytrichum stricturm*, подушки занимают главным образом *S.magellanicum*, иногда встречается *S. fuscum*. Древесный ярус бывает представлен сосной и березой	Мощность слаборазложившихся растительных остатков 0,3 м (иногда достигает 1,5 м). Верхние слои торфа переходного типа (большей частью осоко-сфагновые) слабой степени разложения. Общая мощность торфа достигает 2-4 м	Тон снимка серый с белыми пятнами (моховые подушки). При большой переувлажненности темно-серый. При наличии деревьев видна зернистость (коры)

Местоположение	Поверхность	Обводнение	Растительность	Торфяная залежь	Аэрофотоизображение
4. Верховые (мезотрофно-олиготрофные) пушицево-сфагновые болота					
Окрайки верховых грядово-мочажинных болот, отдельные участки массивных пологих склонов, небольшие болота пологих склонов	Поверхность неровная с большим количеством пушицевых кочек и пушицево-кустарничково-сфагновых подушек	Обводнение довольно обильное, весной и осенью в микропонижениях стоит вода, а в летний период она легко выдавливается под ногой человека	Травяно-моховой ярус. Основной фон составляет пушица влагалищная, которая вместе с подбелом, кассандрой и багульником образуют микроповышения -подушки, где в моховом ярусе господствуют ярко выраженные олиготрофные мхи (*S. magellanicum, S. fuscum*). Она же вместе с подбелом, клюквой и сфагновыми мхами *S. angustifolium , S. balticum* занимает сравнительно ровные и пониженные местоположения. В древесном ярусе встречаются сосна и очень редко - береза	Верхние слои залежи относятся к верховому типу. Слой сфагнового очеса и практически не разложившихся растительных остатков имеет мощность 0,3-0,5 м и более. Под ним обычно находятся слаборазложившийся верховой торф, хотя встречаются участки, где на глубине 0,3-0,5 м залегают хорошо разложившиеся переходные и даже низинные торфы. Общая мощность торфа колеблется в широких пределах и может достигать нескольких метров	При высоком травяном покрове пушицы тон снимка светло-серый, почти белый, ровный. Внутризалежный сток изображается узкими серыми полосами. Переувлажненные участки темно-серые

Местоположение	Поверхность	Обводнение	Растительность	Торфяная залежь	Аэрофотоизображение
5. Верховые (олиготрофные) кустарничково-сфагновые болота					
Нижние части склонов шапок грядово-озерково-мочажинных болот, отдельные участки болотных массивов пологих склонов	Поверхность часто неровная, до половины площади бывает занята микроповышениями- подушками различных размеров	Увлажнение более умеренное, чем на пушицево-сфагновых болотах	Травяно-сфагновый ярус. Типичен сплошной сфагновый покров, образованный, как и на пушицево-сфагновых болотах, олиготрофными видами. В травяном ярусе встречаются морошка, пушица, однако последняя не создает здесь фона, как это имеет место в предыдущем случае. Кустарничковый покров развит очень пышно. Много подбела, багульника, кассандры, голубики, клюквы, вереска. Древесный ярус представлен только сосной, размещающейся исключительно по микроповышениям	Мощный слой неразложив-шихся раститель-ных остатков, ино-гда более 1 м, под ним залегает слаборазложившийся сфагновый верховой торф. Общая мощность залежи обычно составляет несколько метров	На светло-сером фоне (мхи) наблюдается темно-серый мелкосетчатый рисунок (кустарничики), который четко виден через стереоскоп. На фоне кустарничков выделяются более крупные зерна

Местоположение	Поверхность	Обводнение	Растительность	Торфяная залежь	Аэрофотоизображение
6. Верховые (дистрофные) грядово-озерково-мочажинные болота					
Наиболее возвышенные участки болотных массивов класса замкнутых впадин и класса пологих склонов (плоские или выпуклые вершины и склоны шапок)	Микроповышения гряды имеют вытянутую форму и размещаются поперек склонов. Между грядами расположены тонкие участки-мочажины	Гряды увлажнены слабо. В мочажинах постоянно наблюдается переувлажнение. В наиболее мокрых мочажинах вода стоит на поверхности, образуя озерки	Гряды заселяют *S. fuscum* и болотные кустарнички (подбел, кассандра, клюква, вереск). В относительно умеренно увлажненных мочажинах преобладают *S. balticum*, пушница, подбел клюква, в сильно увлажненных - *S. duseni*, реже *S. cuspidatum*. Из трав господствует шейхцерия болотная. В пониженных элементах озерково-мочажинного комплекса растительность отсутствует. Из древесных пород по грядам встречается сосна крайне угнетенной формы	Верхние слои залежи образованы неразложившимися остатками сфагновых мхов и кустарничков, на выпуклых моховиках мощность таких отложений достигает нескольких метров. Мочажины труднопроходимы или непроходимы	Рисунок полосчатый. Полосчатость концентрическая или дугообразно (параллельно) вытянутая. Узкие светлые полосы с зернистым рисунком соответствуют грядам с низкорослой сосной; темные, широкие-мочажинам, черные различных размеров и форм - озерки

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Паспорт осушительной системы

Министерство лесного хозяйства России _____

_____

Управление лесного хозяйства _____

Лесхоз (леспромхоз) _____

Лесничество _____

Паспорт осушительной системы, построенной по проекту (техноработочему проекту) гидролесомелиорации № _____

_____

наименование проекта

в кварталах _____

1. Область (край) _____
2. Район _____
3. Бассейн реки (озера) _____
4. Водоприемник _____
5. Время производства проектно-изыскательских работ _____

_____

6. Время производства осушительных работ _____

_____

7. Общая площадь гидролесомелиорации _____
8. Распределение гидролесомелиоративного фонда, %, по группам эффективности: I_____ ; II _____ ; III _____; IV _____
9. Доля хвойных пород в лесопокрытой площади гидролесомелиоративного фонда, %:
10. Стоимость строительства системы (с дорогами, без дорог):
    проектная, тыс. руб _____
    фактическая, тыс. руб _____
11. Вид гидромелиорации (основная, малая) _____
12. Способ производства осушительных работ _____
13. Название строительной организации _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Основные характеристики осушительной системы

№ п/п	Наименование	Основные показатели лесоосушительной системы 1.01.1992 г., 1.01.1993 г. и т.д.
1	Площадь осушенного гидролесомелиоративного фонда, га В том числе: покрытая лесом: хвойным лиственным не покрытая лесом: вырубки гари болота: верховые переходные низинные сенокосы: окультуренные неокультуренные с двусторонним регулированием водного режима	
2	Протяженность отрегулированных водоприемников, км	
3	Протяженность каналов, км В том числе: проводящих (магистрали, собиратели) регулирующих (осушители) оградительных нагорных ловчих	
4	Степень канализованности осушенного гидролесомелиоративного фонда, м/га	
5	Протяженность дорожной сети, км В том числе: дорог, совмещенных с каналами эксплуатационных проездов вдоль каналов	
6	Объем землеройных работ, тыс. $м^3$ В том числе на 1 га, $м^3$	
7	Объем трассоподготовительных работ, га В том числе: разрубка трасс корчевка трасс	

№ п/п	Наименование	Основные показатели лесоосушительной системы
		1.01.1992 г., 1.01.1993 г. и т.д.
8	Сооружения на осушительной системе, шт В том числе: мосты трубопереезды пешеходные мостики регуляторы перепады быстротоки крепления, $м^2$	
9	Затраты по уходу и содержанию осушительной системы, тыс. руб. В том числе на капремонт	
10	Затраты на сооружение новых каналов, дорог и сооружений на осушительной системе, тыс. руб.	
11	Объем выполненных работ при эксплуатации осушительной системы: ремонт каналов, км прокладка новых каналов, км ремонт эксплуатационных проездов и дорог, км прокладка новых эксплуатационных проездов и дорог, км ремонт сооружений, шт строительство новых сооружений, шт	
12	Объем выполненных работ в порядке ведения лесного хозяйства на осушенных землях при эксплуатации гидролесомелиоративной сети, га: рубка леса, в том числе “по состоянию” создание лесных культур окультуривание сенокосов удобрение осушенных земель	

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Техническая характеристика дождевальных машин и установок

Показатели	Короткоструйные		Среднеструйные		Дальнеструйные	
	ДДА-100 М	ДДА-100 МА	ДКШ-64 "Волжанка"	КИ-150-1А	ДДН-70	ДДН-100
Расход воды, с/с	100	130	64	40-47	65	115
Напор воды, м	23-30	37	40	92-87	52-55	65
Способ забора воды	Из открытой или закрытой сети		Из закрытой напорной сети		Из открытой сети	
Необходимая глубина воды в канале, м	0,25-0,30	0,25-0,30	-	-	0,5	0,5
Расстояние между смежными позициями, м	120	120	18	35	110-55	150-75
Ширина захвата, м	120	120	800	147	70	85
Расстояние между каналами и трубопроводами, м	120	120	800	-	100	120
Площадь полива с одной позиции, га	-	-	1,44	0,51-0,53	0,94-0,47	18-1,63
Производительность за смену, га, при m=300 $м^3$/га	6,40	11,10	6,3	-	4,94	7,68
Производительность за час рабочего времени, га, при m=300 $м^3$/га	1,0	1,6	0,767	0,57	0,78	1,2-1,02
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	2,4-3,0	2,5	0,267	0,28	0,41	0,31-0,38
Допустимые уклоны местности	0,005	0,005	0,02	Не лими-тируются	0,015	-

Показатели	Короткоструйные		Среднеструйные		Дальнеструйные	
	ДДА-100 М	ДДА-100 МА	ДКШ-64 "Волжанка"	КИ-150-1А	ДДН-70	ДДН-100
Число одновременно работающих дождевальных аппаратов	52	54	64	8	1	1
Высота трубопровода над поверхностью земли, м	1,5	1,5	0,89	0,4	-	-
Режим работы	Круглые сутки		Световой день		Круглые сутки	
Скорость передвижения, км/ч	0,411	1,03	9,05	Стацио-нар	10	5-6
Агрегатируется с трактором	ДТ-5А	ДТ-75А	-	-	ДТ-75 ДТ-75А	Т-150 Т-4А Т-150К
Масса, кг	4160	4240	5465	5370	650	700
Стоимость, руб.(1991г.)	7542	6500	8932	11610	933	-

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Быков В.Д., Васильев А.В.* Гидрометрия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – 499 с.
2. *Вомперский С.Э.* Биологические основы эффективности лесоосушения. – М.: Наука, 1968. –870 с.
3. *Вомперский С.Э., Сирин А.А., Глухов А.И.* Формирование и режим стока при гидролесомелиорации. – М.: Наука, 1988. - 168 с.
4. *Докучаев В.В.* По вопросу об осушении болот вообще и в частности об осушении Полесья // Труды С.-Петербургского общества естествоиспытателей. – СПб, 1972. - т. VI. – с.131-185.
5. *Дубах А.Д.* Очерки гидрологии болот. - Л., 1963. – 120 с.
6. *Думбляускас А.М.* Осушение болот под садами. – М.: Колос, 1976. – 120 с.
7. *Елпатьевский М.М., Елпатьевский М.П., Константинов В.К.* Осушение и освоение заболоченных лесных земель. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 229 с.
8. *Залитис П.П.* Основы рационального осушения в Латвийской ССР. – Рига: Зинатне, 1983. – 228 с.
9. *Иванов К.Е.* Водообмен в болотных ландшафтах. - Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 280 с.
10. *Иванов К.Е.* Гидрология болот. – Л.: Гидрометеоиздат. - 1953. - 296 с.
11. *Костяков А.Н.* Основы мелиорации. – М.: Сельхозиздат, 1960. – 622 с.
12. *Кащеев А.Л.* Заболачивание лесов и борьба с ним. – М.: Гослесбумиздат, 1953.
13. *Лебедев А.Ф.* Почвенные и грунтовые воды. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1936. – 314 с.
14. *Лопатин В.Д.* О гидрологическом значении верховых болот // Вести ЛГУ.– 1949. - № 2. – С. 37-39.
15. *Лундин К.П.* Водные свойства торфяной залежи. – М.: Урожай, 1964. – 210 с.
16. Лиманное орошение / Под ред. Б.А. Шумакова. – М.: Колос, 1970. – 208 с.
17. *Маслов Б.С., Шерлинг Э. А., Седова В.К.* О влиянии осушительных мелиораций на грунтовые воды и речной сток // Гидротехника и мелиорация. - 1973. - № 5. – С. 66-71.
18. Малые реки. Вопросы географии. - М.: Мысль, 1981.- Вып. 118. –222 с.
19. *Орлов А.Я., Ошельков С.П.* Почвенная экология сосны. – М.: Наука, 1971. – 323 с.
20. *Оппоков Е.В.* О гидрологической роли болот. -- СПб., 1909.
21. *Пахучий В.В.* Факторы продуктивности осушенных насаждений Европейского Северо-Востока. – Сыктывкар: Изд. АН СССР, 1991.
22. *Поясов Н.П.* К вопросу об аэробных и анаэробных условиях в почве по данным состава почвенного воздуха // Вопросы агрономической физики. - Л.: Физматгиз, 1959. – С. 257-263.

23. Писарьков Х.А., Давыдов П.И. Влияние глубины грунтовых вод на производительность лесных земель // Труды ЛТА. - 1956.- № 73.– С.29-47.

24. Писарьков Х.А., Тимофеев А.Ф., Бабиков Б.В. Гидротехнические мелиорации лесных земель. – М.: Лесная промышленность, 1978.–246 с.

25. Пятецкий Г.Е. Осушение лесных земель Карелии. – Петрозаводск: Карел. книж. изд-во, 1963. – 90 с.

26. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – 663 с.

27. Романов В.В. Гидрофизика болот. – Л.: Гидрометеоиздат, 1961. – 360 с.

28. Рубцов М.В. Защитная функция лесов вдоль таежных рек. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 192 с.

29. Руководство по осушению лесных земель. - М.: 1985-1986. - Ч. I-III.

30. Сабо Е.Д., Иванов Ю.Н., Шатило Д.А. Справочник гидролесомелиоратора. - М.: Лесная промышленность, 1891. – 200 с.

31. Смоляк Л.П. Болотные леса и их мелиорация. – Минск, 1969. – 209 с.

32. Сукачев В.Н. Болота. Их образование и развитие // Избр. тр. – Л.: Изд. АН СССР, 1973. - Т. II. – С. 97-193.

33. Федоров С.Ф. Исследование элементов водного баланса в лесной зоне европейской территории СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 264 с.

34. Хотянович А.В. О характере влияния застойных почвенных грунтовых вод на обмен веществ сосны // Лесной журнал. - 1969. - № 3. – С. 34-39.

35. Цепляев В.П. Леса СССР. – М.: Сельхозиздат, 1961.- 609 с.

36. Чиндяев А.С. Лесоводственная эффективность осушения болотных лесов среднего Урала. – Екатеринбург: УГЛТА, 1995.- 185 с.

37. Основные нормативные материалы:

А. Нормы проектирования сооружений мелиоративных систем - СНиП II-51-74.

Б. Правила производства и приемки работ - СНиП III-45-76.

В. Качество воды - ГОСТ 2874-82.

Г. Потребление (расход) воды на одного жителя - СНиП II-30-76.

Д. Расход воды на пожаротушение - СНиП II-30-76.

Е. Гончарный дренаж - ГОСТ 8411-74.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Акведук 222
Аэрация 68-69

Бассейн (синоним - водосборная площадь) 11
Берма 115
Болото 73
- верховое 83
- переходное 83
- низинное 83
Бонитирование насаждений 166
Борозды поливные 234-236
Бровка 115
Быстроток 129-130, 223

Валы-террасы 254
Валы Борткевича 255
Виды заболачивания 76-78
Виды движения воды 28-29
Влагооборот 9-10
Вероятность превышения 54-55
Водозаборные сооружения 219
- бесплотинные 219
- плотинные 219
- с помощью насосных станций 219
Водное питание (тип) 72
- атмосферное 72
- грунтовое 72-73
- грунтово-напорное 74
- намывное 74-75
- смешанное 75
Водосливные сооружения 38-39
Водное питание рек 41-44
Водоприемник 146
Водосливы 38-39, 195-196
Водоспуск 197
Водомерные посты 45-46
Временно избыточно увлажненные земли 75
Водный баланс 10-11
Водопоглощающий колодец 140-141
Водохозяйственный расчет пруда 192

Гидравлический уклон 32, 62
- радиус 29-30
- расчет 62
Гидрология 9, 86
Гидрология болот 86
Гидрометрия 9
Гидравлический расчет 124-125
Гидрологический пост 44-46
Гидрометрическая вертушка 52-53
Гидромелиоративный фонд 91
Гидростатическое давление 26-27
Гидрологический год 11
Гидрологический режим 41-44
Глубина каналов 113
Горизонт бытовых вод 48

Дренаж 131-135
Дождевание 225-227
- мелкодисперсное 235
- синхронно-импульсное 236
- капельное 236-237
Дождевальные устройства 227-234
Дюкер 223

Живое сечение 30

Заболачивание 76-78
Заболоченные земли 75-76

Закон Дарси 61-63
Заложение откоса 115-119
Запруды 257-259
Защитные каналы (оградительные) 105

Земляные плотины 189-190
- однородные 190-191
- с ядром 191
- с пластичным экраном 191
- с дренажным устройством 191
Зольность 86, 154-155
Зональные коэффициенты 122-124

Изыскания 182-185
Испарение 14-19
- физическое 14-16
- суммарное 14-16
Испаряемость 18

Кавальер 115
Каналы регулирующие 103-105
- оросительные 221-222
- водосбросные 224
Категории осушаемых земель 90-91
Каптаж 216-217
Качество дождя 226
Кольматаж 139
Коэффициент фильтрации 63-67
- откоса 115-117
- стока 22
Кривая депрессии 94-95
- обеспеченности 54-58
Круговорот воды 9-10

Лесокультурное освоение 167-168
Лиманы 237-238
Ловчие каналы 23-25, 105

Магистральные каналы 105
Межень 43
Мелиоративный кадастр 172-173
Методы определения стока 21-22
- осушения 92-93
Модуль стока 21
- расчетный 120-124

Нагорные каналы 104-105
Напор 30-32, 62
Незаиляющая скорость 111
Норма осушения 97
- оросительная 241
- полива 241-242

Обеспеченность 54-58
Объекты осушения 90-92
Объем стока 21
Оградительные каналы 105
Оползень 263-264
Осадка торфа 113-115
Осушители 103-105
Осушительная система 103
Откачка воды из колодцев 141
Откос канала 115-119

Паводок 43
Паспорт осушительной системы 172
Перепады 129, 223, 256
Полевая влагоемкость 61
Поливной режим 243
Половодье 43
Польдер 140
Проводящая сеть 103

Размывающая скорость 111
Распылители стока 255

Расстояние между каналами, методы расчета:
- гидрологический 106
- лесоводственный 107
- технико-экономический 107
- комплексный 107
Расчетный модуль стока 120-124
Расход воды 49
Регулирующая сеть 103
Режим уровней 47-48
- расходов 49
Родники нисходящие 205
- восходящие 205

Селевой поток 261
Собиратели 105
Солонцевание 249
Смоченный периметр 30, 52
Сток 19
Слой стока 21
Стоковые площадки 22
Суммарное испарение 14

Тальвеговые каналы 105
Твердый сток 58
Террасирование 261
Трубопереезды 126-127
Тип водного питания 72-75

Уклоны дна каналов 111-112
Устойчивость к затоплению 70-71
- откосов 117
- древостоев 163-164

Факторы стока 19-20
Фильтрация 61
Формула Шези 32-33

Характеристики стока 21-22

Шлюз-регулятор 128

Элементы водного баланса 12
- осадки 12-13
- испарение 14-16
- сток 19
Эксплуатация осушительных систем 172
- надзор 173
- уход 173
- текущий ремонт 173
- капитальный ремонт 173-174
- аварийный ремонт 174
Эффективность осушения:
- лесоводственная 153-156
- общехозяйственная 153

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Введение 5

Раздел I. **ГИДРОЛОГИЯ, ГИДРОМЕТРИЯ, ГИДРАВЛИКА** 9

Глава I. ГИДРОЛОГИЯ СУШИ ....–
1.1. Водные ресурсы земли и их формирование ....–
1.2. Элементы водного баланса 12
1.3. Сток 19
Глава 2. ЭЛЕМЕНТЫ ГИДРАВЛИКИ 26
2.1. Гидростатическое давление ....–
2.2. Закон движения жидкости 28
2.3. Гидравлические сопротивления и потеря напора 30
2.4. Движение воды в напорных трубах 33
2.5. Истечение воды из отверстий, насадков, водосливов и коротких труб ...36
Глава 3. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК 41
3.1. Гидрологические посты 44
3.2. Режим уровней воды в реках 47
3.3. Режим расходов воды в реках 49
3.4. Обработка наблюдений за расходами воды 54
3.5. Твердый сток 58
Глава 4. ПОЧВЕННЫЕ И ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ 60
4.1. Виды воды в почве ....–
4.2. Закон Дарси 61
4.3. Методы определения коэффициента фильтрации 63

Раздел II. **ОСУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ** 68

Глава 5. ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫЙ ФОНД ....–
5.1. Требования растений к водно-воздушному режиму почв ....–
5.2. Заболачивание суши и образование болот 72
5.3. Виды заболачивания 76
5.4. Гидрология болот 86
5.5. Категории осушаемых земель и объекты осушения 90
5.6. Способы и методы осушения 92

5.7. Действие осушительных каналов 93
5.8. Норма осушения....97
Глава 6. ОСУШИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА 103
6.1. Осушительная сеть ....–
6.2. Определение расстояний между регулирующими каналами 105
6.3. Продольный профиль каналов 108
6.4. Осадка торфа 113
6.5. Поперечный профиль каналов....115
6.6. Обеспечение устойчивости откосов каналов 117
6.7. Гидрологические расчеты....119
6.8. Гидравлические расчеты....124
6.9. Гидротехнические сооружения на осушительной сети 125
Глава 7. ДРЕНАЖ....131
7.1. Общие понятия....–
7.2. Гончарный дренаж....132
7.3. Пластмассовый дренаж....133
7.4. Другие виды дренажа....134
7.5. Гидравлический расчет дренажных труб....136
7.6. Сопряжение дрен и коллекторов ....–
7.7. Сооружения на дренажной сети 137
Глава 8. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ОСУШЕНИЯ 139
8.1. Особые виды осушения ....–
8.2. Дренаж в садово-парковом хозяйстве....141
Глава 9. ПРОИЗВОДСТВО ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТ....146
9.1. Регулирование водоприемников ....–
9.2. Строительство осушительных систем....149
9.3. Подготовка трасс для каналов....150
9.4. Техника безопасности при осушении лесных земель 151
Глава 10. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСУШЕНИЯ 153
10.1. Влияние эдафических факторов на лесоводственную эффективность...–
10.2. Изменение эдафических условий и формирование древостоев после осушения земель 156
10.3. Особенности древостоев, формирующихся после осушения 158
10.4. Устойчивость хвойных древостоев на осушенных землях 163
10.5. Прогнозирование лесоводственной эффективности осушения 165
10.6. Бонитировка насаждений на осушенных землях....166
10.7.Пути повышения лесоводственной эффективности осушения....167
10.8. Эксплуатация осушительных систем....172

Глава 11. ОСУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА.....176
Глава 12. ИЗЫСКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ 182
12.1. Общие гидромелиоративные обследования ..... –
12.2. Комплексные изыскания.....183

Раздел III. **ОРОШЕНИЕ** 186

Глава 13. ИСТОЧНИКИ ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ 188
13.1. Местный сток ..... –
13.2. Копаные пруды.....203
13.3. Грунтовые воды.....205
Глава 14. ОРОШЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ.....219
14.1. Оросительная система и ее элементы .....–
14.2. Оросительная сеть..... 221
14.3. Сооружения на оросительной сети 222
14.4. Водосбросная и дренажная сеть 224
Глава 15. СПОСОБЫ ОРОШЕНИЯ 225
15.1. Дождевание ..... –
15.2. Дождевальные устройства.....227
15.3. Специальные способы орошения 234
15.4. Лиманное орошение..... 237
15.5. Режим орошения.....240
15.6. Определение расчетных расходов воды в каналах оросительной сети.....245
Глава 16. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ 248
16.1. Потери воды из оросительных каналов ..... –
16.2. Способы снижения фильтрации воды из каналов.....249
16.3. Засоление орошаемых земель и борьба с ним 251

Раздел IV. **ПРОТИВОЭРОЗИОННЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ** 253

Глава 17. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ ПРИ БОРЬБЕ С ОВРАГАМИ.....254
17.1. Противоэрозионные мероприятия на водосборе ..... –
17.2. Гидротехнические сооружения в вершине оврагов 255
17.3. Донные сооружения 257

17.4. Эксплуатация противоэрозионных гидротехнических сооружений....259

Глава 18. МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ БОРЬБЕ С ЭРОЗИЕЙ ГОРНЫХ СКЛОНОВ И БЕРЕГОВ РЕК.....261
18.1. Гидротехнические сооружения на горных склонах .....–
18.2. Мероприятия при борьбе с эрозией берегов рек 263

ПРИЛОЖЕНИЯ.....266

Приложение 1. Значение коэффициентов шероховатости для равнинных рек.....–
Приложение 2. Значение коэффициента *C* по формуле акад. Н.Н. Павловского 267
Приложение 3.Отклонения ординат биномиальной кривой обеспеченности от середины при C_v=1 268
Приложение 4. Определение коэффициентов фильтрации способом восстановления воды в скважинах после откачки 269
Приложение 5. Основная характеристика типовых трубчатых переездов из сборного железобетона при нагрузках на основание меньше 80 кПа 270
Приложение 6. Таблица классов бонитета осушенных сосновых насаждений.....271
Приложение 7. Прирост в высоту с учетом класса текущего бонитета сосновых насаждений 273
Приложение 8. Классификация типов болот (по СПбНИИЛХ).....274
Приложение 9. Паспорт осушительной системы.....280
Приложение 10. Основные характеристики осушительной системы 281
Приложение 11. Техническая характеристика дождевальных машин и установок 283
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....285
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 287

Борис Васильевич Бабиков

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕЛИОРАЦИИ

Учебное издание

Редактор
Б. Л. Волков

Компьютерная верстка
А. Б. Волков

Подписано в печать 20.02.02. Бумага офсетная № 1. Формат 60x90 1/16.
Объем 18,5 печ. л. Тираж 800 экз. Заказ № 364.

Санкт-Петербургская Государственная лесотехническая академия

Отпечатано в ГИПП «Искусство России»
198099, Санкт-Петербург, ул. Промышленная, дом 38, корп. 2.