

Б. В. Бабилов
В. В. Пахучий

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕЛИОРАЦИИ (ОСУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ)

СЫКТЫВКАР 2014

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С. М. Кирова» (СЛИ)

Кафедра лесного хозяйства

Б. В. Бабилов
В. В. Пахучий

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕЛИОРАЦИИ (ОСУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ)

*Допущено УМО по образованию в области лесного дела
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки бакалавров 250100 «Лесное дело»*



Печатается по решению редакционно-издательского совета
Сыктывкарского лесного института

Отв. редактор:

В. В. Пахучий, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Рецензенты:

А. А. Москалёв, доктор биологических наук, зав. кафедрой экологии
(Институт естественных наук Сыктывкарского государственного университета);

Н. В. Орловская, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии
(Институт естественных наук Сыктывкарского государственного университета);

Г. Н. Ерцев, кандидат технических наук, действительный член РИА,
генеральный директор ОАО «НИПИИ “Комимелиоводхозпроект”»

- Бабиков Б. В., Пахучий В. В.**
Б12 Гидротехнические мелиорации (осушение лесных земель) : учебное
пособие / Сыкт. лесн. ин-т. — Сыктывкар : СЛИ, 2014. — 160 с.
ISBN 978-5-9239-0639-4

Рассмотрены вопросы осушения лесных земель, проектирования и эксплуатации осушительных систем. Дано обоснование рационального использования осушаемых лесных земель, обеспечивающего соблюдение экологических нормативов и сохранение биоразнообразия и устойчивости лесных экосистем.

Пособие предназначено для студентов направления бакалавриата 250100 «Лесное дело».

Представлено кафедрой лесного хозяйства.

УДК 630*237.2:582.457(470.13)
ББК 43.47я73

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ГИДРОЛОГИИ, ГИДРОМЕТРИИ, ГИДРАВЛИКИ.....	8
1.1. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЗЕМЛИ И ИХ ФОРМИРОВАНИЕ.....	8
1.2. ЭЛЕМЕНТЫ ВОДНОГО БАЛАНСА	10
1.3. СТОК	13
1.4. ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПОТЕРИ НАПОРА.....	16
1.5. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК	19
1.6. ОБРАБОТКА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА РАСХОДАМИ ВОДЫ	20
1.7. ВИДЫ ВОДЫ В ПОЧВЕ. ЗАКОН ДАРСИ.....	23
ГЛАВА 2. ГИДРОМЕЛИОРАЦИЯ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ В СИСТЕМАХ ЛЕСОВОДСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ	26
2.1. СИСТЕМЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ.....	26
2.2. ВЕДЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА НА ИЗБЫТОЧНО УВЛАЖНЕННЫХ ЛЕСНЫХ ЗЕМЛЯХ	27
ГЛАВА 3. ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ	30
ГЛАВА 4. ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫЙ ФОНД	41
4.1. ТРЕБОВАНИЯ РАСТЕНИЙ К ВОДНО-ВОЗДУШНОМУ РЕЖИМУ ПОЧВ.....	41
4.2. ЗАБОЛАЧИВАНИЕ СУШИ И ОБРАЗОВАНИЕ БОЛОТ.....	43
4.3. КАТЕГОРИИ ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ И ОБЪЕКТЫ ОСУШЕНИЯ	49
4.4. СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ОСУШЕНИЯ.....	51
4.5. ДЕЙСТВИЕ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ.....	51
4.6. НОРМЫ ОСУШЕНИЯ.....	53
ГЛАВА 5. ОСУШИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА	58
5.1. ОСУШИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ.....	58
5.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ РЕГУЛИРУЮЩИМИ КАНАЛАМИ	60
5.3. РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ	63
5.4. ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ КАНАЛОВ.....	68

5.5. ОСАДКА ТОРФА.....	70
5.6. ПОПЕРЕЧНЫЙ ПРОФИЛЬ КАНАЛОВ.....	71
5.7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ КАНАЛОВ.....	73
5.8. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ.....	74
5.9. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ	77
5.10. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ НА ОСУШИТЕЛЬНОЙ СЕТИ.....	79
ГЛАВА 6. ДРЕНАЖ	84
6.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ	84
6.2. ГОНЧАРНЫЙ ДРЕНАЖ	85
6.3. ПЛАСТМАССОВЫЙ ДРЕНАЖ	85
6.4. ДРУГИЕ ВИДЫ ДРЕНАЖА	86
6.5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ	87
6.6. СОПРЯЖЕНИЕ ДРЕН И КОЛЛЕКТОРОВ	88
6.7. СООРУЖЕНИЯ НА ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ	88
ГЛАВА 7. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ОСУШЕНИЯ	90
7.1. ОСОБЫЕ ВИДЫ ОСУШЕНИЯ	90
7.2. ДРЕНАЖ В САДОВО-ПАРКОВОМ ХОЗЯЙСТВЕ	91
ГЛАВА 8. ИЗЫСКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	94
8.1. ОБЩИЕ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ.....	94
8.2. КОМПЛЕКСНЫЕ ДЕТАЛЬНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ	95
ГЛАВА 9. ПРОИЗВОДСТВО ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТ	97
9.1. РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДОПРИЕМНИКОВ.....	97
9.2. СТРОИТЕЛЬСТВО ОСУШИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ	98
9.3. ПОДГОТОВКА ТРАСС ДЛЯ КАНАЛОВ	99
9.4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОСУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ	100
ГЛАВА 10. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСУШЕНИЯ	101
10.1. ВЛИЯНИЕ ЭДАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЛЕСОВОДСТВЕННУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	101

10.2. ИЗМЕНЕНИЕ ЭДАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ФОРМИРОВАНИЕ ДРЕВОСТОЕВ ПОСЛЕ ОСУШЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ	105
10.3. ОСОБЕННОСТИ ДРЕВОСТОЕВ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ ПОСЛЕ ОСУШЕНИЯ	107
10.4. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ НАСАЖДЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ СТАРОГО ОСУШЕНИЯ	109
10.5. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЛЕСОВОДССТВЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСУШЕНИЯ.....	114
10.6. БОНИТИРОВКА НАСАЖДЕНИЙ НА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ	115
10.7. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЛЕСОВОДССТВЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСУШЕНИЯ.....	116
10.8. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	120
ГЛАВА 11. УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОМЕЛИОРАЦИИ	123
ГЛАВА 12. ОСУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА	125
12.1. ВЛИЯНИЕ ОСУШЕНИЯ НА СТОК	126
12.2. ВЛИЯНИЕ ОСУШЕНИЯ БОЛОТ И ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСОВ НА КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА	128
12.3. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ В СВЯЗИ С ГИДРОМЕЛИОРАЦИЕЙ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ.....	130
ГЛАВА 13. СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОМЕЛИОРАЦИИ	133
13.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	133
13.2. ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ	134
13.3. ВЛИЯНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА БИОРАЗНООБРАЗИЕ	136
ГЛАВА 14. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОСУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ	140
ГЛАВА 15. МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С ЭРОЗИЕЙ БЕРЕГОВ РЕК	143
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	149
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	154

ВВЕДЕНИЕ

Слово «мелиорация» происходит от латинского слова *melioratio*, что означает улучшение. Гидротехнические мелиорации включают комплекс мероприятий, направленных на регулирование водного режима почв, и заключается в осушении избыточно увлажненных земель и орошении земель с недостаточным увлажнением. Гидротехнические мелиорации лесных земель, проводимые совместно с лесоводственными, лесокультурными и другими лесохозяйственными мероприятиями, являются мощным средством повышения производительности лесных земель. При помощи осушительных мелиораций улучшается водный и воздушный режим, и как следствие — питательный режимы почв. В результате существенно повышается плодородие почв. Высокая эффективность осушения избыточно увлажненных лесных земель в России доказана более чем вековым опытом.

Первые осушительные работы в России проводились в окрестностях Петербурга в начале XVIII в. главным образом в санитарных целях. Работы по осушению лесных земель были начаты в 30—40-х годах XIX в. в нескольких лесных дачах Петербургской губернии. Особого внимания заслуживают результаты осушительных работ в Лисинской лесной даче, проводившиеся в начале 40-х годов XIX в. Первый русский проект осушения был составлен воспитанником Петербургского лесного института лесоводом И. Г. Войнуковым для первого отделения Лисинской лесной дачи (Хейновское болото) в 1846 г. На выставке в Париже проект Войнукова был награжден Золотой медалью. Высокую эффективность осушительных работ, проведенных по этому проекту, можно наблюдать и в настоящее время.

Большой объем осушительных работ в России выполнен с 1873 по 1894 и с 1967 по 1980 гг. В период с 1873 по 1894 гг. эти работы велись двумя экспедициями по осушению болот: Западной и Северной. Западная экспедиция под руководством генерала Жилинского работала в Полесье, Владимирской, Рязанской, Московской и Тверской губерниях. Северная экспедиция под руководством Августиновича проводила осушение в Петербургской, Новгородской, Псковской, Олонецкой и Прибалтийских губерниях. Экспедиции проводили изыскания и строительство осушительных каналов на сельскохозяйственных и лесных землях. Часть осушительных каналов сохранилась и действует до настоящего времени.

Общая площадь экстенсивно осушенных земель в 1917 г. составила 1,2 млн га. За первые 20 лет после 1917 г. в стране было осушено около 300 тыс. га заболоченных земель и болот. Работы по осушению лесных земель наиболее интенсивно стали развиваться в конце 50-х, начале 60-х годов, особенно после образования в 1965—1969 гг. лесных машинно-мелиоративных станций (ЛММС). В настоящее время общая площадь осушенных лесных земель в Российской Федерации составляет около 4 млн га.

Гидротехнические мелиорации в значительной степени основываются на законах гидравлики. Большой вклад в развитие гидравлики внесли французские

инженеры Шези, Дарси, Базен, а также русские ученые Н. Е. Жуковский, Н. Н. Павловский, П. Я. Полубаринова-Кочина и др. Ими разработана теория движения грунтовых вод. Формулы Шези, Дарси, Н. Н. Павловского, И. И. Агроскина широко используются в теории и практике гидромелиорации.

Большие работы по вопросам проектирования и строительства осушительных и оросительных систем выполнены академиком А. Н. Костяковым. Его учебник «Основы мелиорации» выдержал шесть изданий. Крупные исследования по разработке теории движения воды и стока с болот проведены профессорами К. Е. Ивановым и В. Д. Лопатыным. Гидрологический режим осушенных лесных земель и гидрологическая роль леса впервые были комплексно изучены академиком А. Д. Дубахом, которым был издан учебник «Гидротехнические мелиорации лесных земель». Значительный вклад в развитие теории осушения земель и подготовку кадров внесен профессором Х. А. Писарьковым. Идея Х. А. Писарькова в настоящее время развивают его ученики.

Гидротехнические мелиорации избыточно увлажненных лесных земель являются важной составляющей систем лесохозяйственных мероприятий в лесном фонде России. Системный подход в лесоводственной науке имеет две взаимосвязанные стороны — временную и пространственно-территориальную, или региональную. Региональный подход в лесоводстве и гидромелиорации лесных земель предполагает обязательный учет территориального положения объектов вследствие различия климатических и лесорастительных условий. В связи с этим региональные гидромелиоративные исследования являются источником информации для совершенствования нормативов гидромелиорации и проверки ее теоретических положений. Длительные комплексные исследования выполнены на стационарах в Ленинградской, Тверской, Архангельской, Вологодской, Свердловской областях, Карелии, Марий-Эл, Республике Коми.

В работе излагаются основные положения гидротехнических мелиораций избыточно увлажненных лесных земель. Рассматриваются теоретические предпосылки, основные направления и задачи практической гидромелиорации и особенности методики гидромелиоративных исследований. Главы 1, 4, 5—10, 12, 15 написаны Б. В. Бабиковым, главы 2, 3, 11, 13, 14, разделы 5.3, 10.4, 12.2 — В. В. Пахучим. Введение и раздел 12.3 написаны авторами совместно.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению бакалавриата 250100 «Лесное дело», а также может быть использовано специалистами в области гидромелиорации лесных земель, лесоведения и лесоводства, лесной экологии и биогеоценологии и охраны окружающей среды.

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ГИДРОЛОГИИ, ГИДРОМЕТРИИ, ГИДРАВЛИКИ

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.

Гидравлика изучает законы равновесия и движения жидкостей.

1.1. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЗЕМЛИ И ИХ ФОРМИРОВАНИЕ

Общий объем воды на земном шаре составляет около 1 338 млн км³. Основной ее запас (96,5 %) находится в Мировом океане. В жизни человека наибольшую ценность составляют пресные воды. Ледники и постоянный снежный покров содержат 24,1 млн км³ пресной воды, т. е. около 69 % общих ее запасов. Свыше 30 % (10,5 млн км³) пресной воды сосредоточено в почвогрунтах (подземные воды). Пресные озера России содержат около 28 тыс. км³ воды, из них 23 тыс. км³ — в озере Байкал. Вода в болотах составляет около 12 тыс. км³, или 0,03 % запаса пресных вод. Годовой сток рек нашей страны составляет 4 720 км³ в год. В руслах рек России одновременно находится около 500 км³ воды.

Круговорот воды в природе. Вода в природе под влиянием солнечной радиации, вызывающей процесс испарения и выпадение осадков, и силы земного притяжения постоянно 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 растениями. 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, град) осадков.

Различают два типа влагооборота — большой и малый.

Большой, или мировой, влагооборот захватывает обширные пространства, когда водяной пар, испарившийся 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. км³ воды. Из этого объема 505 тыс. км³ приходится на Мировой океан и 72 тыс. км³ на сушу. Воздушными потоками на сушу переносится и стекает обратно в океан 47 тыс. км³ воды. Из этого объема реками выносятся в океан 45 тыс. км³, 2 тыс. км³ поступает в океан в виде стока грунтовых вод. Если распределить этот объем воды равномерно по поверхности суши, получится слой осадков, равный 315 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 объема.

Для территории нашей страны в водном балансе приход влаги с осадками составляет 11 700 км³, испарение 7 340 км³, сток 4 360 км³.

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

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

где O — осадки; C — сток; E — испарение (суммарное); ΔW — изменение запасов поверхностных вод в бассейне; ΔU — подземный водообмен.

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

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

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. Поэтому величина ΔW может быть очень небольшой и уравнение для многолетнего периода принимает упрощенный вид:

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

Уравнение водного баланса позволяет установить степень обводненности территории, выявить избыток или недостаток влаги и 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 — 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* (нормой осадков, нормой стока, нормой 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 $11\,700\text{ км}^3$ осадков. При равномерном распределении по территории средний слой осадков (норма осадков) составляет 530 мм в год. Однако выпадающие осадки распределяются по отдельным районам неравномерно. По берегам Северного Ледовитого океана в условиях арктического климата выпадает до 300—400 мм осадков, в западных и центральных районах европейской части РФ и в Западно-Сибирской низменности 500—600, в Нижнем Поволжье 300—400, в Арало-Каспийской низменности 100—150 мм осадков. 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 выпадает в 1,5—2 раза больше осадков, чем в теплые.

Осадки оказывают огромное влияние на заболоченность территорий, хотя и не являются единственной причиной заболачивания. Заболоченные территории страны находятся 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 жизнедеятельности. Общий расход влаги на физическое испарение и транспирацию называется *суммарным 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* понимают 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. Среднегодовая величина испарения (норма испарения) с водной поверхности сильно колеблется по климатическим зонам, составляя 100—200 мм в северных районах, увеличиваясь до 1 000 мм и более на юге. 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 [49] * установлено, что в лесу транспирационный расход влаги выше физического испарения. Величина суммарного испарения зависит от состояния и продуктивности 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.

* Здесь и далее в квадратных скобках — ссылки на источники из списка использованной литературы.

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 (рис. 1) превышает 1. В зоне неустойчивого увлажнения величина осадков близка к величине испарения, в зоне недостаточного увлажнения испарение постоянно превышает осадки.

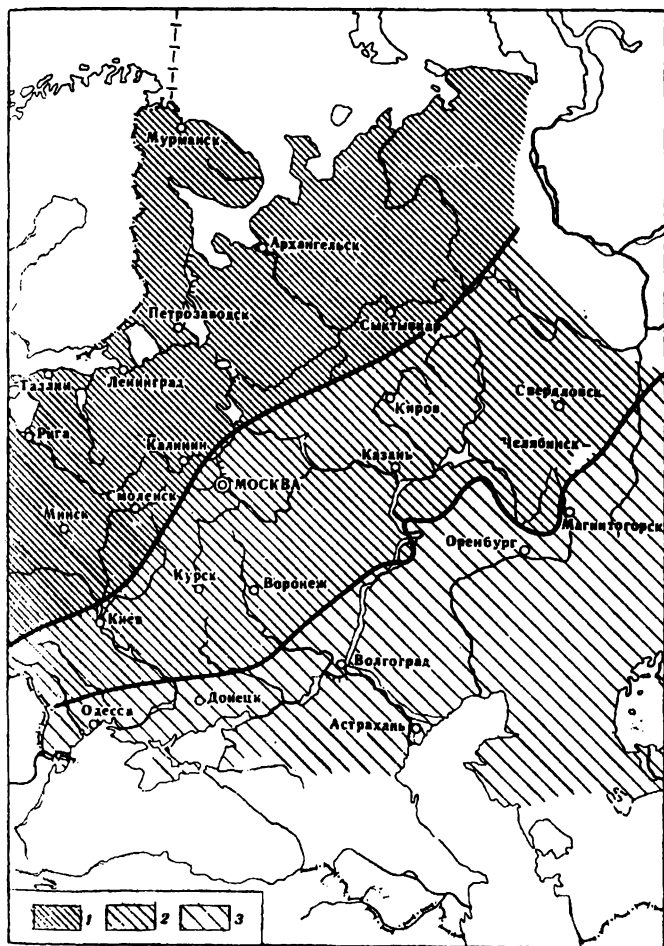


Рис. 1. Зоны водообеспеченности европейской части России:
1 — избыточное;
2 — неустойчивое;
3 — недостаточное увлажнение

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.

1.3. СТОК

Стоком называется движение воды по поверхности земли, а также в толще почв и горных пород в процессе круговорота ее в природе. Сток подразделяется на поверхностный, проходящий по земной поверхности; склоновый, проходящий 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 водупорных горизонтов, направление и величина их уклона. В районах с выраженным рельефом, наличием холмов со значительными уклонами атмосферные осадки быстрее стекают, 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, 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, способствуют 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 воды 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 за-

болоченности территории сток с нее, особенно летом, уменьшается. При насыщении болот влагой в сырые годы болота увеличивают речной сток, в сухие — уменьшают.

Растительность. 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 сток 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 половодье и паводки, что увеличивает питание рек в межень.

Водохранилища. 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 , m^3 — 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.):

$$W_c = Qt, \quad (4)$$

где Q — средний расход воды, m^3/c ; t — время расчетного периода, с.

Модуль стока, q — количество воды, стекающей с единицы площади водосбора в единицу времени (выражается в $л/(с \cdot га)$ или $m^3/(с \cdot км^2)$):

$$q = Q/F, \quad (5)$$

где Q — расход воды в водотоке, $л/с$ или m^3/c ; F — величина водосборной площади, га или $км^2$.

Слой стока, $h_{ст}$, мм — количество воды, стекающее с водосбора за определенный интервал времени, равное толщине слоя воды, равномерно распределенной по площади этого водосбора:

$$h_{ст} = W_c \cdot 1000/F, \quad (6)$$

где W_c — объем стока, m^3 ; F — площадь водосбора, m^2 .

Годовой слой стока, мм/год, по модулю стока можно вычислить по зависимости

$$h_{ст} = 3154q, \quad (7)$$

где q — среднегодовой (или средний за период) модуль стока, $л/(с \cdot га)$.

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

$$\sigma = C/O, \quad (8)$$

где C — величина стока; O — величина осадков.

Средняя многолетняя величина стока называется нормой стока.

Сток с осушенных лесных земель. Особенности такого стока исследовали 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 выполняли открытыми каналами глубиной 0,9—1,1 м, проведенными через разные расстояния. Исследования вели круглогодично. При анализе 15-летних данных (табл. 1) за начало гидрологического года принято 1 октября.

Табл. 1. Внутригодовое распределение стока на осушаемом верховом болоте, мм (1968—1981 гг.)

Расстояние между каналами, м	Месяц												Год
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
65	21	26	15	6	3	13	76	30	12	8	8	10	228
130	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 облесенности осушаемых болот видно из табл. 2.

Табл. 2. Сток с болот различной облесенности, мм

Характеристика древостоя	Расстояние между каналами, м	Месяц					Сумма за 5 месяцев
		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-июне оказывается ниже, чем на болотах, занятых древостоями, где медленнее происходит таяние снега. Исследованиями А. Д. Дубаха [13] было установлено замедление снеготаяния и стока в лесах на 1—2 недели по сравнению с безлесными площадями.

Летом уровень грунтовых вод понижается. Порозность торфяного грунта высокая, с крупными размерами пор. Капиллярный подъем влаги к поверхности почвы затруднен. В связи с этим физическое испарение снижается.

На участках, занятых древостоем, кроме испарения происходит значительный расход влаги на транспирацию, увеличивающий суммарный расход влаги, поэтому сток на покрытых лесом землях оказывается ниже, чем на необлесенных болотах. Влияние древостоя на сток с осушаемых земель с течением времени по мере улучшения состояния древостоя усиливается (табл. 3).

Табл. 3. Сток с осушаемых болот в зависимости от состояния соснового древостоя, мм

Класс бонитета	Месяц												Год
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
V	18	23	13	7	3	11	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 уменьшения стока весеннего половодья. На торфяных почвах сток обычно наблюдается и в зимний период. На землях с минеральными грунтами сток зимой по каналам часто прекращается.

Сток при осушении болот 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 · га) при расстояниях между каналами 205 и 65 м. Наибольшие модули 0,248 и 0,310 л/(с · га) отмечены в апреле в период стока талых вод. Максимальный среднесуточный модуль, равный 2,1 л/(с · га), отмечен при расстоянии между каналами 65 м в первый год осушения. Последующие 15-летние наблюдения показали 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 наблюдается в среднем за год в течение 31 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.

1.4. ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПОТЕРИ НАПОРА

Законы движения жидкости, определение скорости и сопротивлений движению изучает гидродинамика. В применении к курсу гидромелиорации гидродинамика является основным изучаемым разделом гидравлики.

По характеру скорости и расхода движение воды бывает установившимся и неуставившимся. *Установившееся* движение характеризуется неизменностью скорости и расхода воды, а следовательно, и давления во всех точках потока за рассматриваемый промежуток времени. При *неустановившемся* движении скорость и расход воды в пределах рассматриваемого периода меняются.

Равномерным 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. При *неравномерном* движении площади сечения потока, глубины и скорости потока по длине изменяются.

Ламинарный режим движения характеризуется перемещением воды без перемешиваний струй, например, при движении грунтовых вод или воды в тонких капиллярных трубках. Для *турбулентного* режима характерно перемешивание частиц воды, которые, кроме поступательного движения с большими скоростями, имеют и вращательное движение. Такой режим наблюдается в трубах, реках, каналах и т. п.

Безнапорное движение происходит под действием сил тяжести. Поверхность потока не ограничена, находится под атмосферным давлением. Этот вид движения наблюдается в реках, каналах, трубах при их неполном заполнении. *Напорное* 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*:

$$z_1 + P_1/\gamma + \alpha V_1^2/2g = z_2 + P_2/\gamma + \alpha V_2^2/2g + h_{\omega}, \quad (9)$$

где z_1 и z_2 — геометрическая высота центров тяжести потока в сечениях I и II; P_1 и P_2 — гидростатическое давление в сечениях I и II; γ — удельная масса воды; V_1 и V_2 — скорости движения воды в сечениях I и II; α — поправочный коэффициент на среднюю скорость потока (равный в среднем 1,1); P_1/γ и P_2/γ — пьезометрическая высота давления в сечениях I и II; $z_1 + P_1/\gamma$ и $z_2 + P_2/\gamma$ — пьезометрический напор, характеризующий удельную потенциальную энергию в сечениях I и 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.

Различают следующие характеристики потока: живое сечение, смоченный периметр, гидравлический радиус.

Живое сечение, ω — поперечное сечение потока, направленное перпендикулярно его движению.

Смоченный периметр, χ — линия, направленная перпендикулярно потоку, по которой он соприкасается с руслом (дном реки, ручья, дном и стенками искусственных русел).

Гидравлический радиус, R — отношение живого сечения к смоченному периметру:

$$R = \omega/\chi. \quad (10)$$

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

$$R = \omega/\chi = \pi d^2/4 : \pi d = d/4. \quad (11)$$

При движении жидкости в реках, каналах, лотках, трубах и тому подобном происходят затраты энергии потока на преодоление сопротивлений движению, что вызывает потери напора, возникающие при движении жидкости. Гидравлическое сопротивление можно разделить на два вида: сопротивления по длине потока и местные сопротивления. *Сопротивления по длине потока* обуславливаются силами трения о дно и стенки русла и зависят от длины потока и шероховатости русла. *Местные 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_m . Общие потери напора $h_{тр}$ равны их сумме:

$$h_{тр} = h_{дл} + h_m. \quad (12)$$

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

$$h_{тр} = \xi_{тр} (V^2/2g), \quad (13)$$

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

Потери напора по длине определяют по формуле

$$h_{дл} = \xi_{дл} (V^2/2g). \quad (14)$$

Здесь $\xi_{дл}$ — коэффициент сопротивления по длине, определяют по формуле

$$\xi_{дл} = \lambda (l/4R), \quad (15)$$

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

Местные потери определяют по формуле

$$h_m = \xi_m (V^2/2g). \quad (16)$$

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

$$P_1/\gamma = P_2/\gamma; V_1 = V_2; \alpha V_1^2/2g = \alpha V_2^2/2g. \quad (17)$$

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

$$h_{дл} = z_1 - z_2. \quad (18)$$

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

$$h_{дл}/l = (z_1 - z_2)/l. \quad (19)$$

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 определяются по формуле:

$$h_{дл} = (\lambda l/4R) (V^2/2g). \quad (20)$$

Подставляя значение $i = h_{дл}/l$ в формулу (20), получим

$$i = (\lambda/4R) (V^2/2g), \quad (21)$$

откуда

$$V = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \sqrt{Ri}. \quad (22)$$

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

$$V = C \sqrt{Ri}, \quad (23)$$

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

Скоростной коэффициент C можно определить по таблице (см. приложение 1).

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

1.5. 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 амывной, некоторые виды грунтового типа водного питания). Реки часто служат водоприемниками для воды, отводимой с осушаемых территорий. Вода широко используется для водоснабжения и орошения. По расходам воды в реках вычисляют и расчетные модули стока для определения размеров каналов осушительных систем и сооружений на них.

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, а 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, называемая *фазой водного режима реки*. Основные фазы водного режима рек: половодье, паводок, межень (зимняя и летняя).

Половодье — 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 таянием или совместным таянием снега и ледников.

Паводок — фаза водного режима, которая может многократно повторяться в различные сезоны года, характеризуется интенсивным, обычно кратковременным увеличением расходов и уровней воды и вызывается дождями и снеготаянием во время оттепелей.

Межень — фаза водного режима, ежегодно повторяющаяся в одни и те же сезоны, характеризующаяся малой водностью, длительным стоянием низких уровней и возникающая вследствие уменьшения водного питания реки. Водное питание обычно уменьшается летом и зимой, поэтому различают летнюю и зимнюю межень.

1.6. ОБРАБОТКА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА РАСХОДАМИ ВОДЫ

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

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. Кривую строят в прямоугольной системе координат, откладывая по оси ординат уровни воды над нулем графика (H , см), по оси абсцисс — расход воды (Q , м³/с). Кривая расходов позволяет быстро определять расходы воды в реках непосредственно по измеряемому уровню воды.

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. Обеспеченность (вероятность превышения) 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 характеризуется теоретической кривой обеспеченности.

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

В табл. 4 проведена обработка 15-летних наблюдений за расходами воды в р. Тигоде (Ленинградская область). В основу обработки положены методы математической статистики.

По расходам различных лет Q по мере убывания их величины (графа 3) определяем среднеарифметическую величину расхода \bar{Q} (среднее значение):

$$\bar{Q} = \frac{\sum Q_i}{N}. \quad (24)$$

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

$$K = Q_i / \bar{Q}. \quad (25)$$

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

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (K-1)^2}{N}}, \quad (26)$$

где K — модульный коэффициент; N — число лет наблюдений.

В нашем примере $C_v = \sqrt{\frac{1,365}{15}} = 0,30$.

Табл. 4. 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	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

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

$$C_s = 2C_v. \quad (27)$$

Коэффициент асимметрии, вычисленный по формуле (27), для данных табл. 4 оказывается равным 0,60.

По данным табл. 4 можно вычислить эмпирическую обеспеченность каждого члена ряда, P , по формуле Н. Н. Чегодаева:

$$P = \frac{m-0,3}{N+0,4} \cdot 100, \quad (28)$$

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

Вычисления обеспеченности членов ряда приведены в графе 7 табл. 4.

Для построения теоретической кривой обеспеченности ведут вычисления по форме табл. 4. Ординаты кривой обеспеченности, $Q_{P\%}$, вычисляют по формуле

$$Q_{P\%} = (\Phi_{P\%} C_v + 1) Q, \quad (29)$$

где $Q_{P\%}$ — расход воды данной обеспеченности; $\Phi_{P\%}$ — отклонения ординат кривой Пирсона III типа от середины для соответствующего коэффициента асимметрии C_s ; C_v — коэффициент вариации; Q — средний расход.

В табл. 4 приведено вычисление обеспеченности среднегодовых расходов р. Тигода. Площадь водосбора реки 58 900 га. С учетом коэффициента асимметрии по таблице приложения 2 находим отклонения ординат Φ , вводим поправку с учетом коэффициента вариации и по формуле (29) вычисляем расход воды для соответствующей обеспеченности.

По данным табл. 5 построим теоретическую кривую обеспеченности (рис. 2).

Табл. 5. Вычисление обеспеченности среднегодовых расходов
(р. Тигода, $C_v = 0,30$, $C_s = 0,60$)

Расчетная величина	Обеспеченность, %				
	1	3	5	10	25
Φ	2,75	2,12	1,80	1,33	0,61
ΦC_v	0,82	0,71	0,54	0,44	0,18
$\Phi C_v + 1$	1,82	1,71	1,54	1,44	1,18
$(\Phi C_v + 1)Q = Q_{P\%}$	6,93	6,51	5,87	5,48	4,50

Продолжение табл. 5

Расчетная величина	Обеспеченность, %				
	50	75	90	95	97
Φ	-0,10	-0,72	-1,20	-1,45	-1,61
ΦC_v	0,03	0,22	0,36	-0,43	-0,48
$\Phi C_v + 1$	0,97	0,78	0,64	0,57	0,52
$(\Phi C_v + 1)Q = Q_{P\%}$	3,70	2,97	2,44	2,17	1,98

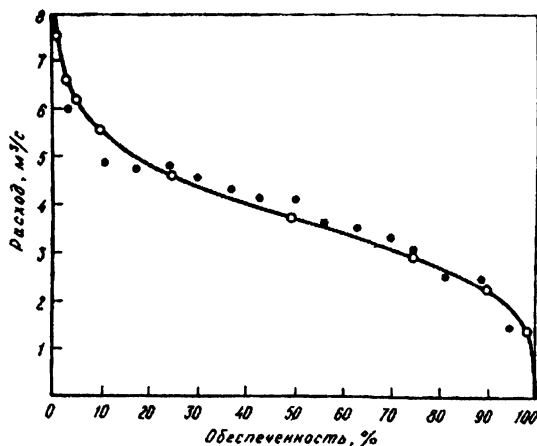


Рис. 2. Теоретическая кривая обеспеченности

Для построения кривой по оси ординат откладываем расходы ($\text{м}^3/\text{с}$), по оси абсцисс — обеспеченность, $P\%$. Для сравнения данных на этом же график по табл. 4 отложим наблюдаемые 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 за пределами экспериментального ряда.

1.7. ВИДЫ ВОДЫ В ПОЧВЕ. ЗАКОН ДАРСИ

Вода в почвогрунтах может находиться в твердом, жидком и парообразном состоянии и 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 частицам 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, определяют понятие *полной влагоемкости*.

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 XIX века французским инженером 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 опыт (рис. 3). Соединим два цилиндра трубкой. Трубку длиной l 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.

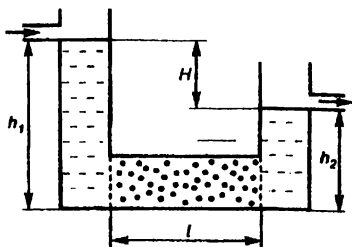


Рис. 3. Схема опыта по проверке закона Дарси

Гидравлический уклон i принимается равным отношению разности напоров $h_1 - h_2 = H$ к длине пути фильтрации l . Скорость фильтрации можно определить по формуле

$$V = K(h_1 - h_2)/l = (KH)/l. \quad (30)$$

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:

$$V = Ki, \quad (31)$$

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

Равенство (31), 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

$$V = K(i - i_0). \quad (32)$$

Для очень плотных глин $i_0 = 20 \dots 30$.

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.

Контрольные вопросы к главе 1

1. Что такое водный баланс? Каковы его элементы?
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 осушаемых болот в лесу?
8. Что такое гидрологический режим рек?
9. Каковы фазы водного режима рек?
10. Как устроены свайные и реечные водомерные посты?
11. Можно ли обеспечить постоянную регистрацию уровней воды в реках, каналах?
Каким образом?
12. Какие графики характеризуют режим уровней воды в реках?
13. Как определяется скорость движения воды в реках?
14. Как определить расход воды в реке?
15. Что такое обеспеченность?
16. Для чего необходима теоретическая кривая обеспеченности (кривая вероятности превышения)?
17. Что такое твердый сток?

ГЛАВА 2. ГИДРОМЕЛИОРАЦИЯ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ В СИСТЕМАХ ЛЕСОВОДСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

2.1. СИСТЕМЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ

Гидромелиорация лесных земель как одно из основных направлений по повышению продуктивности лесов является важным компонентом систем лесоводственных мероприятий наряду с использованием лесом, его охраной, защитой и воспроизводством. Отечественное лесоведение рассматривает лес как природную систему, а лесоводство разрабатывает системы обращения с лесом и управления им [28]. Системный подход в лесоводственной науке имеет временную и пространственно-территориальную стороны. Первая отражает специфику леса как объекта, имеющего длительный период производства. От момента появления молодого поколения леса до его рубки лесоводственные системы включают комплексы мероприятий, направленные на возобновление и выращивание леса, повышение его продуктивности, обеспечение устойчивости охраны и защиту, главное и промежуточное пользование, использование недревесных продуктов и других полезных свойств леса. Вторая сторона системного подхода в условиях России и отдельных регионов предполагает учет географического положения объектов ввиду различия территорий по лесорастительным условиям. Лесоводственные системы должны также учитывать эколого-экономические условия регионов и проблемы, возникающие в процессе взаимодействия лесного хозяйства с другими отраслями народного хозяйства.

Повышение продуктивности лесов является одной из трудных проблем современного лесоводства и важным направлением в системах лесохозяйственных мероприятий. Существуют различные пути повышения продуктивности лесов. При этом главная задача сводится к повышению продуктивности основного компонента леса — древостоя. Система повышения древесной продуктивности включает четыре основных направления: 1) ускорение роста леса путем воздействия на условия их произрастания; 2) ускорение восстановления и формирования древостоев; 3) создание, обновление и улучшение состав древостоев путем введения быстрорастущих, высокопродуктивных, устойчивых древесных пород; 4) рациональное использование лесов и борьба с пожарами [28].

Одно из направлений по повышению продуктивности лесов связано с воздействием на условия их произрастания, в том числе посредством осушительной мелиорации. Необходимо отметить, что использование общих гидромелиоративных положений в различных регионах может быть ограничено ввиду специфических природных условий. В зависимости от региона в основу систем лесоводственных мероприятий положены схемы экологического, лесозащитного, лесорастительного, гидромелиоративного, лесосеменного районирования или сочетания указанных видов районирования. В связи с географическим положением рассматриваемых территорий или их частей обычно рекомендуются предтундровые защитные, горные и предгорные защитные, таежные эксплуатационно-защитные и таежные эксплуатационно-лесовосстановительные

ные системы лесоводственных мероприятий. Во всех случаях таежные системы лесохозяйственных мероприятий для равнинных территорий включали комплекс гидромелиоративных работ, направленных на повышение производительности избыточно увлажненных лесных земель.

В пределах выделенных районов параметры лесохозяйственных мероприятий дифференцируются по подзонам, если такое дифференцирование имеет принципиальное значение и подтверждено теоретическими исследованиями и практическим опытом ведения лесного хозяйства, в т. ч. на избыточно увлажненных территориях. Наряду с районированием при разработке региональных систем лесохозяйственных мероприятий большое значение имеет разделение участков леса на типы и группы типов леса. В большинстве случаев для европейской территории России понятие «тип леса» принимается в объеме «лесного биогеоценоза», а схемы типов леса ельников и сосняков — по В. Н. Сукачеву [48]. Для влажных типов леса также используются основные положения классификации Н. И. Пьявченко [38].

Таежные эксплуатационно-защитные и эксплуатационно-лесовосстановительные системы, как правило, ориентируют лесное хозяйство на комплексное, непрерывное, неистощительное, устойчивое лесное хозяйство. Повышение комплексной продуктивности лесов путем реализации основных положений таежных эксплуатационных систем может быть достигнуто сочетанием основных лесохозяйственных и лесозащитных мероприятий: рубок для заготовки древесины, мероприятий по лесовосстановлению, рубок ухода, охраны и защиты леса, проведения лесной, химической и гидротехнической мелиорации лесных земель. Развитие лесного комплекса предполагает скоординированное развитие инфраструктуры районов, дорожного строительства. В таежных регионах последнее прямо связано с решением вопросов повышения продуктивности лесов методами гидромелиорации.

2.2. ВЕДЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА НА ИЗБЫТОЧНО УВЛАЖНЕННЫХ ЛЕСНЫХ ЗЕМЛЯХ

Концепция устойчивого лесного хозяйства Российской Федерации исходит из экологического, экономического и социального значения лесов. Кроме указанных аспектов учитываются также и другие факторы. Прежде всего к ним необходимо отнести фактор времени и территориальный (пространственный) принцип устойчивости. Учет региональности, несомненно, важен при реализации программ лесохозяйственного освоения заболоченных лесов не только на обширных пространствах России, но и на территории субъектов федерации. Однако необходимо учитывать следующее. Критерии устойчивого управления лесами и индикаторы для их оценки подбираются с учетом возможности использования существующих информационных потоков по лесному хозяйству. Каждый критерий может характеризовать территориальную единицу на уровне не ниже субъекта федерации. Реализация критериев устойчивого управления лесами на уровне лесничества определяется другими документами (правилами, инструкциями, указаниями и т. д.). В связи с этим проблематично разделение индикаторов для естественно дренированных и осушаемых лесных земель.

В число индикаторов включены и такие, статистическая информация по которым в настоящее время практически не ведется, но получение ее может иметь большое значение в перспективе.

Цели и задачи, формулируемые гидромелиоративной наукой и практикой, могут совпадать или не совпадать со стратегическими целями, которые должны обеспечивать критерии устойчивого управления лесами.

На уровне экспертных оценок для критерия 1, формулируемого как поддержание и сохранение продуктивной способности лесов, можно допустить практически их полное совпадение. Последнее вытекает из главной задачи, решаемой методами регулирования водного режима на избыточно увлажненных лесных землях при условии правильного выбора объектов лесосушения, соблюдения норм и правил проектирования и строительства, обеспечения надлежащего надзора, ухода и ремонтов осушительных систем

В части критерия 2, рассматривающего поддержание приемлемого санитарного состояния и жизнеспособности лесов, применительно к насаждениям на осушаемых лесных землях возможны различные оценки. Так, пожарная опасность после осушения лесных земель возрастает. Однако при выполнении всего комплекса работ, строительства дорог, противопожарной организации территории возгораемость лесов на осушаемых лесных землях не больше, чем на естественно дренированных площадях. В то же время недостаток исследований о влиянии гидромелиорации на энтомофауну, фитопатологическое состояние лесов не позволяют однозначно оценивать последствия этого мероприятия с точки зрения санитарного состояния лесов. Практически отсутствуют данные об эффективности осушения в районах загрязнения почв и лесов промышленными выбросами, о сочетанном влиянии лесосушения и воздушных поллютантов на рост леса. Поэтому важной задачей гидролесомелиоративной науки является накопление такой информации, а также объективный анализ этой информации, базирующийся на количественных методах.

Критерий 3 связан с оценкой сохранения и поддержания защитных функций лесов. Во всех случаях, связанных с проектированием новых осушительных систем или реконструкцией старых осушительных систем, можно говорить о достаточно полном учете рекомендаций, изложенных в региональных программах по сохранению и поддержанию защитных функций лесов, выделению особо охраняемых природных территорий. Известно, что в региональные схемы гидромелиоративного освоения заболоченных лесных земель такие площади не включаются. При выборе объектов гидромелиорации, при согласовании проектов осушения обязательно контролируется условие исключения всех вышеуказанных категорий заболоченных лесов и болот из списка объектов лесосушения. Так, например, в Республике Коми площадь охраняемых болот (клюквенников, заказников, эталонных болот) составляет около 500 тыс. га, а общая площадь охраняемых природных территорий составляет около 16 % от покрытой лесом площади республики. В то же время осушено около 100 тыс. га заболоченных лесов, или менее 0,4 % покрытой лесом площади. Это свидетельствует о том, что в части рассматриваемого критерия цели и задачи устойчивого управления лесами в основном совпадают с практическими действиями гидромелиорации в регионе.

Критерий 4 рассматривает сохранение и поддержание биологического разнообразия лесов и их вклада в глобальный углеродный цикл. В данном случае цели и задачи гидrolесомелиорации могут вступать в противоречие с целями и задачами устойчивого лесного хозяйства. Возможно увеличение эмиссии углекислого газа после осушения торфяников. Однако необходимо учитывать, что при высоком лесоводственном эффекте осушения выделение углекислого газа может компенсироваться его связыванием (депонированием) в древесное. Заслуживает дополнительного исследования вопрос о влиянии осушения заболоченных лесных земель на видовое и экосистемное разнообразие. Регулирование водного режима почв после осушения приводит к увеличению площади открытых водных пространств. Кавальеры привлекают представителей орнитофауны, устраивающих здесь порхалища, собирающих мелкий галечник. В каналах поселяются бобры, представители ихтиофауны. Каналы, зарастающие древесной и кустарниковой растительностью, многократно усиливают опухечный эффект и привлекают мелких птиц. Более детально данные вопросы рассмотрены в главах 12, 13.

Критерий 5 связан с оценками поддержания социально-экономических функций лесов. Общая площадь осушаемых лесов в отдельных регионах составляет малую часть общей площади покрытых лесом земель. Это может свидетельствовать о больших резервах в части вклада лесосушительной мелиорации в валовой продукт субъектов федерации, объем вывозки деловой древесины, увеличения занятости в лесном секторе. В то же время и лесные осушительные мелиорации могли бы служить объектом возрастающих инвестиций в строительство осушительных систем, их реконструкцию и ведение лесного хозяйства на осушаемых лесных землях, затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, проектные разработки и целевую подготовку специалистов лесного хозяйства.

Критерий 6 анализирует инструменты лесной политики для сохранения устойчивого управления лесами. Индикаторы, характеризующие данный критерий, несут описательный характер и представляют собой предмет дальнейшего обсуждения и детализации. В связи с этим целесообразно в новой редакции Лесного кодекса Российской Федерации отразить традиционную лесоводственную оценку гидротехнических мелиораций как важного направления в системе мероприятий по повышению продуктивности лесов и, таким образом, на законодательном уровне подтвердить известное положение о том, что в условиях избыточно увлажненных лесных земель не существует разумной альтернативы гидромелиорации как методу повышения продуктивности лесных экосистем и улучшения санитарно-гигиенических условий территории.

Контрольные вопросы к главе 2

1. Дать понятие лесоводственной системы.
2. Какие мероприятия включаются в лесоводственную систему?
3. Какова роль гидротехнических мероприятий в лесоводственных системах?
4. В чем сущность временной и пространственно-территориальной составляющих системного подхода в лесоводственной науке в целом и гидротехнических мелиорациях в частности?
5. Оценить согласованность целей и задач гидротехнических мелиораций с целями, которые должны обеспечивать критерии устойчивого управления лесами.

ГЛАВА 3. ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

Специфика и многообразие природных условий России, а также ее отдельных регионов обуславливают необходимость разделения конкретных территорий (областей, краев, республик) на районы, однородные по лесорастительным условиям и характеризующиеся возможным одинаковым или близким лесоводственным эффектом осушения. Это указывает на важность решения проблемы гидромелиоративного районирования и целесообразность использования при этом основных положений лесорастительного и лесотаксационного районирования.

Под зональностью лесоводственного эффекта осушения понимается зависимость прироста в осушаемых насаждениях от географического положения осушаемого участка. Как правило, изменение величины текущего и дополнительного прироста связывается с широтными различиями в теплообеспеченности. Для практики лесосошения следует считать важным вывод, согласно которому различия в росте, вызванные различием в сумме температур, нельзя устранить за счет внесения удобрений или уменьшения расстояний между каналами [53].

Методика оценки гидромелиоративного фонда в связи с географическим положением районов изложена Е. Д. Сабо (1980) [44]. Метод позволяет на основе анализа взаимосвязи между климатическими характеристиками и средним приростом древесины в границах крупных регионов рассчитать коэффициенты относительной продуктивности, которые в дальнейшем корректируются по натурным данным. Ниже приводится расчет коэффициентов относительной продуктивности для лесничеств Республики Коми с некоторыми изменениями методики. В качестве показателей для выделения гидромелиоративных районов использовали характеристики климата, почвенных условий, рельефа местности, сочетания элементов климата в разные периоды развития растений и т. д. Включение таких показателей в список используемых позволяет учесть локальные физико-географические факторы, которые могут оказывать существенное влияние на рост леса или определять охранный режим природопользования на данной территории.

Расширение состава учитываемых факторов требует многократного увеличения объема переработки информации. Эффективное решение этой задачи возможно при использовании методов многомерного анализа, в частности — факторного. В качестве учетной единицы принято лесничество. Список лесничеств и средний прирост древесины в лесных массивах по литературным данным [23] приведен в табл. 6.

Характеристика физико-географических условий лесничеств по 21 параметру выполнена по литературным данным. В список параметров включены заболоченность и показатели, используемые при расчете биоклиматических потенциалов или тесно связанные с такими показателями.

Табл. 6. Прирост древесины и коэффициенты относительной продуктивности

№ п/п	Лесничество	Прирост, м ³ /га в год		Коэффициент относительной продуктивности
		выравнен- ный средний	расчетный годовой	
1	Усть-Илимское	0,41	0,85	0,39
2	Ижемское	0,51	1,02	0,46
3	Каджеромское	0,60	1,17	0,53
4	Печорское	0,16	0,44	0,20
5	Ертомское	0,99	1,81	0,82
6	Удорское	0,96	1,76	0,80
7	Вымское	0,97	1,78	0,81
8	Сосногорское	0,84	1,56	0,71
9	Вуктыльское	0,44	0,90	0,41
10	Ухтинское	0,75	1,42	0,65
11	Троицко-Печорское	1,01	1,85	0,84
12	Печоро-Илычское	0,62	1,20	0,55
13	Айкинское	1,06	1,93	0,88
14	Железнодорожное	0,92	1,70	0,77
15	Сторожевское	0,99	1,81	0,82
16	Помоздинское	1,01	1,85	0,84
17	Усть-Немское	1,13	2,05	0,93
18	Комсомольское	0,94	1,73	0,79
19	Сыктывдинское	1,27	2,28	1,04
20	Сыктывкарское	1,22	2,20	1,00
21	Корткеросское	1,33	2,38	1,08
22	Усть-Куломское	1,35	2,41	1,10
23	Сысольское	1,38	2,46	1,12
24	Койгородское	1,39	2,48	1,13
25	Кажимское	1,40	2,49	1,13
26	Прилузское	1,36	2,43	1,10
27	Летское	1,65	2,91	1,32
	Среднее:	0,99	1,81	0,82

Примечания:

1. В таблице сохранено наименование лесничеств по состоянию на 01.01.1991 г. Прирост и коэффициенты относительной продуктивности указаны для центра территории лесничества. В Корткеросском участковом лесничестве Корткеросского лесничества выровненный средний прирост 1,22, а прирост в осушаемых сосняках травяно-сфагновых 2,20 м³/год. Коэффициенты относительной продуктивности для Междуреченского, Мещурского, Усинского, Локчимского, Прутского лесничеств могут быть рассчитаны методом интерполяции.
2. Расчетный годичный прирост принят по данным, полученным в сосняках травяно-сфагновых на осушаемых площадях.

Матрица факторных нагрузок рассчитана методом главных факторов. Установлено, что большая часть суммарной дисперсии может быть учтена четырьмя обобщенными факторами (Ф1—Ф4). Обобщенные факторы — это факторы, которые являются функциями исследуемых параметров. Они, как правило, непосредственно не измеряются, а их содержательный смысл может быть неизвестен. Обобщенные факторы объясняют многообразие корреляционных связей между параметрами и могут быть интерпретированы на основании анализа этих связей.

Первый обобщенный фактор ($\Phi 1$) учитывает 59 % суммарной дисперсии. Для этого фактора характерны высокие вклады параметров, характеризующих температурный режим в отдельные месяцы и периоды. В факторном пространстве первого и второго обобщенных факторов учетные единицы (лесничества) располагаются вдоль оси $\Phi 1$ согласно с их широтным положением, т. е. по градиенту теплообеспеченности. В связи с этим $\Phi 1$ можно интерпретировать как обобщенный фактор теплообеспеченности.

Второй обобщенный фактор ($\Phi 2$) учитывает 18 % суммарной дисперсии параметров, отражающих статьи прихода и расхода влаги или рассчитанных с использованием сумм осадков. В факторном пространстве первого и второго обобщенных факторов лесничества располагаются вдоль оси $\Phi 2$ в соответствии с влагообеспеченностью. Так, крайнее положение в отрицательной области $\Phi 2$ занимают Ижемское и Каджеромское лесничества с годовым количеством осадков около 400 мм, а в положительной области — Вуктыльское, Печоро-Илычское и Комсомольское лесничества, расположенные вдоль западного склона Уральского хребта, где годовое количество осадков превышает 650 и может достигать 1 000 мм. Второй обобщенный фактор можно интерпретировать как обобщенный фактор влагообеспеченности.

Третий обобщенный фактор ($\Phi 3$) учитывает 10 % суммарной дисперсии. Отражает вклад кислотности почв, минерализации поверхностных вод в период летней межени и годовой ионный сток рек и может быть интерпретирован как обобщенный гидрохимический фактор.

Четвертый обобщенный фактор ($\Phi 4$) учитывает 4 % суммарной дисперсии. Характеризует вклад такого параметра, как высота над уровнем моря. Может быть интерпретирован как обобщенный гипсометрический фактор.

В соответствии со схемой распределения учетных единиц (лесничеств) в факторном пространстве $\Phi 1$ — $\Phi 2$ территория Республики Коми может быть разделена на районы (рис. 4), отличающиеся по тепло- и влагообеспеченности, а также по комплексу параметров, учтенных обобщенными факторами, например, скорости опускания земной коры, глубине появления термальных вод и т. д. Ниже приводится краткая характеристика районов с указанием лесничеств, расположенных на их территории.

Разделение территории Республики Коми на гидромелиоративные районы и подрайоны позволяет рассматривать их как территории, достаточно однородные по лесорастительным условиям и характеризующиеся близкими характеристиками лесоводственного эффекта осушения. Для данных районов могут быть рассмотрены общие подходы к назначению массового или выборочного осушения с учетом опыта лесоосушения в районе, а также рекомендованы комплексы природоохранных мероприятий.

сти в указанном районе связана с тем, что значительная часть территории представлена предгорными увалистыми и горными районами. По условиям рельефа местности ввиду низкой производительности лесных земель (средний прирост 0,4—0,9 м³/га в год) и в связи с расположением на территории района Печоро-Илычского заповедника и национального парка «Югыд ва» планировать лесосушение здесь не следует. Для региона в целом большое значение имеет проведение в данном районе водоохраных мероприятий с целью сохранения естественных условий размножения печорской семги.

Район III объединяет Сосногорское, Ухтинское и Троицко-Печорское лесничества. Район располагается в центральной части республики, в северной и средней подзонах тайги. Большая часть его территории находится на возвышенностях Тиманского кряжа в геотермической провинции повышенных температур, а район г. Ухты — в зоне гидротермальной аномалии. Учитывая то, что вопросы взаимосвязи производительности насаждений с теплообеспеченностью почв до и после осушения в таких условиях не изучены, выделять зоны массового лесосушения здесь не следует. По данным наших исследований, выполненных в Ухтинском лесничестве, эффективность осушения широко распространенных здесь спелых и перестойных древостоев низкая.

Район IV объединяет остальные лесничества Республики Коми и может быть разделен на три подрайона. Подрайон IV-1 включает Ертомское, Удорское и Вымское лесничества, отличающиеся от лесничеств III района по гидрогеологическим условиям. По характеристикам теплообеспеченности сравнимые группы лесничеств близки, а сумма температур более 10 °С в подрайоне IV-1 меньше, чем в районе III. Как и в III районе, выделять зоны массового лесосушения здесь нецелесообразно. Подрайон IV-2 расположен в основном в подзоне средней тайги. В него входят Айкинское, Железнодорожное, Сторожевское, Помоздинское, Усть-Немское, Сыктывдинское, Сыктывкарское, Корткеросское, Усть-Куломское, Сольское, Койгородское, Кажимское и Прилузское лесничества. Опыт лесосушения в Корткеросском, Сыктывкарском, Железнодорожном лесничествах показывает, что при правильном подборе гидролесомелиоративного фонда, качественном выполнении работ по строительству и эксплуатации осушительных систем гидротехнические мелиорации лесных земель здесь являются реальным средством повышения продуктивности лесов, произрастающих на потенциально плодородных, но избыточно увлажненных почвах. Подрайон IV-3 включает Летское лесничество, которое находится в подзоне южной тайги. Значительная часть его территории расположена на возвышенностях Северных Увалов. Учитывая расчлененность рельефа, низкую заболоченность территории и распространение эрозионноопасных почвообразующих пород, лесосушение в данном лесничестве планировать не следует.

Для построения линий относительной продуктивности использовали литературные данные о величине среднего прироста древесины в лесных массивах [23] и данные о текущем среднепериодическом приросте в осушаемых сосновых насаждениях, произрастающих на переходных торфяниках в Ухтинском, Железнодорожном, Корткеросском и Сыктывкарском лесничествах.

Значения среднего прироста выравняли по уравнению:

$$Y = 0,985 + 0,345\Phi_1 + 0,003\Phi_2 - 0,065\Phi_3 - 0,065\Phi_4 \quad (33)$$

$$(N = 27; R = 0,84; R^2 = 0,70; F = 12,9; F_{0,001} = 6,8),$$

где Y — средний прирост, м³/га в год; Φ_1 — Φ_4 — обобщенные факторы.

Установлено, что текущий среднепериодический прирост в насаждениях на осушаемых площадях тесно связан с выравненным по уравнению (33) средним приростом. Взаимосвязь может быть аппроксимирована уравнением (34):

$$Y = (1,66X + 0,17) \pm 0,04 \quad (34)$$

$$(R = 0,99; R_{0,05} = 0,75),$$

где Y — текущий среднепериодический прирост в первое после осушения 10-летие в сосняках на переходных торфяниках, м³/га в год; X — средний выравненный прирост, м³/га в год.

Возможный годичный прирост в осушаемых сосняках на переходных торфяниках в лесничествах республики рассчитали на основе зависимости между текущим среднепериодическим и средним приростом и обобщенными факторами. Прирост в Корткеросском участковом лесничестве Корткеросского лесничества и Сыктывкарском лесничестве, равный 2,2 м³/га в год, приняли за 1,0, а приросты в других лесничествах выразили в долях от него. Выбор указанных лесничеств в качестве базы для расчета коэффициентов относительной продуктивности объясняется следующим. Здесь выполнены большие объемы гидромелиоративных работ, результаты осушения достаточно изучены. Кроме этого, указанные лесничества ближе других расположены к геометрическому центру зоны целесообразного осушения в границах подрайона IV-2. Коэффициенты относительной продуктивности позволяют прогнозировать лесоводственный эффект осушения в лесничествах Республики Коми. Для этого текущий или дополнительный прирост в осушаемых насаждениях Корткеросского участковом лесничества Корткеросского лесничества необходимо умножить на коэффициент относительной продуктивности лесничества или участковом лесничества, в котором выполняются гидромелиоративные работы.

Сравнение коэффициентов относительной продуктивности на территории Республики Коми [31] показывает, что при продвижении с юга на север расчетные коэффициенты уменьшаются с большей скоростью, чем нормативные. Так, согласно нашим данным, коэффициенты в Сыктывкарском и Ухтинском лесничествах равны соответственно 1,00 и 0,65, т. е. уменьшение составляет 35 %. Нормативные показатели для этих лесхозов 0,6 и 0,48, т. е. снижение относительной продуктивности равно 20 %. Указанные различия, видимо, связаны с недостаточной детализацией линий относительной продуктивности, если последние интерполируются для большой территории. Расчетные коэффициенты относительной продуктивности уменьшаются при движении с юга на север и от западных границ Республики Коми к Уральскому хребту. Это отражает общую тенденцию изменения лесорастительных условий в республике, связанную с широтными зональными различиями и усилением континентальности климата в направлении с запада на восток. Конфигурация линий относительной продуктивности характеризуется усложнением их формы в районе Тиманского кряжа. Это может быть вызвано отличием указанного района от сопредельных

районов по гидрогеологическим условиям и такой характеристике, как высота над уровнем моря. Влияние горного Урала проявляется в изменении широтного направления линий относительной продуктивности на направление вдоль главного водораздела Уральского хребта. Наиболее высокие части Урала характеризуются арктическими условиями. Поэтому сгущение линий относительной продуктивности на территории западного макросклона Урала является отражением вертикальной зональности в данной горной стране.

Таким образом, сложность геологических и гидрогеологических условий, большая протяженность республики с севера на юг обуславливают своеобразие лесорастительных условий и зональности лесоводственного эффекта осушения на ее территории. Если допустить устойчивость климатических характеристик, то зона целесообразного лесосушения должна быть ограничена юго-западной частью Республики Коми, занимающей около $1/5$ ее площади.

Практический и теоретический интерес может представлять сравнение полученных результатов с районированием, выполненным по аналогичной методике, применительно к большей территории, например в границах Европейского Севера. Исторически сложившееся название «Европейский Север» относится к северу европейской части России. Границы этого района определены недостаточно точно. Чаще всего в него включают территории Архангельской, Вологодской и Мурманской областей, Карелии и Республики Коми. В свою очередь, территория гидромелиоративного освоения в границах Европейского Севера охватывает в основном Вологодскую область, южные и центральные районы Архангельской области, Карелии и Республики Коми. Для Европейского Севера характерно более или менее равномерное изменение климатических условий, почв и растительного покрова с севера на юг. В то же время наряду с широтной зональностью на рассматриваемой территории наблюдаются существенные изменения природных условий с запада на восток. Последние связаны с нарастанием континентальности климата к востоку, а также с различиями в геологическом строении и истории развития рельефа. Указанные изменения учитывались при гидроресурсном районировании как отдельных областей и республик Европейского Севера [34], так и всей его территории. В данном случае выполнено районирование территории Архангельской и Вологодской областей, Республики Карелия и Республики Коми на основе единых методов и учитываемых факторов. За учетную единицу приняты административные районы. Характеристика физико-географических условий их территории по 21 параметру выполнена на основе анализа справочных материалов по климату, гидрогеологии, динамике земной коры и др. Матрица факторных нагрузок рассчитана методом главных факторов, количество которых восемь.

На основе факторного анализа на территории Европейского Севера выделено семь гидромелиоративных районов. Дифференцирование на районы с запада на восток наблюдается в северной и центральной частях рассматриваемой территории. Южные районы Республики Карелия, Архангельской области, всей Вологодской области и южные районы Республики Коми представляют собой единый блок административно-территориальных подразделений, вытянутый полосой с запада на восток. Разделение района VII на подрайоны на основ

анализа распределения учетных единиц в факторном пространстве затруднительно. Тем не менее вследствие своеобразия физико-географических условий, а также ввиду различия региональных природоохранных требований реализации комплекса гидромелиоративных мероприятий здесь, видимо, целесообразно осуществлять в четырех подрайонах, выделенных в границах областей и республик, входящих в гидромелиоративный район VII Европейского Севера: VII-1 — южные районы Республики Карелия; VII-2 — южные районы Архангельской области; VII-3 — Вологодская область; VII-4 — юго-западные районы Республики Коми (рис. 5).

Сравнение полученных результатов с районированием, выполненным по аналогичной методике применительно к меньшей территории (в границах Республики Коми), показывает следующее. При районировании территории только Республики Коми вдоль западного склона Урала выделялся самостоятельный гидромелиоративный район в составе Вуктыльского и большей части территории Троицко-Печорского района. При обработке общего массива данных для Европейского Севера Вуктыльский район оказался включенным в гидромелиоративный район V, а Троицко-Печорский — в гидромелиоративный район VI. При этом в район V включен Лешуконский район Архангельской области. Выделенный ранее как самостоятельный Центральный гидромелиоративный район по результатам последней обработки был включен в состав гидромелиоративного района VI. Все это свидетельствует о том, что, во-первых, искусственное ограничение районированной территории административными границами области или республики не обязательно согласуется с природными рубежами. Во-вторых, по мере увеличения общей площади районированной территории укрупняются выделяемые районы, усиливается значение зональных различий по сравнению с провинциальными. Тем не менее для территории Республики Коми наблюдается практически полное совпадение северной границы зоны целесообразного осушения в обоих вариантах районирования. Некоторые отличия, видимо, обусловлены изменениями границ учетных единиц за рассматриваемый период и могут быть установлены на основе визуального анализа картографических материалов.

Предлагаемое гидромелиоративное районирование территории Европейского Севера России может служить основой при разработке схем гидромелиоративного освоения и дифференцированных лесоводственных систем, ориентированных на вовлечение в хозяйственный оборот избыточно увлажненных лесных площадей.

Анализ литературных данных и результатов исследования на мелиорированных лесных землях Европейского Севера показывает, что в районе I, объединяющем территории крайнего северо-востока европейской части России, леса на естественно дренированных и на осушаемых площадях характеризуются низкой производительностью. Здесь возможны такие последствия гидромелиорации лесных земель, как развитие солифлюкационных и термокарстовых явлений и термоэрозии. Опускание уровней воды после проведения осушительной мелиорации не может компенсировать недостаток тепла. В связи с этим массовое осушение лесных земель в данном районе нецелесообразно.

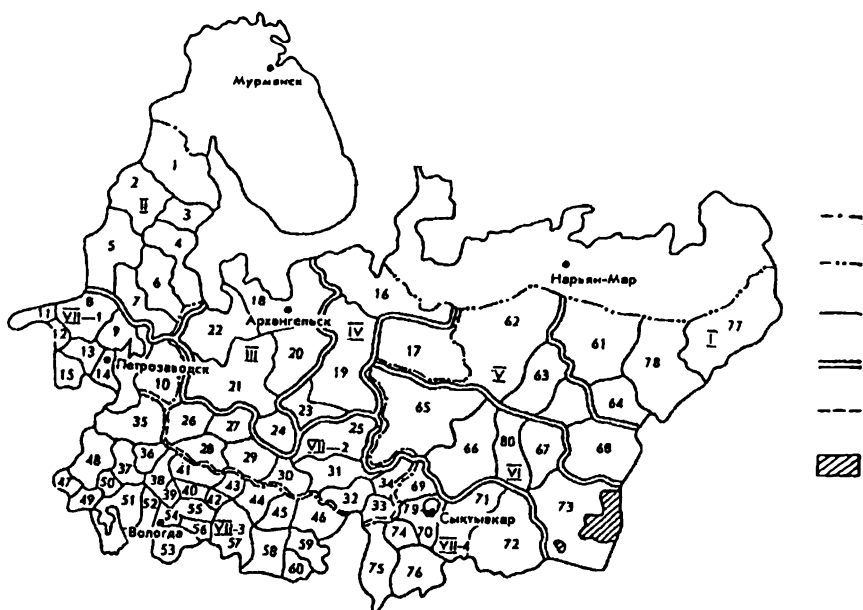


Рис. 5. Схема разделения территории Севера европейской части России на гидромелиоративные районы и подрайоны:

1—VII — гидромелиоративные районы; VII—1 — VII—4 — подрайоны;

1—80 — административно-территориальные подразделения — районы.

Республика Карелия: 1 — Лоухский, 2 — Калевальский, 3 — Кемьский, 4 — Беломорский, 5 — Муезерский, 6 — Сегежский, 7 — Медвежьегорский, 8 — Суоярвский, 9 — Кондопожский, 10 — Пудожский, 11 — Сортавальский, 12 — Пяткаринский, 13 — Пряжинский, 14 — Прионежский, 15 — Олонецкий;

Архангельская область: 16 — Мезенский, 17 — Лешуконский, 18 — Приморский, 19 — Пинежский, 20 — Холмогорский, 21 — Плесецкий, 22 — Онежский, 23 — Виноградовский, 24 — Шенкурский, 25 — Верхнетоемский, 26 — Каргопольский, 27 — Няндомский, 28 — Коношский, 29 — Вельский, 30 — Устьянский, 31 — Красноборский, 32 — Котласский, 33 — Вилегодский, 34 — Ленский;

Вологодская область: 35 — Вытегорский, 36 — Вашкинский, 37 — Белозерский, 38 — Кирилловский, 39 — Усть-Кубинский, 40 — Харовский, 41 — Вожегодский, 42 — Сямженский, 43 — Верховажский, 44 — Тарногский, 45 — Нюксенский, 46 — Великоустюгский, 47 Чagodщенский, 48 — Бабаевский, 49 — Устюженский, 50 — Кадуйский, 51 — Череповецкий, 52 — Шекснинский, 53 — Грязовецкий, 54 — Вологодский, 55 — Сокольский, 56 — Междуреченский, 57 — Тотемский, 58 — Бабушкинский, 59 — Кичм-Городецкий, 60 — Никольский;

Республика Коми: 61 — Усинский, 62 — Усть-Цилемский, 63 — Ижемский, 64 — Печорский, 65 — Удорский, 66 — Княжпогостский, 67 — Сосногорский, 68 — Вуктыльский, 69 — Усть-Вымский, 70 — Сыктывдинский, 71 — Корткеросский, 72 — Усть-Куломский, 73 — Троицко-Печорский, 74 — Сысольский, 75 — Прилузский, 76 — Койгородский, 77 — территория, подчиненная Воркутинскому горсовету; 78 — территория, подчиненная Интинскому горсовету; 79 — территория, подчиненная Сыктывкарскому горсовету; 80 — территория, подчиненная Ухтинскому горсовету.

Границы: а — республик и областей; б — национальных округов; в — административных районов; г — гидромелиоративных районов; д — гидромелиоративных подрайонов; е — территория Печоро-Илычского заповедника

Район II включает северные и центральные районы Республики Карелия, в которых дополнительный текущий прирост составляет от 50 до 80 % прироста в южных районах [8; 38]. Это указывает на необходимость дифференцированного подхода при подборе объектов гидромелиорации и реконструкции осушительных систем.

Районы III и IV представлены северными и центральными территориями Архангельской области. Перспективы развития лесоосушения в подзоне северной тайги для выделенных районов могут быть определены на основе оценки интенсивности освоения лесосырьевых баз и возможностью сочетания гидромелиорации лесных земель с их удобрением.

Районы V и VI включают в основном северо-западные, центральные и юго-восточные территории Республики Коми. В связи с тем, что производительность лесных земель в этих районах низкая, часть территории представлена предгорными и горными районами, территорией Печоро-Илычского заповедника и национального парка «Югыд ва», а также ввиду специфических гидро-термических условий, выделять зоны массового лесоосушения здесь не целесообразно. Следует отметить, что ограничения по проведению гидромелиорации в районах II—VI за пределами охраняемых территорий не должны распространяться на осушение заболачивающихся вырубок или лесокультурного фонда, если целесообразность искусственного дренирования обоснована лесоводственно и экономически.

Район VII включает южные территории Республики Карелия, Архангельской области и Республики Коми, а также всю Вологодскую область. Исследования показывают, что гидромелиорация лесных земель здесь является высокоэффективным мероприятием.

На основе предложенной выше методики гидромелиоративного районирования конкретная территория может быть разделена на районы, однородные по лесорастительным условиям и характеризующиеся близким лесоводственным эффектом осушения. При этом необходимо учитывать, что при увеличении площади районированной территории возрастает значение зональных различий по сравнению с провинциальными. Для выделенных районов могут быть рекомендованы единые системы гидромелиоративного освоения, учитывающие особенности физико-географических условий, требования охраны природы, местный опыт лесоосушения и результаты исследования продуктивности мелиорированных насаждений и трансформации водного и температурного режима почв, реализован пространственно-территориальный принцип системного подхода в лесоводственной науке.

Необходимо учитывать, что пространственная структура территориальных органов субъектов Российской Федерации со временем может меняться. Так, например, в Республике Коми с 1982 по 1992 гг. дважды осуществлялось объединение и разделение территории отдельных лесхозов или их групп. Возможно, для целей гидромелиоративного районирования может быть полезно использование учетных единиц, образованных на основе координатной или градусной сетки, а также системы линий, отражающих изменение по территории субъекта Российской Федерации (в соответствии с изменением экологических

факторов) таких показателей, как неполный средний прирост, полный средний прирост, биологическая продуктивность лесных биогеоценозов без разделения или с разделением на фракции, относительная продуктивность насаждений и т. д. Указанные системы линий, наряду со схемой районирования, могут служить целям разработки региональных систем лесоводства и систем повышения продуктивности лесов, наглядной демонстрации целесообразности организации лесного хозяйства на избыточно увлажненных лесных землях с учетом провинциальных, а не только широтных различий, оценки бассейнового метода организации территории лесничеств, гидромелиоративных районов, подрайонов и т. д. Анализ конфигурации линий относительного прироста показывает, что в северной части Республики Коми их направление совпадает на значительном протяжении с широтным. Поэтому целесообразно объединение лесничеств в более крупные территориально-производственные подразделения, вытянутые с востока на запад. В восточной и юго-восточной частях республики, прилегающих к западному склону Урала, направление линий близко к меридиональному. В данной части объединение лесничеств или других учетных единиц целесообразнее выполнять так, чтобы районы были вытянуты с севера на юг. И в первом, и во втором случае таким образом может быть существенно снижена вариабельность показателей производительности лесов ввиду уменьшения амплитуды колебания экологических факторов (тепло- и влагообеспеченности, эдафических условий и др.). В свою очередь это позволит обеспечить одинаковый подход к разработке региональных систем повышения продуктивности лесов в границах выделенных районов.

Таким образом, при разработке основных положений региональных систем гидромелиоративного освоения избыточно увлажненных лесных земель одним из обязательных этапов является гидромелиоративное районирование. Планирование лесного хозяйства в таких условиях должно базироваться на комплексной оценке лесных ресурсов и физико-географических условий. Одним из путей такой оценки являются методы многомерного анализа, применение которых позволяет насыщать географическую основу экологической, лесоводственной и гидромелиоративной информацией в зависимости от объема решаемых задач. Гидромелиоративное районирование и системы повышения производительности избыточно увлажненных лесных земель являются реальным инструментом для достижения целей устойчивого лесного хозяйства в данных условиях.

Контрольные вопросы к главе 3

1. В чем проявляется зональность лесоводственного эффекта осушения?
2. Какая методика может быть использована для оценки гидромелиоративного фонда в связи с географическим положением объектов осушения?
3. В чем заключаются цели и задачи гидромелиоративного районирования?
4. Привести примеры региональных схем гидромелиоративного районирования лесного фонда РФ.

ГЛАВА 4. ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫЙ ФОНД

4.1. 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 и 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 расходом ее надземными частями в процессе транспирации. Это условие выполнимо при оптимальной увлажненности почвы. Исследования показывают, что нормальная увлажненность наблюдается, когда в почве примерно 2/3 почвенных пор занята водой, а 1/3 заполнена воздухом. Такое состояние возникает при увлажненности на уровне полевой влагоемкости.

Содержание воздуха в почве можно определить по формуле:

$$V = P - \alpha r, \quad (35)$$

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 ее основным фактором. 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 следует удалить избыточную влагу почвы в целях освобождения необходимого количества пор от воды. По исследованиям Н. П. Поясова [37], 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 переувлажненных почвах значительную часть времени летом и постоянно весной и осенью почва практически 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 растениях проявляется не только в уменьшении содержания воздуха в почве и ухудшении аэрации, но и непо-

средственно в виде подтопления корневых систем. Исследования показали, что грунтовые воды торфяных почв почти постоянно полностью лишены кислорода. Приведем некоторые результаты исследований.

	Май	Июнь	Июль
Содержание кислорода в грунтовых водах болот, мг/л, на глубине, см:			
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 [32], которыми доказано, что при подтоплении корневых систем водами с содержанием кислорода менее 1—2 мг/л на протяжении более 4—5 дней происходит отмирание корней. Поэтому, изучая влияние на рост леса грунтовых вод, измеряют уровень их каждые 5 дней. В переувлажненных почвах ухудшается режим питания. По данным А. В. Хотяновича [50], 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 длительности затопления и физиологического состояния деревьев в период затопления. Менее отрицательны последствия при затоплении леса до периода вегетации. Наблюдения при подъеме воды в р. Тосне (Ленинградская область) и затоплении участков леса в период с 15 апреля по 10 мая не выявили отрицательной реакции сосны, березы и осины. В. И. Рубцов, проводя 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 устойчивости к затоплению (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 двукветная, 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. В более низких горизонтах почвы вода заполняет поры так же, как и до осушения. Подтопление различных горизонтов почвы возможно и после осушения. Длительность подтопления корнеобитаемой зоны на болотах, осушенных каналами, проведенными через 130 м, при глубине их около 1 м, приведена в табл. 7.

Табл. 7. Продолжительность подтопления зоны аэрации за май-сентябрь, сут [3]

Тип болота	Глубина, см, от поверхности почвы									
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Переходное	9	21	32	42	60	73	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. 8) по сравнению с атмосферным воздухом характеризуется повышенным содержанием CO_2 при уменьшении концентрации кислорода. Известно, что для нормального роста растений нежелательно повышение концентрации CO_2 в ризосфере корней свыше 2 %. Поскольку концентрация CO_2 в почве увеличивается по мере ее прогревания и усиления микробиологических процессов, в мае количество CO_2 увеличивается при уменьшении O_2 .

Табл. 8. Содержание углекислого газа и кислорода в воздухе осушенного переходного торфяника, % [3]

Газ	Май		Июнь		Июль
	Глубина, см				
	10	30	10	30	10
CO ₂	0,39	5,5	0,32	6,7	0,44
O ₂	20,28	6,5	20,32	4,5	20,21
CO ₂ + O ₂	20,67	12,0	20,64	11,2	20,65

Продолжение табл. 8

Газ	Июль	Август		Среднее	
	Глубина, см				
	30	10	30	10	30
CO ₂	7,8	0,31	7,5	0,38	7,1
O ₂	7,2	20,16	6,1	20,24	6,3
CO ₂ + O ₂	15,0	20,47	13,6	20,62	13,4

При снижении уровней грунтовых вод летом происходит уменьшение запасов 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.

4.2. ЗАБОЛАЧИВАНИЕ СУШИ И ОБРАЗОВАНИЕ БОЛОТ

Избыточно увлажненные земли формируются 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 выделяют следующие основные типы водного питания: атмосферный, грунтовый, грунтово-напорный, намывной, смешанный (рис. 6).

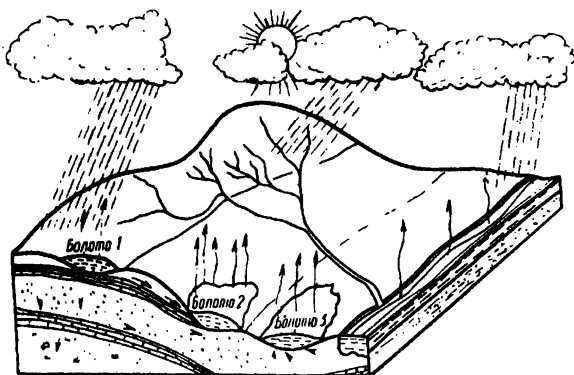


Рис. 6. Схема заболачивания при разных типах водного питания

Атмосферный тип водного питания наблюдается на участках, расположенных на водоразделах и в верхних частях склонов. В таких условиях на слабопроницаемых 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 составе содержат мало питательных зольных веществ, то на водоразделах характерно образование верховых болот.

Грунтовый тип водного питания отмечается на пониженных элементах рельефа, в замкнутых понижениях и в условиях притока (подъема) фильтрующихся вод из рек и водохранилищ. Заболачивание при грунтовом типе водного питания наблюдается в следующих случаях:

а) на пониженных элементах рельефа с малым уклоном на слабопроницаемых почвах или песчаных и супесчаных почвах, подстилаемых водупорными грунтами, когда грунтовые воды, стекающие в грунтах 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 формируются и перемещаются, обычно обогащены питательными веществами. На землях с таким водным питанием, как правило, образуются низинные или переходные болота (рис. 6, болото 2);

б) в условиях замкнутых понижений, с хорошо водопроницаемыми грунтами, подстилаемыми водупором, где вода, стекающая с водосбора и выпадающая непосредственно при атмосферных осадках, создает переувлажнение почв. В таких условиях идет интенсивное заболачивание с образованием пре-

имущественно 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. 6, болото 3);

в) при высоком положении уровней грунтовых вод в реках и водохранилищах за счет инфильтрации воды на прилегающие земли, когда происходит подъем грунтовых вод, наблюдаемый не только вблизи, но и на значительных удалениях от рек и водохранилищ, что приводит к развитию процессов заболачивания вначале на пониженных элементах рельефа, а затем и на значительной или всей территории в зоне подпора. Примером такого заболачивания является прогрессирующий процесс образования болот в зоне Рыбинского водохранилища. Например, в Весьегонском лесхозе Тверской области 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 [16], заболачивание значительной части территории Латвии происходит за счет притока напорных вод с выше расположенных 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:

а) в местах разгрузки грунтовых вод, когда они выходят (выклиниваются) на поверхность, образуя ряд озер, расположенных цепочкой, часто соединенных протоками, или ряд заболоченных участков;

б) 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.

Смешанный 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 и постоянно избыточно увлажненные.

Временно избыточно увлажненные 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 нет и моховой растительности, достаточного опада и травяной растительности, не образуется торфяной горизонт, а следовательно, не происходит и заболачивания.

Постоянно избыточно увлажненные 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, при этом формируется торфяной горизонт. По величине мощности торфа постоянно избыточно увлажненные земли подразделяются на заболоченные и болота. 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.

Заболачивание лесов происходит при определенных условиях. Например, на тяжелых почвах в пос. Лисино (Ленинградская область) 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 вла-

голубовая растительность, а в дальнейшем — и сфагновые мхи. Образуется огорфованный горизонт, и происходит заболачивание. По-видимому, таким путем образовалось болото Суланда в Лисинском учебно-опытном лесхозе. Можно наблюдать 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. Кощеева [19]. 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 3 553 га. В результате образовалось Хейновское болото, составившее вместе с примыкающими заболоченными землями площадь около 2 000 га.

Заболачивание речных пойм и стариц. Поймой называется ежегодно затопливаемая половодьем часть речной долины. Весенние воды приносят в пойму большое количество взвешенных веществ, богатых органикой. Поэтому истари пойменные луга считались наиболее продуктивными. В случаях с широкими поймами при малых их уклонах долго застаивающаяся вода намывного питания приводит к появлению вначале гигрофитной расти-

тельности (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 естественно 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 улучшение роста с противоположной стороны, где произошло некоторое понижение их уровня. В результате такого воздействия образуются тысячи гектаров заболоченных земель.

Зараствание водоемов. Значительная часть болот европейской части нашей страны образовалась путем зарастания водоемов, преимущественно озер. Схема образования таких болот подробно рассмотрена В. Н. Сукачевым [48]. Зараствание начинается с отложения на дне водоемов сапропеля, образующегося из планктонных организмов и отмирающих водорослей. С течением времени сапропель полностью заполняет водоем и на нем появляется осоковая и камышовая растительность. Отмирающая растительность образует торф. По виду отмирающей растительности определяют вид торфа — осоковый, камышовый, тростниковый, а по составу торфа — происхождение болота. Например, болота, образовавшиеся на месте бывших озер, в составе торфа обязательно содержат сапропель. Образование растительного слоя может происходить и на поверхности водоема, образуя при этом сплаvinу. С течением времени сплавина и донные отложения соединяются, происходит полное заторфовывание водоема. На поверхности торфяных отложений появляются кустарнички и сфагновые мхи и начинается рост болота вверх. Скорость нарастания сфагнума вверх достигает 3—5 см в год. Однако мощность торфяной залежи вследствие разложения и уплотнения торфа увеличивается только на несколько миллиметров в год. Мощность торфяных отложений, образовавшихся за тысячи лет, может достигать нескольких метров, иногда превышая 10—15 м.

Процесс зарастания водоемов в последние годы значительно усилился вследствие эвтрофикации из-за интенсивного поступления в водоемы антропогенных продуктов, и прежде всего фосфора.

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 (евтрофные) — обогащенные болота, переходные (мезотрофные) — средние по богатству, олиготрофные (олиго — греч. мало) — бедные болота.

Общая площадь болот в лесном фонде России составляет около 130 млн га [51]. Для целей осушения СПБНИИЛХ предлагает более детальную классификацию типов болот, добавляя к вышеназванным трем типам 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).

По строению торфяной залежи торфяные болота подразделяют на однослойные (простые) и слоистые (сложные). Строение залежи влияет на передвижение грунтовой воды и поступление воды в каналы. К однослойным относят залежи, где коэффициент фильтрации для слоя, определяемого глубиной осушительных каналов, по мере увеличения глубины канала изменяется мало. В слоистых залежах коэффициент фильтрации верхних слоев (до глубины 0,3—0,5 м) в 10—100 раз (на один-два порядка) выше, чем коэффициент фильтрации ниже расположенных слоев. В этом случае нижний слой является относительным водоупором для верхнего.

Объем и площадь любого болотного массива постоянно увеличиваются. Происходит рост болот в высоту и в сторону, постоянно увеличивая площадь заболачивания. Исследования в Белоруссии показали, что сфагновые болота ежегодно расширяются на 0,9—5,3 м. Чем меньше уклон территорий, окружающих болото, тем быстрее разрастается болото в сторону. По данным Н. И. Пьявченко [38], на севере европейской части России в период интенсивного болотообразования ежегодно заболачивалось до 7 тыс. га земель. В целях предотвращения роста болот в сторону и заболачивания новых территорий необходимо устройство оградительных каналов.

4.3. КАТЕГОРИИ ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ И ОБЪЕКТЫ ОСУШЕНИЯ

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

Площадь земель, испытывающих избыточное увлажнение, в гослесфонде РФ (рис. 7) составляет 224 311 тыс. га, или около 22 % общей площади лесных земель [45]. В европейской части РФ наибольшая заболоченность лесного фонда наблюдается в Калининградской области — около 90 %, в Псковской 51, Архангельской 45, Ленинградской 44, Вологодской 41 %; в Западной Сибири 65 % заболоченных лесных земель приходится на Новосибирскую область, 53 на Омскую, 47 % на Томскую область. Общая площадь гидромелиоративного фонда в северо-западном районе европейской части страны составляет свыше 42 млн га, в Западной Сибири — более 67 млн га.

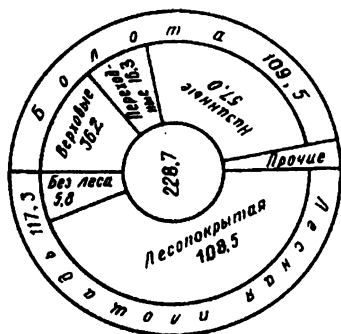


Рис. 7. Распределение гидромелиоративного фонда по видам земель, млн га

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 (см. главу 8) для разных объектов различна. Исследованиями установлено весьма слабое улучшение роста леса при осушении глубоких сфагновых болот. В России малозольные верховые сфагновые болота широко используют для добычи подстилочного торфа, применяемого на животноводческих фермах, с дальнейшим использованием в качестве удобрения. Торф применяют для брикетирования как топливо и в других целях. Поэтому большую часть болот верхового типа осушать для лесохозяйственных целей нецелесообразно. Для ограничения разрастания в стороны сфагновые болота следует ограничивать оградительными (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 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. Планируемые 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 произрастают древостой II—III классов бонитета. Осушать их целесообразно преимущественно в лесах зеленых зон в эстетических целях.

4.4. СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ОСУШЕНИЯ

Осушение земель проводят в основном двумя способами — открытыми каналами и закрытым дренажем. Лесные земли осушают преимущественно открытыми каналами. Применяют два метода осушения: 1) ускорением внутреннего стока с отводом воды через почвогрунт ниже основной массы корней или через корнеобитаемую зону; 2) ускорением 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 дренажем. Для перехвата притока грунтовых вод при неглубоком их залегании можно устраивать 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 водами 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.

4.5. 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 участков, и встречает меньше сопротивления движению благодаря большим уклонам с высокими скоростями, то вблизи осушительного канала наблюдается большее понижение грунтовых вод с постепенным повышением по мере удаления от канала. На участках, осушенных системой параллельных каналов, формируются кривые депрессии уровней грунтовых вод (рис. 8). Наличие уклона в сторону каналов создает впечатление, что движение грунтовой воды к каналам происходит в соответствии с уклоном кривой депрессии. Фактически движение воды подчиняется более сложным законам.

Исследованиями Н. Е. Жуковского установлено, что грунтовая вода может поступать в каналы по всему поперечному профилю канала 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 величины стока, как это установлено проф. Х. А. Писарьковым, примерно пропорциональны квадрату напора

$$q = CH^2,$$

(3)

где q — модуль стока; C — коэффициент, зависящий от типа почв и расстояний между каналами; H — величина напора (рис. 9).

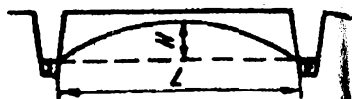


Рис. 8. Кривая депрессии уровня грунтовых вод на осушенных землях

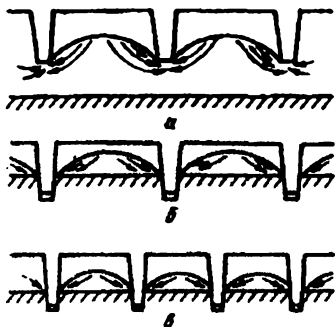


Рис. 9. Действие осушительной сети на болотах с разной глубиной торфа в зависимости от характера подстилающих грунтов

Теоретически понижение грунтовых вод может распространяться на очень большие расстояния от каналов. Однако сопротивления, встречаемые движущейся водой в грунте, согласно закону Дарси, уменьшают скорость фильтрации, ограничивают действие каналов определенными, довольно небольшими расстояниями. Скорость движения и количество грунтовой воды, поступающей в каналы, а следовательно, и режим грунтовых вод зависят от величины напора и изменения водопроницаемости грунта с глубиной, а на торфяных почвах и от глубины залегания водоупора. Подавляющая масса воды перемещается выше водоупора. При залегании водоупора ниже дна каналов нет особых препятствий для поступления воды в канал по всему его профилю, включая и дно. Линии отекания грунтовых вод при глубоком залегании водоупора приведены на рис. 9, 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.

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. Сходным оказывается действие осушительных каналов и в грунтах со слоистыми торфами, где верхний слабо разложившийся слой торфа подстилается хорошо разложившимся торфом. Исследованиями К. П. Лундина [25] установлено, что увеличение степени разложения на 10 % уменьшает ко-

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. 9, б). Для обеспечения необходимой величины понижения почвенно-грунтовых вод необходимо уменьшение расстояний между каналами (рис. 9, в).

4.6. НОРМЫ ОСУШЕНИЯ

Понятие «норма осушения» введено в гидромелиоративную науку академиком А. Н. Костяковым [22]. Под нормой осушения для земель, используемых в лесном хозяйстве, понимается минимальная 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 периода вегетации. 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 на всей полосе между каналами в течение всего периода вегетации. Следует учитывать также, что поскольку между осушительными каналами грунтовые воды располагаются по кривой депрессии, то уровни грунтовых вод различны и по мере удаления от каналов.

Сложность вопроса вызвала необходимость многочисленных исследований для установления норм осушения. Первые придержки по нормам осушения на основе собственных исследований и литературных данных привел 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 [35]. Учитывая выводы А. Н. Костякова [22] о необходимости поддерживать на осушаемой площади норму осушения в различные фазы роста и развития растений, Писарьков и Давыдов провели длительные исследования режима уровней грунтовых вод в различных древостоях разного возраста (табл. 9). Исследователи установили увеличение глубины стояния грунтовых вод при повышении класса бонитета. 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.

Табл. 9. Средние за май-август глубины грунтовых вод, см, при осушении минеральных почв для сосновых и еловых древостоев

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

Примечание. Для каждого класса бонитета в числителе — под насаждениями сосны, в знаменателе — под насаждениями ели.

Многолетние наблюдения за уровнями грунтовых вод (рис. 10) показали, что глубина их понижения на однотипных болотах увеличивается при сгущении осушительных каналов.

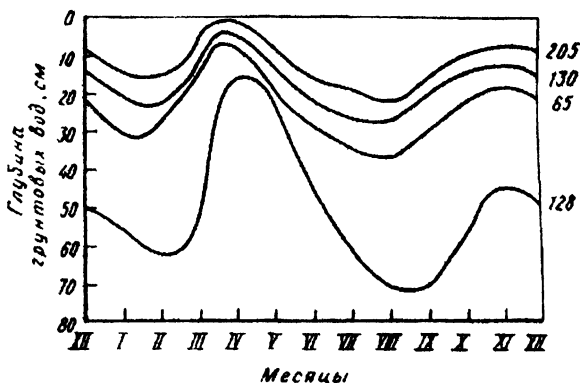


Рис. 10. Динамика грунтовых вод на осушенных болотах (205, 130, 65 — расстояния между каналами на верховом и 128 — на переходном болотах, м) [3]

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 высокобонитетными древостоями и более высокого подъема воды по капиллярам от грунтовых вод. Наиболее высокие за период вегетации (май-сентябрь) уровни грунтовых вод наблюдаются в мае. Положение грунтовых вод в мае существенно определяет бонитет древостоев на осушенных землях, поскольку в мае 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. 10).

**Табл. 10. Глубина грунтовых вод, см,
при осушении торфяных почв для сосновых древостоев [3]**

Тип болот	Класс бонитета						
	Ia	I	II	III	IV	V	Va
Верховые	—	—	—	20—22 40—45	15—20 30—40	10—15 20—30	5—10 15—20
Переход- ные	<u>30</u> 60	<u>15—20</u> 50—60	<u>10—15</u> 40—50	<u>5—10</u> 30—40	—	—	—

Примечание. В числителе глубина 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 богатых почвах объясняется возможностью корней растений получить необходимое количество пищи из меньшего по мощности слоя почвы. Исследования норм осушения, проведенные в различных климатических 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 из физического испарения и транспирации. Физическое испарение с поверхности почвы на верховых и переходных болотах различно. По исследованиям В. В. Романова [40], капиллярный подъем влаги на микроландшафтах верховых болот не превышает 17—30 см. При снижении уровней ниже 30—40 см (а при осушении возможно и более глубокое снижение уровней) испарение может резко уменьшаться. На переходных торфяниках капиллярный подъем влаги достигает 100—200 см, поэтому физическое испарение оказывается устойчивым. Формирующийся после осушения древостой за счет транспирации усиливает суммарное испарение. В годовом расходе влаги суммарное испарение превышает сток в 1,5—3 раза. За летне-осенний период (июнь-сентябрь) сток составляет 8—10 % (рис. 11). В отдельные месяцы стока по каналам на осушенных землях нет вообще. Суммарное испарение летом может превышать сумму выпавших осадков. В высокобонитетных древостоях в Ленинградской области суммарное испарение составляет 400—450 мм.

Наблюдения за изменением уровней грунтовых вод на осушенных болотах под влиянием осушения показывают, что после формирования на болоте сосняка III класса бонитета взамен сосняка V—Va классов бонитета грунтовые воды понижались на 20—30 % глубже. При выращивании культур сосны на осушенном переходном болоте в первые годы их роста грунтовые воды находились на глубине не более 35—45 см. После формирования на болоте соснового насаждения I—Ia классов бонитета грунтовые воды на глубине 35—45 см отмечались только весной. Летом уровень их снижался до глубины 60—80 см и более. Следовательно, обеспечив норму осушения в начальном периоде роста леса, в дальнейшем ее можно в значительной степени поддерживать за счет транспирации влаги древостоем.

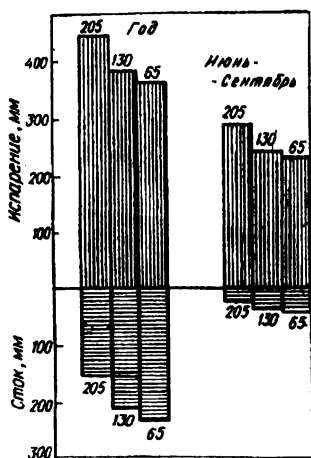


Рис. 11. Соотношения испарения и стока на осушенных болотах с расстояниями между каналами 205, 130 и 65 м [3]

При осушении земель под сельскохозяйственное использование имеются свои 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 значительно большую глубину и в более ранние сроки, чем при лесохозяйственном использовании. Для выращивания лесохозяйственными предприятиями сельскохозяйственных культур, проведения культурно-технических мероприятий и создания высокопродуктивных сенокосов требуется более интенсивное осушение, различное для разных видов сельскохозяйственных культур (табл. 11).

Табл. 11. Глубина грунтовых вод, см, при осушении сельскохозяйственных культур (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	40	50	50—60
Культуры:									
зерновые	80	60	65	80	45	50	55	40	60—70
технические	100	80	85	95	70	45	50	60	70
овощи и корнеплоды	90	70	75	85	60	45	50	60	70

Контрольные вопросы к главе 4

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

ГЛАВА 5. 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.

5.1. ОСУШИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ

Основным элементом осушительной системы является регулирующая 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.

Проводящая сеть служит для сбора воды из регулирующей сети и отвода (транспортировки) ее в водоприемники. К проводящей сети относятся транспортирующие собиратели и магистральные каналы.

Водоприемники необходимы для приема воды из осушительной сети. Водоприемниками могут служить ручьи, реки (включая и малые), озера, водохранилища, карстовые воронки, балки и др.

Расположение 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. Образующие при таком размещении участки между каналами удобны для проведения лесохозяйственных работ. Осушители по возможности не должны пересекать квартальные просеки и дороги, так как в местах пересечения необходимо устраивать мости 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 осушители можно, не снижая нормы осушения, не доводить до просек на половину расстояния, принятого для осушителей, если по просекам 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. 12).

В зависимости от рельефа местности осушители можно подводить к 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, располагая их в направлении течения реки. Для сбора твердого стока такие собиратели оборудуют илоуловителями.

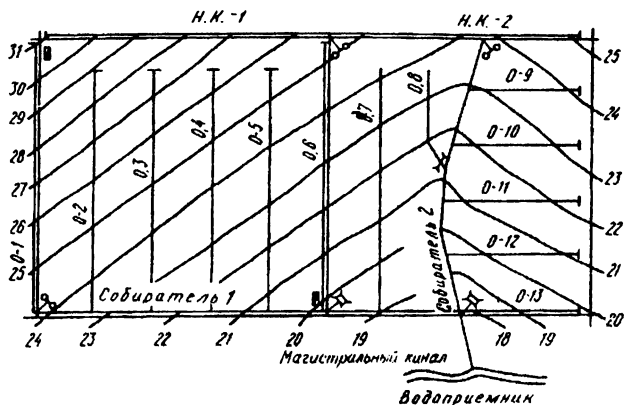


Рис. 12. Схема размещения осушительных каналов при систематическом осушении участка

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 не только поверхностных, но и грунтовых вод. В условиях грунтового-напорного типа водного питания их располагают так же, как и нагорные каналы. Глубина ловчих 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) осушения 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 каналов, а затем регулирующих каналов.

Оградительные (защитные) каналы рекомендуется устраивать для ограничения роста болот в стороны, если они не назначаются к осушению, в целях предотвращения заболачивания окружающих земель.

5.2. 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: 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:

$$L = 2 \sqrt{\frac{K h_1 h_2 t}{\delta(h_1 - h_2) - It + P_t}}, \quad (37)$$

где L — расстояние между осушителями, м; K — коэффициент фильтрации, м/сут; h_1 — начальный напор, м; h_2 — конечный напор, м; t — время понижения уровня грунтовых вод (сут) на величину $h_1 - h_2$; δ — удельная водоотдача; I — 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

$$\delta = 0,056 \sqrt{K} \sqrt[3]{h_1 - h_2}; \quad (38)$$

для торфяных почв — по формуле А. И. Ивицкого

$$\delta = 0,115 K^{3/8} (h_1 - h_2)^{3/4}. \quad (39)$$

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 приводит 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 учете 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 и подстилающих торф грунтов, особенностей строения почвенного профиля, состава и производительности древостоя. Совершенно недопустим лесоводственный 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. 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. Основой его является определение наиболее выгодного соотношения расходов на осушение и доходов от него. Польза технико-экономического метода заключается в том, что на его основе можно выполнить сравнительный анализ выгоды осушения разных типов леса и экономичности различных технологических схем производства, различных конструкций осушительной сети [9].

Комплексный метод предлагает определять расстояние на основе использования нескольких или всех вышеизложенных методов.

По мере интенсификации лесного хозяйства расстояния между осушителями стали уменьшаться. В конце XIX века расстояния между осушителями принимались равными 1 067 м при глубине их до 1,6 м. А. Д. Дубах в 30-х годах XX века рекомендовал расстояния на сфагновых болотах 300 м, на низинных 300—500 м. В 50-х годах, 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. 12). При грунтово-напорном питании расстояние между осушителями, указанные в табл. 12, уменьшаются на 25—30 %. Уменьшаются на 20—25 % расстояния и при осушении лесов зеленых зон, используемых для отдыха, а при осушении лесопарков расстояния 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 можно увеличить на 5—15 %.

Табл. 12. 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:			
болотно-широкоотравные, разнотравные, осоково-тростниковые	0,3—0,6	Глины, суглинки	170—190
	0,6—1,0	Глины, суглинки	190—210
	0,3—0,6	Супеси и мелкозернистые пески	240—260
	0,6—1,0	Пески средние и мелкозернистые	220—240
	0,3—0,6	Пески средние и мелкозернистые	270—290
	0,6—1,0	Пески средние и мелкозернистые	240—260
	1,0	Торф	210—230
осоково-сфагновые, тростниково-сфагновые, чернично-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 средние и мелкозернистые	170—190
	1,0	Торф	140—160
II. Сосняки, ельники, смешанные леса в условиях переходной и начальной стадии верхового типов заболачивания:			
долгомошниково-сфагновые	0,3—0,6	Глины, суглинки	150—170
	0,6—1,0	Глины, суглинки	170—190
	0,3—0,6	Супеси и мелкозернистые пески	190—210
	0,6—1,0	Пески средние и мелкозернистые	160—180
	0,3—0,6	Пески средние и мелкозернистые	210—230
	0,6—1,0	Пески средние и мелкозернистые	180—200
	1,0	Торф	170—200
долгомошниково-сфагновые	0,3—0,6	Глины, суглинки	130—150
сфагново-кустарничковые	0,6—1,0	Глины, суглинки	140—160
сфагново-пушицевые	0,3—0,6	Супеси и мелкозернистые пески	150—170
	0,6—1,0	Супеси и мелкозернистые пески	130—150
	0,6—1,0	Супеси и мелкозернистые пески	130—150
	0,3—0,6	Пески средние и мелкозернистые	160—180
	0,6—1,0	Пески средние и мелкозернистые	150—170
	1,0	Торф	140—160
сосняки сфагновые V—Va классов бонитета с зольностью торфа более 3 %	1,0	Торф	100—110

Примечания:

1. Между осушителями на участках с незаторфованными землями и периодически избыточным увлажнением принимаются расстояния 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 %.

Понижение уровня грунтовых вод на осушенных землях определяется не только отводом воды осушительными каналами, но и расходом влаги на суммарное испарение. Величина испарения сильно меняется в разных зонах,

уменьшаясь с севера на юг. Поэтому территория Российской Федерации разделена на девять климатических зон (табл. 13). Х. А. Писарьков и А. Ф. Тимофеев, принимая расстояния между осушителями в центральной зоне за 1, для остальных зон рекомендуют определять расстояния с учетом зональных коэффициентов. В табл. 13 приведены уточненные на основе последних исследований зональные коэффициенты.

Табл. 13. Зональные коэффициенты для определения расстояний между осушителями

Номер зоны	Республика, область	Поправочный коэффициент
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° 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—1,30
VIII	Томская, Омская, Кемеровская, Новосибирская, Свердловская обл., южная часть Тюменской обл.	0,80—0,90
IX	Челябинская, Курганская обл., Удмуртия	1,00—1,10

Расстояния между каналами при осушении земель под сельскохозяйственные культуры можно ориентировочно принимать по табл. 14. Меньшие расстояния рекомендуются для условий грунтово-напорного типа водного питания и водоупорных подстилающих грунтов.

Табл. 14. Расстояния между осушителями, м, при сельскохозяйственном использовании болот (по Х. А. Писарькову)

Культуры	Тип болот	Зона			
		северная	северо-западная	северо-восточная	центрально-ная
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

5.3. РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Одним из основных вопросов гидромелиорации является выбор оптимальных расстояний между осушительными каналами. В связи с этим данное направление исследований обязательно при разработке региональных систем

гидромелиоративных мероприятий. Как правило, вопросы оптимизации расстояний между осушительными каналами решаются с учетом специфических физико-географических условий региона. Примером может служить обоснование расстояний между регулируемыми осушителями для условий Республики Коми. Расчеты расстояний выполняли по уравнениям регрессии расстояний до каналов по классу бонитета.

При использовании лесоводственного метода в качестве рекомендуемого предлагается принимать не удвоенное расчетное расстояние от канала до середины межканальной полосы, а несколько меньшую величину [36]. Последнее условие может быть конкретизировано путем определения теоретического максимума производительности древостоев вблизи каналов на заданном уровне значимости. Теоретическую максимальную производительность приняли соответствующей верхнему значению варьирования класса бонитета древостоев вблизи канала на 5 % уровне значимости.

Анализ уравнений зависимости между классами бонитета древостоев и кратчайшим расстоянием до ближнего канала от центра пробной площади показал, что во всех случаях коэффициенты корреляции между классами бонитета и расстоянием до каналов положительные, т. е. производительность древостоев снижается с удалением от каналов. Коэффициенты регрессии для сосняков всех типов леса и ельников болотно-травяных средневозрастных достоверны на 0,1—10 % уровне значимости. В спелых ельниках болотно-травяных и ельниках долгомошниковой группы типов леса достоверность коэффициента регрессии может быть установлена только на более низком уровне значимости. На участках со слабоотторфованными лесными землями, где произрастают ельники черничниковые влажные, вследствие особенностей формирования режима влажности в верхних слоях минерального подстилающего грунта осушение оказывает слабое влияние на режим аэрации почвы. Поэтому реакция ели на осушение здесь слабая. Спелые ельники болотно-травяные и долгомошниковые на надпойменной террасе слабо реагируют на осушение ввиду биологической старости деревьев; возможно, на оценке тесноты связи сказывается то, что количество сравниваемых опытных участков для этих ельников меньше, чем для других типов леса [34].

В болотных лесах коэффициенты регрессии класса бонитета по расстоянию до канала отличаются большей величиной в насаждениях сфагновой (0,027—0,033) и меньшей — в насаждениях болотно-травяной группы типов леса (0,011—0,013), т. е. при олиготрофном типе заболачивания производительность древостоев снижается с удалением от канала более резко, чем при евтрофном. На водораздельных слабоотторфованных площадях коэффициенты регрессии класса бонитета по расстоянию до канала больше для сосняков сфагновых, отличающихся от насаждений других типов леса большей обводненностью и мощностью органогенных отложений.

Характеристики изменчивости производительности осушаемых насаждений при расстоянии центров пробных площадей от осушителей не более 15 м приведены в табл. 15. В прилегающей к каналу полосе при 90 % доверительном интервале ожидаемые отклонения от среднего в 82 % случаев не превышает

0,5 класса бонитета, т. е. условие, предложенное для разграничения таксационных выделов по величине класса бонитета, в основном выполнено. По уравнениям, отражающим зависимость расстояний от классов бонитета насаждений, рассчитывали 1/2 расстояния между каналами. При этом производительность насаждений на середине межканальной полосы принимали на один класс бонитета ниже максимальной. Полученные значения удваивали. Расчетные расстояния использовали с целью оптимизации межканальных расстояний.

Табл. 15. Статистические характеристики производительности насаждений вблизи каналов [4]

Тип леса	Коэффициент вариации, %	90 %-й доверительный интервал, $\bar{X} \pm t_{0,10} \cdot m$	Среднее квадратическое отклонение, σ	Максимальная производительность древостоев, $(\bar{X} - 1,96\sigma)$
Сосняк сфагновый на средне-мощной торфяной залежи	6,9	III,6 \pm 0,3	0,25	III,1
Сосняк травяно-сфагновый	11,2	III,1 \pm 0,3	0,35	II,4
Сосняк болотно-травяной	11,9	II,3 \pm 0,3	0,27	I,8
Ельник болотно-травяной средневозрастной	16,3	II,5 \pm 0,5	0,41	I,7
Ельник болотно-травяной спелый	8,1	Va, 2 \pm 0,6	0,50	V,2
Сосняк кустарничково-сфагновый на средне-мощной торфяной залежи	18,8	III,2 \pm 0,5	0,59	II,0
Сосняк-черничник влажный на водоразделе	5,5	IV,8 \pm 0,2	0,26	IV,3
Сосняк кустарничково-сфагновый на слабоотторфованных участках	15,1	IV,0 \pm 0,6	0,59	II,8
Сосняк сфагновый на слабоотторфованных участках	12,6	IV,0 \pm 0,4	0,50	III,0
Ельник-черничник влажный на водоразделе	2,9	Va, 4 \pm 0,2	0,24	V,9
Ельник-долгомошник на надпойменной террасе	8,5	V,7 \pm 0,4	0,48	IV,8

Расчеты расстояний выполняли дифференцированно по типам заболачивания, группам типов леса и условий местопроизрастания. Градации по мощности торфа приняли в соответствии с рекомендациями «Руководства по осушению лесных земель» [43]. При расчетах брали их среднее значение. Например, для градации 0,3—0,6 м — 0,45 м. Ограничились двумя градациями по мощности слоя супеси и песка для двучленных отложений: 0,1—0,7 и 0,7—1,3 м. При этом исходили из установленной местной зависимости между глубиной залегания водоупора и средней за май-сентябрь глубиной воды, согласно которой на водоразделах в условиях атмосферного типа водного питания при мощности слоя супеси и песка более 1,3 м заболачивание по верховому типу маловероятно. Средневзвешенную по слоям зольность до глубины 40 см принимали по ее фактическим данным согласно типу леса. При использовании конкретных значений мощности торфа и его зольности, мощности слоя супеси

и песка в двучленных отложениях возможно получение расстояний, отличающихся от рассчитанных нами для группы типов леса. Следует отметить, что определение мощности слоя супеси и песка в двучленных отложениях сопряжено с трудностями. Предварительно она может быть установлена по почвенным и геоморфологическим картам, а в процессе изысканий путем закладки прикопок, скважин, шурфов, почвенных разрезов. В Корткеросском и сопредельных районах на слабооторфованных водораздельных площадях мощность слоя супеси и песка может быть рассчитана по уравнению

$$Y = 1,2 - 1,4X \quad (40)$$

$$(R = -0,84; R_{0,01} = 0,47),$$

где Y — слой супеси и песка, м; X — мощность торфа или оторфованной подстилки ($X < 0,8$ м). Установившуюся глубину каналов при мощности торфа до 0,5 м приняли равной 0,8 м, а более 0,5 м — 1,0 м. Анализ данных о зависимости режима почвенно-грунтовых вод и роста леса на межканальной полосе от глубины осушительных каналов показал, что при проектировании осушительной сети в вертикальной плоскости и поперечного профиля осушительных каналов можно использовать указания «Руководства ...» [43].

Установлено, что на объектах с низинным типом заболачивания при осушении насаждений болотно-травяной группы типов леса рекомендуемые расстояния изменяются от 40 до 65 м. При переходном типе заболачивания для насаждений долгомошниковой и травяно-сфагновой группы типов леса можно рекомендовать расстояния между осушителями от 40 до 50 м. На участках с верховым типом заболачивания при подстилании органогенных отложений суглинком или при мощности торфа более 1,0 м рекомендуемые расстояния между осушительными каналами 40—45 м. При подстилании торфа двучленными отложениями расстояния между осушителями могут быть увеличены до 55—105 м в зависимости от мощности торфяных горизонтов и градации по мощности слоя супеси и песка. На объектах с олиготрофным типом заболачивания при мощности оторфованной подстилки менее 0,3 м, а слоя супеси и песка более 0,7 м можно ограничиться выборочным осушением.

Сравнение расчетных расстояний с рекомендуемыми «Руководством ...» [43] (объекты с двучленными почвообразующими породами исключены) показало, что рассчитанные нами расстояния в 50 % случаев соответствуют, в 30 % отличаются на ± 5 м, в 20 % — превосходят рекомендации «Руководства ...» на 10 м, т. е. различия не превышают удвоенной точности, с которой указываются расстояния, с тенденцией к некоторому занижению расстояний «Руководством ...». При сравнении расчетных данных для участков с двучленными отложениями и расстояний «Руководства ...» для участков, где торф подстилается песком и супесью, наблюдаются значительные различия. По нашему мнению, использование рекомендаций, разработанных для подстилающего супесчаного и песчаного грунта, в районах, где почвообразующие грунты представлены двучленными отложениями, лесоводственно и гидрологически не обосновано. При проектировании осушительных систем в аналогичных условиях при верховом (олиготрофном) типе заболачивания в Республике Коми могут быть использованы расчетные расстояния, приведенные в табл. 16.

Табл. 16. Расстояния между осушителями, отвечающие условию максимальной производительности осушаемых насаждений (фрагмент) [4]

Группа типов леса и условий местопроизрастания	Мощность торфа или оторфованной подстилки, м	Подстилающий грунт	Рекомендуемое расстояние, м
Сосняки, ельники и смешанные насаждения долгомошниковые (A_4)	Менее 0,3	Двучленные отложения с мощностью слоя супеси и песка 0,1—0,7 м	100
Сосняки сфагновые (A_3)	0,3—0,6	То же	65
Сосняки сфагновые (A_3)	0,6—1,0	То же	55
Сосняки сфагновые (A_3)	0,3—0,6	Двучленные отложения с мощностью слоя супеси и песка 0,7—1,3 м	105
Сосняки сфагновые (A_3)	0,6—1,0	То же	75

При решении вопроса об оптимизации расстояний между осушительными каналами необходимо учитывать, что в Республике Коми четко выражена зональность изменения климата. С этим связано снижение производительности насаждений на осушаемых лесных землях при движении из южных в северные районы. Косвенным подтверждением повышения роли температурного фактора в формировании прироста мелиорированных насаждений может служить установленное ослабление связи между классами бонитета древостоев и расстоянием до осушительных каналов на осушаемых мезотрофных торфяниках при продвижении на север по маршруту Корткерос — Княжпогост — Ухта (табл. 17).

Табл. 17. Характеристики зависимости класса бонитета насаждений на осушаемых торфяниках (Y) от расстояния до канала (X , м) [4]

Район	Уравнение зависимости
Корткеросский	$Y = 0,023X + 3,0$
Княжпогостский	$Y = 0,027X + 2,9$
Ухтинский	$Y = 0,006X + 4,6$

Регрессия класса бонитета по расстоянию до канала в Ухтинском районе характеризуется коэффициентом 0,006, а в Корткеросском и Княжпогостском районах — коэффициентами 0,023—0,027. Об увеличении вклада температурного фактора в формирование радиального прироста в осушенных насаждениях по сравнению с насаждениями на естественно дренированных участках свидетельствуют приводимые ниже результаты исследования объектов старого осушения. Таким образом, в пределах Республики Коми с продвижением на север проектные расстояния между каналами не обязательно должны уменьшаться. Это согласуется с указанием на то, что различия в росте, являющиеся следствием различия в теплообеспеченности, не могут быть устранены путем уменьшения расстояний между каналами или в результате удобрения почв [53]. Вывод о возможности реализации потенциального плодородия почв в условиях Европейского Севера при относительно больших расстояниях между каналами получен в Архангельской области [1]. Необходимо отметить, что установлен-

ные отклонения от рекомендуемых зональных коэффициентов имеют региональный характер. Тем не менее это свидетельствует о необходимости учета своеобразия болотообразовательных процессов на объектах гидромелиорации, региональной специфики зависимости между показателями продуктивности мелиорированных насаждений и интенсивностью осушения с учетом теплообеспеченности в северных районах.

5.4. 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, захватывает частицы грунта и транспортирует их, перемещая в придонном слое во взвешенном состоянии. Скорость течения воды, при которой происходит постоянное движение частиц грунта, называется *размывающей*. Частицы грунта, образовавшиеся за счет размывания каналов и в процессе смыва с откосов и берегов каналов, образуют твердый сток. В процессе перемещения взвешенные частицы твердого стока при определенных скоростях движения воды могут откладываться в каналах. Скорость движения воды, при которой наносы поддерживаются потоком во взвешенном состоянии, называется *незаиляющей*.

Проектируя осушительные системы, необходимо принимать скорости течения выше незаиляющих и ниже размывающих. При гидравлических расчетах каналов рекомендуется принимать определенные максимально допустимые скорости (табл. 18).

Табл. 18. 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 % от веса)	0,45—0,60
мелкий	0,05—0,25 (80 % от веса)	0,35—0,45
Суглинок:		
тяжелый	0,01 (35 % от веса)	0,70—1,30
средний	0,01 (22 % от веса)	0,60—1,00
легкий	0,01 (17 % от веса)	0,50—0,70
Торф:		
сфагновый	55	0,65—0,75
гипново-осоковый	55	0,85—0,90
древесный	70	0,40—0,45

Примечание. Минимальные скорости принимаются равными 0,2—0,4 м/с.

Уклоны дна каналов. С учетом обеспечения неразмываемости и незаиляемости русла для 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 незначитель-

ных 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 (рис. 20, 21).

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. Примером элемента проектной документации может служить продольный профиль осушителя, приведенный на рис. 13.

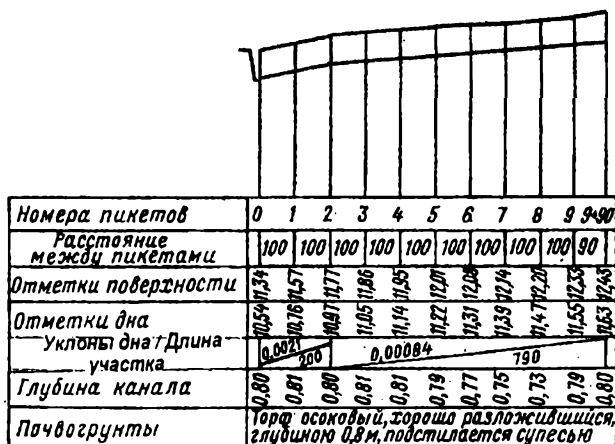


Рис. 13. Продольный профиль осушителя

Следующей стадией проектирования является подготовка рабочей документации в соответствии с действующим порядком ее разработки, согласования и утверждения.

Продольные профили каналов строят по отметкам, взятым с плана пикетажа, разбитого через 100 м по оси каналов. Продольные профили (рис. 13) строят по принятым в курсе геодезии правилам.

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. 19).

Табл. 19. Минимальная глубина осушителей

Мощность торфа, м	Проектная глубина осушителей с учетом осадки торфа до 25 %	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.

5.5. 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. Известно, что в естественно дренированных 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 и иногда 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

$$T_{\text{пр}} = m T_0, \quad (41)$$

где $T_{\text{пр}}$ — проектная глубина канала, м; m — коэффициент, учитывающий осадку торфа (табл. 20); T_0 — глубина канала в торфе после его осадки, м.

Величина осадки зависит от плотности торфа, находящейся в зависимости от объемного веса торфа (табл. 20), 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. 21).

Табл. 20. Показатели осадки торфа

Показатель	Плотность торфа			
	плотный	средней рыхлости	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

Табл. 21. Коэффициент осадки торфа, K_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 (рис. 13).

5.6. 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. 14).

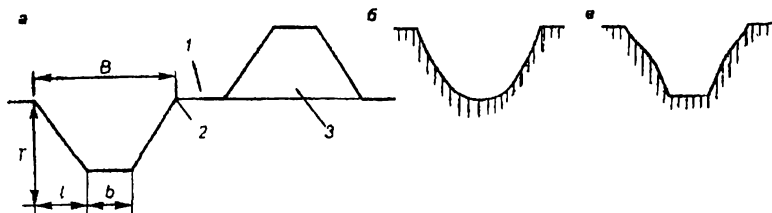


Рис. 14. Поперечный профиль каналов:
 а — трапецеидальный: 1 — берма; 2 — бровка; 3 — кавальер;
 б — параболический; в — сложный

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 ...» [43].

Для нагорных каналов проектируют сложные откосы, принимая нижнюю их часть по углу естественного откоса грунта, а верхнюю делая более пологую (рис. 14, в).

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

$$m = I/T, \quad (42)$$

где m — коэффициент откоса; I — заложение откоса; T — глубина канала (рис. 14).

Коэффициент откоса определяют по углу естественного откоса грунта, который зависит от связности частиц и их влажности. Устойчивость откоса уменьшается с увеличением глубины канала, поэтому, чем глубже каналы, тем более пологим устраивают откосы и большими принимают коэффициенты откосов.

На болотах на устойчивость откосов влияет также и степень разложения торфа. По степени разложения торф подразделяется на слаборазложившийся (степень разложения до 25 %), среднеразложившийся (25—45 %), сильно разложившийся (более 45 %). В зависимости от степени разложения торфа принимают коэффициенты откоса (табл. 22).

Табл. 22. Коэффициенты откоса

Почвогрунт	Осушители	Проводящие и оградительные каналы глубиной, м		Водоприм-ники
		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—1,50
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	1,5	1,50—1,75	1,75—2,00
Пылуиун	2,00	2,00—2,50	2,25—3,00	2,75—3,00
Песок:				
среднезернистый (фракций 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:				
слабо разложившийся	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:				
слабо разложившийся	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:				
слабо разложившийся	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 мелкозернистых песках и пылунах необходимо проводить крепление нижней части откоса.

Из приведенных в таблице коэффициентов наибольшие значения принимают 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 грунту этих слоев (рис. 14, б, в). Для регулирующей сети в слоистых грун-

тах 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 (1/4:1; 1/2:3/4:1; 1:1; 1 1/4:1; 1 1/2:1; 1 3/4:1; 2:1 и т. д.). Отсюда и названия откосов: четвертной, половинный, трехчетвертной, одиночный (одинарный), пятичетвертной, полуторный, семичетвертной, двойной и т. д.

Используя формулу (42), легко вычислить коэффициент откоса существующих каналов. Для этого следует измерить глубину T , ширину по верху B и ширину по дну b . Отсюда заложение откоса (l) и коэффициент откоса (m):

$$l = \frac{B-b}{2}; m = \frac{l}{T}. \quad (43)$$

5.7. 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 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 бермах каналов. Корни древесно-кустарниковой растительности и дернина травянистой растительности способствуют устойчивости откосов.

Крепление откосов. Откосы укрепляют жердями, хворостом, железобетонном. 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. 15, 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 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.

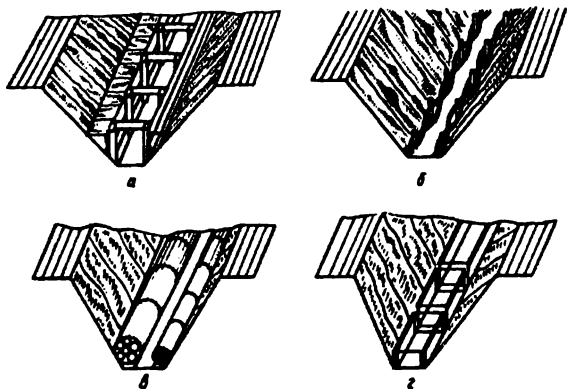


Рис. 15. Крепление откосов:

а — жердяное; *б* — хворостяное; *в* — фашинное; *з* — железобетонные лотки

Хворостяное крепление устраивают в виде плетня (рис. 15, 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. 15, в). В зависимости от высоты крепления можно укладывать одну или две фашины.

Для крепления проводящих каналов в лесах зеленых зон, лесопарках и парках применяют железобетонные лотки (рис. 15, з) 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.

5.8. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Гидрологические расчеты проводят для определения расчетных расходов, на основе которых выполняются гидравлические расчеты с целью 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 (СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характе-

ристик», взамен СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик»).

При осушении лесных земель гидрологические расчеты проводят для следующих фаз режима стока: весеннего половодья, летне-осенних паводков, меженного периода. Каналы проводящей сети, а также водоприемники рассчитывают на пропуск летне-осенних паводков 25 %-й обеспеченности. По модулям стока 25 %-й 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 %-й обеспеченности. Устойчивость русел каналов на размыв проверяется по модулям стока весенних половодий 25 %-й обеспеченности. Проверку каналов на заиливание при осушении лесных земель и высоту крепления откосов в неустойчивых грунтах проводят по модулям стока 50 %-й обеспеченности. Расчет мостов и труб на осушительных системах проводят по расчетным модулям 1—5 %-й 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 ряд наблюдений, допустимый для гидрологических расчетов осушительных систем, принимается в 10—15 лет. 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 водосборе 1 000 км² и в 10 раз — менее 1 000 км².

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

$$q_p = q_n \frac{(F_n + C)^{0,2}}{(F_p + C)^{0,2}} \text{ или приблизительно } q_p = q_n \sqrt[4]{\frac{F_n}{F_p}}, \quad (44)$$

где q_p и F_p — модуль стока и площадь водосбора для расчетного сечения; q_n и F_n — те же значения для аналога, где проводились наблюдения; C — добавка к площади водосбора (табл. 23).

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

$$q_{\max} = \frac{A_c}{(F + C)^n} \cdot \delta = \frac{0,28 a_c \varepsilon}{(F + C)^n} \cdot \delta, \quad (45)$$

где q_{\max} — максимальный модуль стока весеннего половодья, м³/(с · км²); A_c — элементарный модуль максимального стока; F — площадь водосбора, км²; a_c — максимальная часовая интенсивность снеготаяния; 0,28 — коэффициент раз-

мерности при выражении a_c в мм/ч; ϵ — коэффициент стока (табл. 24); n — коэффициент редукиции; δ — коэффициент снижения пика паводка, находящийся в зависимости от озерности, заболоченности и лесистости водосбора, определяемый по формуле

$$\delta = 1 - K \log(a\alpha + 0,1\beta + 0,05\gamma + 1), \quad (46)$$

где α , β , γ — площади озер, болот и лесов, % от площади водосбора; a — коэффициент, учитывающий влияние озерности, равный 1,0; 0,9; 0,8; 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.

Табл. 23. Параметры величин формулы (45)

Район	Обеспеченность, %	Максимальная интенсивность снеготаяния, a_c , мм/ч	Коэффициент стока	Элементарный модуль максимального стока, A_c	Добавка к площади водосбора, C	Коэффициент редукиции, 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		

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

$$q_{\max} = \frac{A_c}{(F + C)^n} \delta. \quad (47)$$

Обозначения в формуле те же, что и в формуле (45). Значения недостающих величин, входящих в формулу, приведены в табл. 24.

Бытовой модуль стока, $q_{\text{быт}}$, л/(с · км²), по исследованиям Государственного гидрологического института рекомендуется принимать равным 50 % обеспеченности и определять по формуле

$$q_{\text{быт}} = q_c (F^{0,04} m_k - 1) \delta, \quad (48)$$

где q_c — норма стока, л/(с · км²); F — площадь водосбора, км²; m_k — параметр, учитывающий влияние климатических факторов и гидрогеологических условий; m_k при 25 % обеспеченности колеблется от 0,90 до 1,60, максимальные

значения m , применяются для условий северо-западной части Кольского полуострова и к склонам Уральского хребта, а наименьшие — для Ильменско-Ладожской низины; δ — коэффициент, определяемый по формуле

$$\delta = 1 + 0,10(\alpha + 0,005\beta), \quad (49)$$

где α, β — площадь озер и болот, % от площади водосбора.

Табл. 24. Параметры величин формулы (47)

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

Бытовой модуль стока мало зависит от площади водосбора, при водосборе до $100 \text{ км}^2 F^{0,04}$ можно принять равным 1,15.

Средневысокий летний модуль стока, $q_{л. л.}$, л/(с · га), можно приблизительно вычислить по формуле А. Д. Дубаха:

$$q_{л. л.} = \frac{3}{\sqrt[3]{F}} \cdot \sqrt{\frac{i}{0,0003}} \cdot \frac{K_{np}}{1,55}, \quad (50)$$

где F — площадь водосбора, га; i — средний уклон рассчитываемого канала; K_{np} — 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 :

$$Q_b = q_p F, \quad (51)$$

где q_p — расчетный модуль стока; F — площадь водосбора.

5.9. 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 принимая 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 уровне воды 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 после осадки торфа.

При гидравлическом расчете подбирают сечение канала путем сопоставления прихода воды в канал (расхода с водосбора), определяемого по формуле (51), и расхода по каналу, определяемого по формуле

$$Q_k = \omega V. \quad (52)$$

Живое сечение канала трапецеидального сечения определяют через коэффициент откоса. Из формулы $m = l/T$ следует, что $l = mT$. Отсюда ширина канала по верху $B = b + 2l = b + 2mT$. 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

$$\omega = (b + mh_p)h_p, \quad (53)$$

где b — ширина канала по дну, м; m — коэффициент откоса; h_p — 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 гидравлического радиуса R

$$R = \omega/\chi \quad (54)$$

необходимо знать смоченный периметр χ , который для каналов трапецеидального сечения рассчитывают по формуле

$$\chi = b + 2h_p\sqrt{1+m^2}, \quad (55)$$

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

Скоростной коэффициент C определяют по формуле Н. Н. Павловского

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (56)$$

где n — коэффициент шероховатости русла, изменяющийся в зависимости от его состояния (приложение 1); R — гидравлический радиус; y — переменный показатель степени, определяемый по формуле

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,10) \quad (57)$$

или формуле И. И. Агроскина

$$C = \frac{1}{n} + 17,72 \log R. \quad (58)$$

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 изменяя (увеличивая) ширину канала по дну b . Расчет начинают с минимальной ширины по дну 0,4 м. Выполнив расчет расхода по каналу, сравнивают его с приходом с водо-

сборной площади. Если при минимальной величине b расход по каналу окажется больше прихода или меньше в пределах 5 %, то принятая ширина по дну считается допустимой. Если приход с водосбора оказывается больше расхода по каналу с расхождением более чем на 5 %, расчет повторяется при увеличенной ширине по дну, пока отклонение не окажется в пределах ± 5 %.

5.10. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ НА ОСУШИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Сооружения на открытой осушительной сети подразделяют на три типа: дорожно-транспортные (мосты, трубы-переезды, пешеходные мостики); сопрягающие (перепады, быстротоки); 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 устраивать сооружения из древесины.

Мосты строят на водоприемниках и крупных проводящих каналах с расходами воды более $2,0—2,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Их устраивают на свайных, рамно-лежневых или ряжевых опорах.

На водоприемниках целесообразно строить долговечные мосты, часто 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. 16), при ширине от 4 до 8 м — трехпролетные (рис. 17).

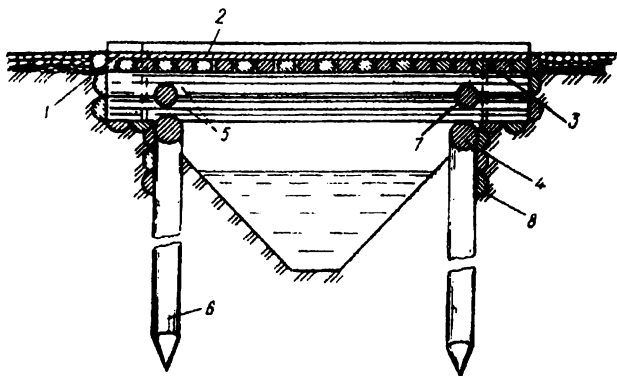


Рис. 16. Деревянный однопролетный свайно-балочный мост:

- 1 — верхний настил; 2 — прижимные пластины;
- 3 — нижний настил; 4 — насадки; 5 — прогоны;
- 6 — деревянные сваи; 7 — связь поперечной устойчивости; 8 — боковая отсыпка

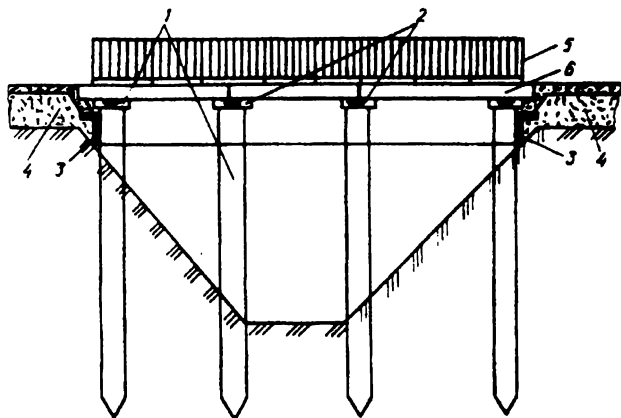


Рис. 17. Сборный железобетонный трехпролетный мост:
 1 — железобетонные сваи; 2 — насадки; 3 — сборные железобетонные плиты; 4 — насыпь с дорожным полотном; 5 — перила; 6 — блоки перекрытий

Устройство мостов с нечетным 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.

Трубы-переезды 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 выравнивают с подсыпкой под трубу крупнозернистого песка слоем 30 см.

На болотах при глубине торфа до 2 м в месте укладки трубы торф выбирают 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, покрывают рубероидом. После укладки трубы канал засыпают грунтом, уплотняя его. На концах труб обязательно ставят оголовки (рис. 18). 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.

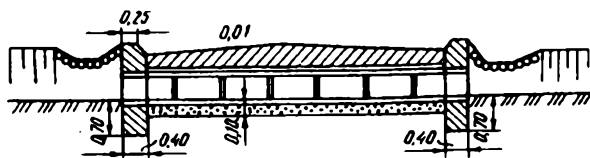


Рис. 18. Труба-переезд под дорогой

Пешеходные переходные мостики обязательно устраивают в местах пересечения с существующей сетью тропинок. При отсутствии тропинок пешеходные 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 для снижения стока по каналам летом и улучшения увлажнения корнеобитаемой зоны в сухие периоды и в противопожарных целях. Наибольшее распространение имеют деревянные шлюзы (рис. 19). 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.

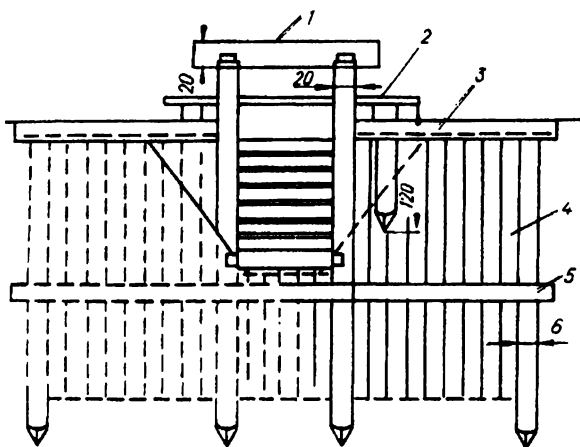


Рис. 19. Деревянный шлюз:

- 1 — шапочный брус; 2 — служебный мостик; 3 — брус-насадка;
4 — шпунтовая стенка; 5 — направляющие брусья; 6 — сваи

В средней части шпунтового ряда делают вырез для пропуска воды, закрываемый досками (шандорой), устанавливаемыми 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.

При необходимости сбора воды ее расход по шлюзу можно определить по формуле водослива с широким порогом

$$Q = mb \sqrt{2g} H^{3/2}, \quad (59)$$

где Q — расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; b — ширина порога; H — величина напора.

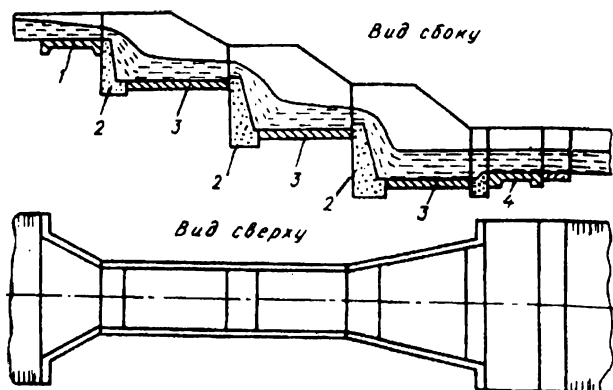


Рис. 20. Ступенчатый бетонный перепад:

1 — понур; 2 — стенки падения; 3 — водобойная плита; 4 — выход

Перепады на осушительных и оросительных каналах 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. 20). Входную часть перепада делают в виде раструба в целях рассредоточения потока на входе, принимая длину понура не менее двух-трех напоров. Ширину перепада рассчитывают по формуле водослива с широким порогом.

Быстротоки (рис. 21) устраивают в виде лотков обычно прямоугольного сечения. Входную и выходную часть, как и у перепадов, делают расширенной для рассредоточения потока и уменьшения вероятности разрушения сооружения. Для перевода скорости движения воды в спокойный режим на выходе из быстротока ставят успокоитель колодезного типа.

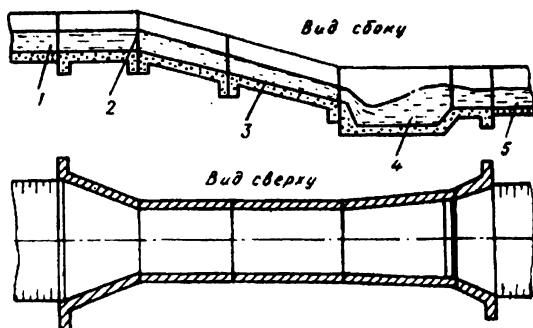


Рис. 21. Быстроток из сборного железобетона:

1 — понур; 2 — выход; 3 — сливной пол; 4 — водобойный колодец; 5 — выход

Контрольные вопросы к главе 5

1. Что такое осушительная система? Каковы 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?
13. В каких случаях на осушительной сети строят мосты, а в каких можно использовать трубы-переезды?
14. Какие сооружения устраивают на осушительной сети?

ГЛАВА 6. 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» (англ. *drainage*) означает осушение. Дрены выполняют в виде водопоглощающих линейных трубчатых полостей, располагающихся на определенной глубине с уклоном для обеспечения отвода воды.

6.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Для дренажа используют различные материалы (рис. 22), 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 получили гончарный и пластмассовый дренаж.

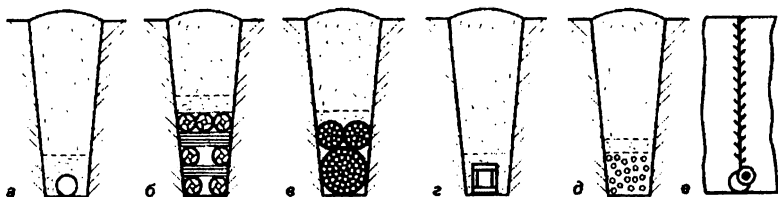


Рис. 22. Виды дренажа:

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. 23).

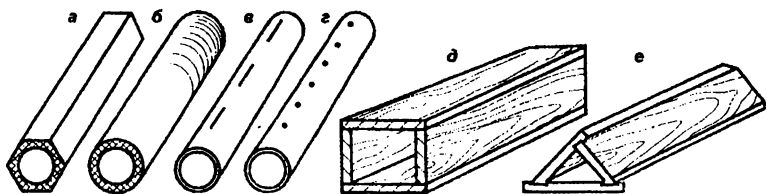


Рис. 23. Типы дренажных труб:

а, б — гончарные; в, г — пластмассовые; д, е — деревянные

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. 8). 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. 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 оди-
ночных дрен-осушителей.

6.2. 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 применяют трубки диаметром 50 и 75 мм, для коллекторов и главных коллекторов — трубки больших 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 заиливания 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).

6.3. 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 perforаций в виде параллельных круглых или щелевых отверстий. Для предохранения от заилиenia 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. 25.

Табл. 25. 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

6.4. ДРУГИЕ ВИДЫ ДРЕНАЖА

Дренаж из деревянных труб 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 прорезы длиной 10—20 и высотой 0,5 см (рис. 22, 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, что предпочтительнее, слаборазложившимся сфагновым мхом. Затем траншею засыпают грунтом, вынутым при рытье. 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 в минеральных грунтах может достигать 12—15 лет, в торфяных — 50 лет.

При устройстве жердяного дренажа (рис. 22, 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.

Для устройства фашинного 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. (рис. 22, 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 осушаемых землях и пр.

Каменный 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. Основным недостаток каменного дренажа — высокая стоимость работ и материала.

Кротовый дренаж устраивают путем прокладки в грунте на глубине 40—70 см полостей, напоминающих кротовые ходы (рис. 22, 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 дрeнер (крот), который, раздвигая и уплотняя грунт, формирует круглое полое отверстие — кротовую дрену. Иногда кротовый дрeнер 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 м на торфяных. Срок действия кротовых дрен 3—4 года.

6.5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ

Водопропускную способность дренажных труб можно определить по формуле (52).

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

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

$$C = \frac{100\sqrt{R}}{m + \sqrt{R}}, \quad (60)$$

где R — гидравлический радиус; $m = 0,27...0,30$.

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

$$C = \frac{1}{n} R^{1/7} \quad (61)$$

при $n = 0,015$.

6.6. СОПРЯЖЕНИЕ ДРЕН И КОЛЛЕКТОРОВ

Одним из наиболее ответственных видов работ является сопряжение осушительных дрен с коллектором. Существует несколько способов сопряжения (рис. 24). Осушительные дрены следует подводить к коллектору сверху, самое надежное сопряжение обеспечивают тройники (рис. 24, а, б), широко используемые при строительстве пластмассового и, реже, гончарного дренажа. Сопряжение гончарных дрен производят внахлест сверху, проделывая отверстия в трубках дрен и коллекторов и соединяя их. Свободный конец дрены закрывают заглушкой (рис. 24, в).

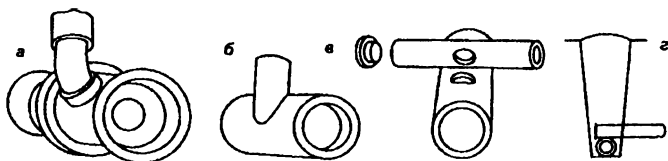


Рис. 24. Способы сопряжения дрен и коллекторов:
а, б, в — приспособления для сопряжения; г — общий вид сопряжения

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

6.7. СООРУЖЕНИЯ НА ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ

К сооружениям на дренажной сети относятся: устья дрен-осушителей 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. 25). Смотровые колодцы изготавливают из сборных железобетонных элементов для наблюдения за работой дренажной сети (рис. 26). Они служат для очистки от ила, выносаемого из дренажной сети (рис. 26, а), уменьшения уклона дрен (рис. 26, б) и играют роль регуляторов уровня воды (рис. 26, в).

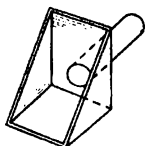


Рис. 25. Дренажное устье

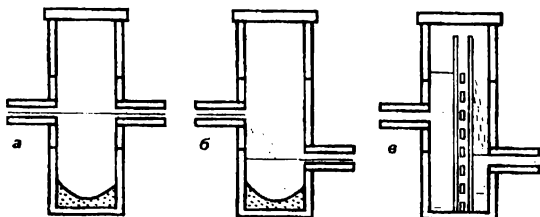


Рис. 26. Типы смотровых колодцев

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 к главе 6

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. Какие сооружения на дренажной сети вы знаете? Каково их назначение?
7. Как производится сопряжение дрен?

ГЛАВА 7. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ОСУШЕНИЯ

7.1. 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. 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 Санкт-Петербурге при освоении затапливаемых земель, прилегающих к Финскому заливу. На кольматированных территориях ведется городское и садово-парковое строительство. Например, в Санкт-Петербурге на такой территории расположены 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. 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. Стенки скважин крепят асбоцементными или гончарными трубами. Оголовок трубы сверху перфорируют, оборудуя в виде фильтра, состоящего из гравия и песка. Поступающая в водопоглощающий 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, 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.

7.2. 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 вращать 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. 27, 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. 27, 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. 27, в). При такой конструкции корни растений, вращая в стыки трубок дрен большего диаметра, оказываются на воздухе и прекращают рост.

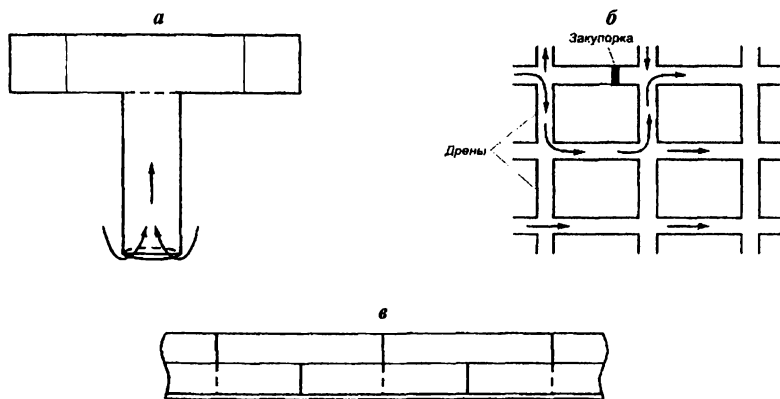


Рис. 27. Схемы дренирования садов и парков:
а — дренаж Реролле; б — перекрестный дренаж; в — двойной дренаж

Дренаж спортивных площадок. На спортивных площадках, стадионах осушение проводят с использованием гончарного дренажа. Для дренаж-осушителей применяют трубы 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 два раза (табл. 25). Дрены-осушители делают сквозными через все поле стадиона (рис. 28) с отводом воды в обе стороны. Глубина закладки дренажа 0,7—1,0 м. Дренажные траншеи целесообразно на $\frac{2}{3}$ глубины засыпать крупнозернистым песком.

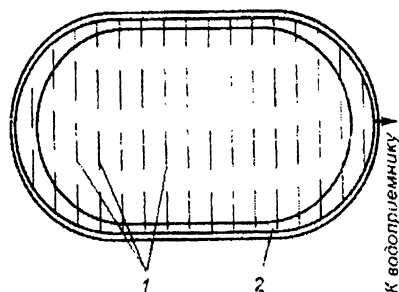


Рис. 28. Схема дренажирования стадиона:
1 — дренаж-осушители; 2 — коллектор

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.).

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. 29).

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 заиливания можно использовать нетканые материалы типа дорнита. При небольшой ширине разделительных полос дренаж можно устраивать посередине их. Смотровые колодцы, используемые для очистки дрен, размещают через 80—100 м.

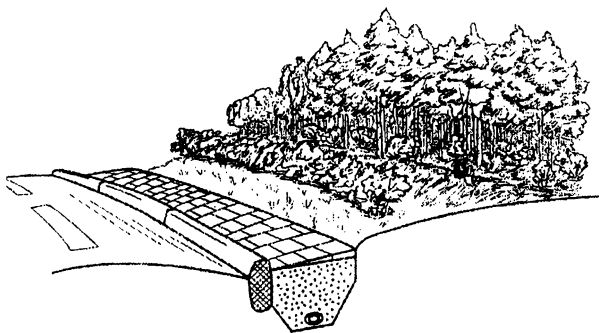


Рис. 29. Защитная зона с дренажем вдоль бульвара

Береговой дренаж устраивают для защиты пойм от подтопления водами, поступающими путем фильтрации со стороны реки. Дрену располагают параллельно берегу реки (рис. 30), что 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.

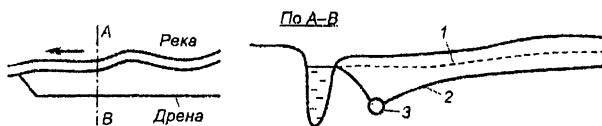


Рис. 30. Береговой дренаж: 1 — уровень грунтовых вод (УГВ) до осушения; 2 — УГВ после осушения; 3 — дрена

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 дренажем.

Контрольные вопросы к главе 7

1. За счет чего достигается осушение при кольматаже?
2. Что такое польдеры?
3. 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. В чем особенности устройства дренажа бульваров?
7. Чем отличается береговой дренаж от кольцевого? Что в них общего?

ГЛАВА 8. ИЗЫСКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

8.1. ОБЩИЕ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ

Изыскания проводят с целью сбора необходимых данных для проектирования гидромелиоративных работ [43].

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 гидромелиоративных 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 группы 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 главе 5).

Намеченные под гидромелиоративное строительство участки согласуют с местными органами власти, управлениями торфяного фонда, гипроводхозом, санэпидемстанцией, управлениями рыбнадзора, госохотинспекцией, органами управления лесного хозяйства и лесничествами.

8.2. КОМПЛЕКСНЫЕ ДЕТАЛЬНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

Для разработки технического или рабочего проекта осушения на объектах, отобранных по результатам общих мелиоративных обследований, проводят комплексные детальные изыскания. К ним относятся топографо-геодезические, лесоводственно-мелиоративные, гидрологические и гидротехнические, почвенно-грунтовые, гидрологические изыскания.

Изыскания начинают с изучения документов: схем осушения, планов и планшетоов лесоустройства; крупномасштабных карт (М 1:10 000 — 1:25 000); выявления данных высотной геодезической сети; 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 детальные 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 используют документы Управления геодезии и картографии и «Руководство ...» [43]. 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, с выявлением по картам границ водосборов, с определением типа водного питания, с 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; определяют по фактическим наблюдениям или аналогу расчетные модули стока, плановое положение водотоков и сооружений на них; составляют план регулируемого водоприемника, продольные и поперечные профили водотоков, создают эскизы сооружений.

Лесоводственно-мелиоративные изыскания необходимы для уточнения планового положения гидромелиоративного фонда, оценки древоостоя 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 про-

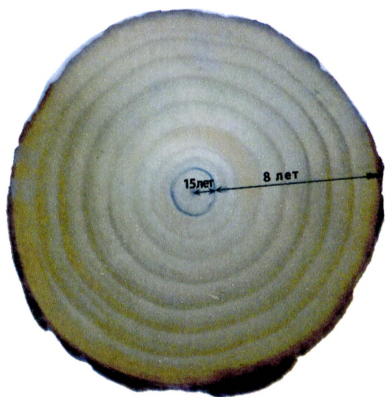
ходимости землеройной техники и установления устойчивости откосов каналов. При ПГ и ГИ определяют обеспеченность почвы питательными веществами, устанавливают степень разложения (приложение 3) и ботанический состав торфа (в лаборатории).

При наличии материалов аэрофотосъемки или в несложных условиях можно значительно снизить проектно-изыскательские работы и сократить сроки проектирования (выполнить проектирование за одну стадию). При проектировании используют следующие материалы: фотопланы М 1:5 000—1:25 000, 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 [43]. Окончательным этапом проектирования являются вынос проекта в натуру и трассировка осушительной сети. В результате изыскания после составления проекта заказчику представляют следующие документы: план участка в М 1:10 000 или 1:5 000 с трассами каналов, с нанесением мест отбора почвенных образцов; планы регулируемых водоприемников с нанесенными поперечниками, угловыми столбами, реперами и линиями спрямления в масштабе 1:2 000—1:5 000; продольные профили каналов с нанесением мест устройства сланей на участках с глубинами торфа более 1,5 м; документ согласования проекта с организациями контроля.

Контрольные вопросы к главе 8

1. Для чего проводят общие гидромелиоративные обследования?
2. Какие земли исключаются из осушаемой площади при составлении схемы гидромелиоративных мероприятий?
3. Каково содержание комплексных детальных изысканий?
4. Когда допускается одностадийное и когда необходимо двухстадийное проектирование?
5. Чем завершается проектирование?



**Рис. 33. Изменение радиального прироста
под влиянием осушения.
Фото Б. В. Бабикова**



**Рис. 35. Рыбинское водохранилище. Абразия берега вблизи г. Весьегонска. 2012 год.
Фото Б. В. Бабикова**

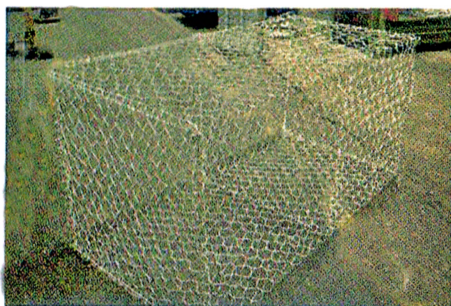
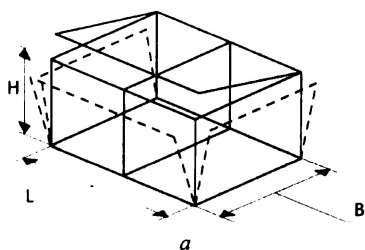


Рис. 37. Габрион коробчатой конструкции: *a* — основные размеры; *б* — общий вид габриона до заполнения камнем. Фото Б. В. Бабикова



Рис. 39. Общий вид габрионной стенки. Фото Б. В. Бабикова



**Рис. 40. Крепление затапливаемого берега
габионами матрацно-тюфячной конструкции. Фото Б. В. Бабикова**

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 в водоприемнике должен 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. 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 труб-переездов (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, i_{\min} , определяется по формуле Шези $V = C \sqrt{Ri}$:

$$i_{\min} = \frac{V^2}{C^2 R}. \quad (62)$$

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. 31, *а*), и решительным (рис. 31, *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. Мелководные участки русел углубляют, излишне широкие сужают путем сооружения полузапруд или бун. На участках с малыми уклонами, где нет возможности увеличить уклон, расход водоприемника можно увеличить строительством разгрузочного канала параллельно реке (рис. 31, *в*). Завалы на водоприемниках расчищают, растительность удаляют.

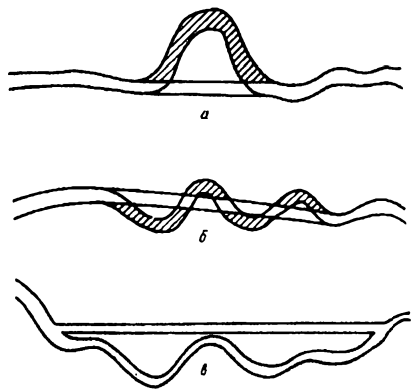


Рис. 31. Регулирование водоприемников:

- а* — частичное спрямление русла;
- б* — решительное спрямление русла;
- в* — разгрузка реки-водоприемника

При регулировании рек необходимо учитывать, что наиболее размываемые участки — повороты русла, их устойчивость характеризует радиус закругления. А. Ф. Печуров рекомендует для рек с расходом более $5 \text{ м}^3/\text{с}$ радиус закругления определять по упрощенным формулам:

- для поперечно устойчивого русла

$$r_{\min} = 41,5 R^3 \sqrt{B} - B; \quad (63)$$

- для продольно устойчивого русла

$$r_{\min} = 100 R^{1,5}, \quad (64)$$

где r_{\min} — радиус закругления; R — гидравлический радиус, м; B — ширина русла по урезу воды, м.

По А. Ф. Печурову, при условии неразрываемости русла радиус поворота приближенно можно принять равным $10B$.

9.2. СТРОИТЕЛЬСТВО ОСУШИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

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. Легкие условия создаются на минеральных и слабоотторфо-

ванных землях начальной стадии заболачивания. Древостои здесь представлены в основном долгомошниковыми, реже черничниковыми типами. Допустимое удельное давление на грунт 50 кПа и более. В этих условиях можно применять тракторы Т-130 Г-1, Т-100 МБГС (Т-130Б), ДТ-75, гусеничные экскаваторы, прицепные и навесные каналокопатели плужного типа, кусторезы и др. Средние 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. Тяжелые 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, агрегируют 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 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 по верху и его глубины, необходимости строительства проезда (дороги) вдоль канала.

Ширину трасс, $B_{тр}$, можно определить по формуле

$$B_{тр} = B_1 + B_2 + B_k + B_d, \quad (65)$$

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_k — ширина канала по верху; B_d — 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. 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 рас-

тельность, 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-695 А, на минеральных почвах корчевателем Д-513 А. При строительстве каналов регулирующей сети целесообразней использовать прицепные или навесные каналокопатели, а также экскаваторы 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 по технике безопасности, 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 2 м и более. 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 находиться 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 к главе 9

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 при осушении лесных земель.

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 общехозяйственной эффективности осушения.

Основной задачей осушения земель в лесном хозяйстве является повышение продуктивности лесных земель, в лесах зеленых зон — повышение устойчивости и эстетического состояния насаждений. 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, проявляющаяся на приросте древостоев и оцениваемая по приросту, называется лесоводственной эффективностью 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 успешному 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 м³/га и более. На Рамболовском болоте при мощности торфа 2—3 м в первые годы после осушения эффект осушения был слабым. В настоящее время здесь растут сосняки IV—V классов 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 возникали в Белоруссии, 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 и П. И. Давыдова [35], в Лисинском лесхозе на Кузнецовском и Рамболовском болотах, где осушение не дало эффекта, зольность составляет 0,6—1,5 %. На болотах Суланде и Хейновском с высокой эффективностью осушения зольность торфа равна 4—6 % и более. С. Э. Вомперский [7], проводя в 1950-х годах исследования в Ленинградской и Вологодской областях, установил зависимость между зольностью торфа и ростом древостоев (табл. 26).

Табл. 26. 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 (табл. 26) отмечаются при большей глубине грунтовых вод. В отдельных случаях при грунтовом и грунтово-напорном водном 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 [39] на примере Карелии установлен различный рост леса на болотах при одинаковой зольности и норме осушения, но расположенных в различных климатических зонах (табл. 27). 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 потенциального плодородия почв резко снижает прирост.

Табл. 27. Класс бонитета сосны на осушаемых болотах в зависимости от зольности торфа и широты местности

Зона Карелии, град. широты	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 связи с вышеизложенным необходимо также отметить следующее. В настоящее время условия для выполнения гидромелиоративных работ отличаются от таковых во второй половине прошлого столетия по климатическим условиям. Это предполагает целесообразность пересмотра существующих региональных нормативов лесосушения, таких как параметры осушительных систем, зональные коэффициенты коррекции расстояний между осушителями, переводные коэффициенты текущего прироста, учитывающие географическое положение участков и т. д. [10]. Оценка среднего прироста насаждений в Республике Коми по материалам лесоустройства по состоянию на 1961 и 2008 гг. в связи с климатическими характеристиками в начале 60-х годов прошлого столетия и начале текущего столетия подтверждают это. Метод оценки изложен ранее (см. главу 3). Матрицы факторных нагрузок для рассматриваемых периодов приведены в табл. 28, 29.

Табл. 28. Матрица факторных нагрузок (1961 г.)

№ п/п	Параметр	Обобщенные факторы	
		Ф1	Ф2
1	Продолжительность периода со среднесуточной температурой более 5 °С, дней	0,989	–0,001
2	Продолжительность периода со среднесуточной температурой более 10 °С, дней	0,989	0,054
3	Средняя многолетняя температура воздуха в июне, °С	0,958	0,169
4	Средняя многолетняя температура воздуха в июле, °С	0,924	–0,197
5	Средняя многолетняя температура воздуха в августе, °С	0,899	0,251
6	Сумма температур за период с температурой воздуха (среднесуточной) более 10 °С	0,980	0,097
7	Продолжительность безморозного периода, дней	0,864	0,235
8	Годовая сумма осадков, мм	0,718	–0,561
9	Испарение с суши, мм	0,969	0,031
10	Гидротермический коэффициент (по Селянину)	0,197	–0,939

Табл. 29. Матрица факторных нагрузок (2008 г.)

№ п/п	Параметр	Обобщенные факторы	
		Ф1	Ф2
1	Продолжительность периода со среднесуточной температурой более 5 °С, дней	0,985	0,033
2	Продолжительность периода со среднесуточной температурой более 10 °С, дней	0,979	-0,035
3	Средняя многолетняя температура воздуха в июне, °С	0,984	-0,017
4	Средняя многолетняя температура воздуха в июле, °С	0,974	-0,003
5	Средняя многолетняя температура воздуха в августе, °С	0,980	0,099
6	Сумма температур за период с температурой воздуха (среднесуточной) более 10 °С	0,987	0,023
7	Продолжительность безморозного периода, дней	0,833	0,393
8	Годовая сумма осадков, мм	0,277	-0,845
9	Испарение с суши, мм	0,955	-0,082
10	Гидротермический коэффициент (по Селянинову)	0,129	-0,875

Табл. 30. Средний прирост в лесничествах Республики Коми

№ п/п	Лесничество	Средний прирост, м ³ /га в год	
		1961 г.	2008 г.
1	Усть-Цилемское	0,47	0,24
2	Ижемское	0,52	0,49
3	Каджеромское	0,49	0,61
4	Печорское	0,13	0,08
5	Ертомское	0,92	1,01
6	Удорское	0,89	0,96
7	Вымское	0,93	0,89
8	Сосногорское	0,89	0,86
9	Вуктыльское	0,38	0,57
10	Ухтинское	0,86	0,89
11	Троицко-Печорское	0,97	1,16
12	Печоро-Илычское	0,76	0,90
13	Айкиинское	1,17	1,48
14	Железнодорожное	0,97	1,38
15	Сторожевское	1,06	1,36
16	Помоздинское	1,08	1,27
17	Усть-Немское	1,26	1,54
18	Комсомольское	0,92	1,29
19	Сыктывдинское	1,29	1,78
20	Сыктывкарское	1,29	1,69
21	Корткеросское	1,28	1,56
22	Усть-Куломское	1,23	1,53
23	Сысольское	1,36	1,84
24	Койгородское	1,36	1,94
25	Кажимское	1,40	1,92
26	Прилузское	1,39	2,01
27	Летское	1,42	2,11
	Среднее	0,99	1,23

При выполнении факторного анализа и в первом, и во втором случае установлено, что большая часть суммарной дисперсии может быть учтена обобщенными факторами Ф1, Ф2. При этом Ф1 интерпретируются как обобщенный фактор теплообеспеченности, а Ф2 как обобщенный фактор влагообеспеченности. Факторы Ф1 и Ф2 использовали для выравнивания среднего прироста в лесничествах Республики Коми (табл. 30). Согласно данным таблицы, наблюдается увеличение абсолютных значений среднего прироста в лесничествах Республики Коми. Так, если в 1961 г. средний прирост в целом для республики составлял 0,99 м³/га в год, то по последним оценкам лесоустройства в 2008 г. — 1,23 м³/га в год. Согласно факторному анализу, обобщенные факторы Ф1 и Ф2 объясняют от 82 до 94 % изменчивости среднего прироста в республике. Это также свидетельствует о существенном вкладе климатических показателей в динамику прироста. В то же время заслуживает внимания вопрос количественной оценки соотношения

вклада в изменение прироста не только собственно климата, но и возможного

изменения структуры лесопользования, а также лесохозяйственной деятельности, в т. ч. осушительной гидромелиорации.

Таким образом, с течением времени лесорастительные условия в регионе изменяются в связи с изменением климата. Поэтому следует считать целесообразным учет этих изменений для обеспечения объективных оценок лесного фонда, при выборе объектов для выполнения лесохозяйственных работ, в т. ч. — гидромелиорации избыточно увлажненных лесных земель, и оценке их эффективности в связи с географическим положением объектов на рассматриваемой территории.

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 соответствующих 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. В определенных условиях осушенные земли лучше прогреваются. На осушенных болотах прекращается или замедляется торфообразование и начинается образование почв. Процесс почвообразования происходит медленно, но постоянно.

На развитых верховых болотах до осушения почвенного горизонта нет. 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 достигла 30—40 см. Грунтовые воды летом понижаются до глубины 50—60 см. В результате осушения здесь существенно изменились характеристики торфяной залежи, прежде всего — степень разложения и объемная масса торфа в верхних горизонтах (до глубины 40 см.). Так, если на естественно дренированных участках степень разложения изменяется от 10 до 25 %, то на участках, где осушительная система действует 130—140 лет, степень разложения достигает 50—60 %. На глубине 20—40 см объемная масса торфа составляет 0,203—0,218 г/см³, тогда как на естественно дренированном участке не превышает 0,095 г/см³. Это указывает на высокую мелиоративную ценность торфов после сброса избыточной влаги при осушении, так как концентрация питательных веществ в единице объема только из-за различия в объ-

емной массе более чем в два раза выше, чем на естественно дренированном торфянике. При этом, несмотря на увеличение объемной массы вследствие осадки торфа, его разложения и гумификации, он сохраняет высокую пористость — 85—96 %. Близкие к приведенным данные получены и для северных территорий России. Так, на объектах осушения в Позтыкеросском участковом лесничестве Корткеросского лесничества Республики Коми через 45 лет после осушения объемная масса торфа на глубине 20—40 см составляет 0,177—0,247 г/см³, степень разложения торфа достигает 45—55 %, пористость — 85—89 %.

Характерным для осушенных торфяных почв является почти полное отсутствие кислорода в грунтовых водах и высокое содержание углекислоты в почвенном воздухе. Концентрация CO₂ увеличивается по мере увеличения степени разложения торфа. По нашим исследованиям (см. главу 4), на осушенных переходных болотах концентрация CO₂ в слое 0—10 см достигала 3—5 %, увеличиваясь с глубиной до 5—7 % и более. Высокие концентрации CO₂ 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, приводящей к загниванию семян и вымоканию всходов. Существенной причиной гибели семян на болотах является слабая насыщенность болотной воды кислородом. В наших опытах для выявления кислорода на изменение 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 не содержался. 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 [39], что снижение всхожести происходит быстрее при повышенных температурах, поскольку с повышением температуры снижается растворимость кислорода в воде и увеличивается его потребление на микробиологические процессы.

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, М. М. Елпатьевским, В. К. Константиновым [14] установлено, что при посевах сосны нарастание сфагнумов в высоту по 0,5 см в год в течение трех лет вызывает гибель 60 % сеянцев, а при нарастании со скоростью 3—5 см в год их погибает 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 почвы. Обследования естественно-го возобновления и роста молодняка на безлесном верховом болоте через 12 лет после осушения показали, что здесь в среднем на 1 га насчитывалось 112 экземпляров сосны и 154 березы. На богатых переходных болотах естественное возобновление происходит интенсивнее. Например, в Тосненском лесничестве Ленинградской области при обследовании вырубки на переходном болоте в 1970 г. не было всходов. Обследованием 1976 г. установлено 6—7 тыс. экземпляров 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 может приводить к выпиранию скелетных корней древесных растений. На осушенном в позапрошлом веке болоте Суланда в Лисино в настоящее время корневые шейки деревьев располагаются 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 [7], 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 содержание CO_2 , по нашим данным, 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 обычных условиях.

Поверхностное расположение корней и низкая плотность торфяных почв приводят к изменению формологии корней. По тем же исследованиям С. Э. Вомперского, на торфяных почвах корни приобретают двутавровую или дисковидную форму (рис. 32). 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 древостоев на осушенных землях.

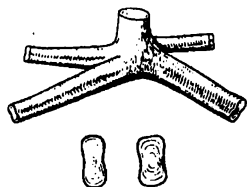


Рис. 32. Вид скелетной части
корней дерева на гидроморфных
почвах

Рост и продуктивность древостоев в сходных эдафических условиях зависят от исходного состояния древостоя. Быстрее реагируют на осушение молодые древостои I—III классов возраста (рис. 33 на цветной вклейке). Недостаточно эффективным может быть и осушение древостоев IV—V классов возраста. Исследователями установлены случаи увеличения прироста сосны до 150, а ели до 200 лет.

Рост насаждений с преобладанием в их составе хвойных пород при осушении облесенных участков находится в зависимости от возраста осушаемых древостоев. При осушении 100—120-летних древостоев старые деревья являются основой будущего древостоя. В таких лесах обычно мало подроста. Старые деревья медленно увеличивают прирост. При осушении более молодых или разновозрастных древостоев новое насаждение формируется за счет более молодых деревьев. В табл. 31 приведено изменение древостоев при осушении верхового и переходного болот. Осушение верхового болота проведено в 1967 г., переходного в 1963 г. Мощность торфа 1,5—2,5 м. Из таблицы видно, что на верховом болоте в древостое VI класса возраста число деревьев увеличилось примерно на 30 %. После осушения ежегодный средний прирост запаса составил около 1,5 м³ на га. Большая часть прироста обеспечена за счет деревьев, сформировавшихся из подроста. Старые деревья, несколько увеличив прирост по диаметру, мало увеличили рост в высоту, чем и объясняется снижение средней высоты древостоя. На другом участке древостой развился в основном из подроста, имевшегося среди отдельных старых деревьев. Здесь через 17 лет после осушения сформировался чистый, практически одновозрастный сосновый древостой с запасом 36 м³/га, т. е. ежегодный прирост превысил 2 м³/га. Количество деревьев на 1 га почти в 1,5 раза больше, чем на первом участке. Товарная структура древостоя во втором случае значительно выше, чем на рассмотренном участке.

Табл. 31. Характеристика сосновых древостоев на осушенных болотах

Год таксации	Кол-во деревьев, шт./га	Средние		Запас, м³/га	Класс бонитета	Уровень грунтовых вод, см
		высота, м	диаметр, см			
Верховое болото						
Древостой IV класса возраста (при осушении)						
1967	2 400	5,7	5,7	32	Va	22
1984	3 520	5,3	7,0	57	IV—V	23
Древостой, сформировавшийся из подроста						
1967	—	Отдельные деревья		—	IV класса возраста	
1984	5 100	4,7	4,9	36	III	27
Переходное болото						
Осушаемый древостой I—II классов возраста						
1963	2 800	3,6	3,0	15	IV	41
1975	3 160	7,4	5,6	43	II	47
1989	779	16,0	18,3	133	I—II	53

На переходном болоте произрастал и осушался сосновый древостой 18—30-летнего возраста IV класса бонитета. Через 12 лет после осушения на осушенном участке сформировался сомкнутый древостой I класса бонитета. Через

25 лет после осушения вследствие процесса дифференциации и усыхания оставших в росте деревьев образовался сосновый древостой с небольшой примесью березы. Средний годичный прирост запаса составил около $4,5 \text{ м}^3$.

Длительное влияние осушения на рост леса можно проследить на примере древостоев 114 кв. болота Суланда в пос. Лисино (табл. 32).

Табл. 32. Изменение древостоев в кв. 114 болота Суланда [3]

Год	Состав	Средний возраст, лет	Средние		Класс бонитета	Пол- нота
			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

В год осушения (1841 г.) здесь произрастал преимущественно еловый древостой. При лесоустройстве в 1856 г. вместо елового древостоя зафиксирован сосновый молодняк II класса бонитета. Рост древостоя в высоту активно продолжался до 90—100-летнего возраста. В 1953 г. древостой имел высоту 24 м. С 1973 г. по настоящее время средняя высота древостоя 28 м. Класс бонитета II. Запас древостоя в среднем на Суланде составляет $450—500 \text{ м}^3/\text{га}$, превышая на отдельных участках $600 \text{ м}^3/\text{га}$. В лесу сформировались богатые перегнойно-глеевые почвы с мощностью почвенного горизонта 30—40 см.

10.4. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ НАСАЖДЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ СТАРОГО ОСУШЕНИЯ

Объекты старого осушения представляют большую ценность для гидроме-лиоративной науки с точки зрения разработки моделей роста осушенных насаждений, оценки влияния длительного осушения на древостой и окружающую среду. В связи с этим целесообразна количественная оценка динамических процессов в таких насаждениях. В качестве примера рассмотрены результаты исследований в Позтыкеросском участковом лесничестве Корткеросского лесничества Республики Коми на участках, где осушение было выполнено в 1940 г. В настоящее время на этих участках растет смешанный лес, сформировавшийся в основном после строительства осушительной сети. Расстояние между осушителями 150—200 м, глубина 0,3—0,4 м, при осушении, видимо, составляла 0,7—0,8 м. В настоящее время роль осушительной сети сводится в основном к сбросу избыточной влаги в период весеннего паводка и летних ливневых дождей. Анализ модельных деревьев показывает, что при проведении осушительных работ на площадях произрастали отдельные сосны, высота которых изменялась от 2,1 до 5,4 м, а возраст изменялся в пределах 9—16 лет, ели, соответственно, — высота 3,1—4,3 м, возраст 10—17 лет, береза, ива древовидная, осина — высота 0,3—3,4 м, возраст 5—15 лет.

В напочвенном покрове доминируют кислица обыкновенная, лабазник вя-золистый, дудник лесной, крапива двудомная, купальница европейская, звезд-чатка болотная. Рассеянно или изредка встречаются фиалка болотная, майник

двулистный, калужница болотная, гравилат речной, костяника обыкновенная, осоки. Анализ положения участка в рельефе местности, геоботанических описаний, характеристик торфяных почв позволяет отнести насаждения на осушенных участках к болотно-травяному типу. В течение всего периода действия осушительных систем рубки ухода не проводились. Отпад в древостоях представлен усохшими, ветровальными и буреломными экземплярами. Анализ видового состава древесных, кустарникового и травяного ярусов в насаждениях на опытных участках показывает, что общим направлением изменения растительности с момента осушения до настоящего времени является ее мезофитизация и евтрофизация. В результате осушения улучшился рост древесных растений, очевидно, мелиорация могла стимулировать их плодоношение. Вследствие этого сформировались сомкнутые смешанные насаждения, что способствовало разболачиванию территории. В напочвенном покрове ведущую роль стали играть мезофиты, среди которых необходимо выделить требовательный к богатству почв евтроф-нитрофил — крапиву двудомную. Ее присутствие в качестве одного из доминантов напочвенного покрова подтверждает высокую обеспеченность осушенных почв элементами питания.

Для оценки возможного направления смены древесных пород следует более детально рассмотреть изменения состава и формы насаждений на осушенной территории и динамику отдельных таксационных показателей во времени. Изучение таксационных характеристик древостоев на опытных участках показало, что в их составе принимают участие от трех до пяти пород. В большинстве случаев насаждения сложные, двухъярусные. Насаждения с преобладанием в составе сосны обыкновенной составляют 86 % от общего количества опытных участков (22 пробные площади). В первом ярусе двух- и трехъярусных насаждений сосна является преобладающей только в 65 % случаев. На остальных участках в первом ярусе доминирует ель сибирская или древовидная ива трехтычинковая. Береза, как правило, формирует третий ярус. Участие осины не превышает одной единицы состава яруса.

Одним из важных показателей, характеризующих динамику накопления запаса, является радиальный прирост, его изменение в связи с возрастом деревьев и их размерами. В результате анализа взаимосвязей между рассматриваемыми показателями установлено следующее. Для сосны и ели с большим диаметром характерен большой прирост по радиусу (диаметру), коэффициент корреляции между ними составляет соответственно 0,97—0,83. Из этого может следовать, что в осушенных хвойных насаждениях рассматриваемого возраста болотно-травяной группы типов леса при проведении рубок ухода целесообразен низовой и комбинированный метод ухода. Каких-либо ограничений по вырубке лиственных пород, в том числе и березы, не должно быть. Роль лиственного опада в повышении плодородия здесь незначительна, так как в данных условиях богатство почвы высокое. Так как древостои на объектах исследования сформировались в основном после осушения, возможно бонитирование по средней высоте и возрасту древостоев. Динамика классов бонитета, установленных по шкале М. М. Орлова, по отдельным породам и десятилетиям после осушения показана в табл. 33.

Табл. 33. Изменение классов бонитета
в насаждении после осушения [4]

Десятилетие после осушения	Класс бонитета по породам				
	сосна	ель	береза	осина	ива
До осушения	II,6	III,1	Va	—	IV
I	III,1	III,4	IV,2	V,7	III,3
II	III,0	III,8	III,8	Va	IV,3
III	III,6	IV,1	IV,3	V	IV,3
IV	III,6	III,8	IV	III,5	IV,2
V	III,4	III,8	III,9	III	IV

Класс бонитета сосны и ели падает до 3-го десятилетия после осушения, а в дальнейшем стабилизируется или повышается. Необходимо отметить, что регулирующая осушительная сеть на объектах исследования не ремонтировалась. По данным дендрохронологических исследований в Корткеросском лесничестве, рассматриваемый период не относится к «сухому». Видимо, повышение класса бонитета может быть связано с возрастанием мелиорирующей роли насаждений в процессе формирования сложных по строению двух- и трехъярусных, смешанных по составу древостоев

Если к моменту осушения производительность отдельных пород изменялась в широких пределах — от II,6 до Va класса бонитета, то через 45 лет после осушения амплитуда колебания данного показателя уменьшилась до одного класса (от III до IV класса бонитета). Известно [41], что сосняки, возраст которых в год осушения изменялся от I до V класса возраста, в условиях Северо-Запада европейской части СССР через 60 лет имеют одинаковую высоту. Полученные нами данные показывают, что в близких лесорастительных условиях уменьшение амплитуды колебания классов бонитета может наблюдаться в хвойно-мелколиственных насаждениях при сравнении производительности древостоев, установленной для отдельных элементов леса.

Наиболее полно эффективность лесосушительных мероприятий может быть отражена текущим приростом. В данном случае анализировали динамику изменения текущего среднепериодического прироста наличного древостоя. Данные о величине текущего среднепериодического прироста и его статистические характеристики дифференцированно по породам и периодам приведены в табл. 34.

Для всех пород типично увеличение накопления запаса со временем. Таким образом, полная характеристика лесоводственного эффекта осушения должна включать данные о приросте за длительный период — 50 и более лет. Суммарное общее накопление запаса в 5-м десятилетии после осушения составляет в среднем $6 \text{ м}^3/\text{га}$ и изменяется от 2,5 до $8,9 \text{ м}^3/\text{га}$ в год.

Вариабельность рассматриваемого показателя также изменяется в широких пределах и тесно связана с величиной накопления запаса независимо от породы. Чем меньше среднее значение, тем больше его изменчивость, и наоборот. Поэтому более высокая вариабельность наблюдается в начальные периоды после осушения и у пород с меньшей величиной накопления запаса (ель, ива). Полученные данные могут быть использованы при планировании исследований по определению накопления запаса, в частности при установлении повтор-

ности определения для заданной точности и вероятности. В порядке уменьшения величины накопления запаса следуют: сосна, береза, ель, ива. В таком же порядке указанные породы слагают и общий запас насаждений. При вероятности 95 % общий запас насаждений в настоящее время изменяется в пределах от 62 до 178 м³/га.

Табл. 34. Текущий среднепериодический прирост, м³/га в год, и его статистические характеристики [4]

Порода	Показатель	До осушения	Десятилетие после осушения				
			I	II	III	IV	V
Сосна	X	0,39	1,01	1,48	2,24	2,34	3,01
	δ	0,23	0,52	0,73	1,12	1,18	1,56
	C	51,96	51,58	48,95	49,74	50,59	51,96
	M	0,06	0,13	0,18	0,28	0,30	0,39
Ель	X	—	—	0,26	0,46	0,66	0,78
	δ	—	—	0,34	0,53	0,74	0,94
	C	—	—	130,35	116,37	111,68	121,54
	M	—	—	0,08	0,13	0,18	0,24
Береза	X	—	—	0,13	0,56	1,26	1,94
	δ	—	—	0,10	0,27	0,61	0,83
	C	—	—	80,88	47,79	48,17	43,00
	M	—	—	0,03	0,07	0,15	0,21
Ива	X	—	—	0,02	0,12	0,20	0,44
	δ	—	—	0,04	0,06	0,10	0,20
	C	—	—	222,67	54,05	50,00	46,62
	M	—	—	0,01	0,02	0,02	0,05
Итого	X	0,39	1,01	1,89	3,38	4,46	6,03
	δ	0,23	0,52	0,73	1,02	1,26	1,82
	C	59,15	51,58	38,50	30,27	28,25	30,25
	M	0,06	0,13	0,18	0,26	0,32	0,46

Примечание. X — текущий среднепериодический прирост, м³/га в год; δ — среднее квадратическое отклонение, м³/га в год; C — коэффициент вариации, %; M — ошибка определения X , м³/га в год. Общее количество пробных площадей 22.

Имеющиеся данные позволяют составить прогноз динамики наличного запаса на ближайшую перспективу. С этой целью выполнили экстраполяцию величины текущего среднепериодического накопления запаса на 6-е десятилетие после осушения. Используя данные о среднепериодическом накоплении запаса до осушения и в 1—5-м десятилетиях после осушения, рассчитали накопление запаса по указанным периодам. Суммируя полученные данные, установили, что к концу 5-го десятилетия наличный запас древостоя составит в среднем 172 м³/га, а концу 6-го — 237 м³/га. В рассматриваемый период преобладание сосны в составе насаждений в большинстве случаев сохранится.

Согласно полученным данным, текущий среднепериодический прирост в среднем за пять десятилетий на объекте исследования составляет при полноте 0,7 — 3,3 м³/га в год, в том числе хвойные — 2,4 м³/га в год. По нормативным данным в насаждениях болотно-травяного типа леса такого же возраста в течение пяти десятилетий после осушения в среднем текущий прирост составляет 5,3 м³/га в год. Известно, что в сосняках болотно-травяных отпад может со-

ставлять значительную величину, а в отдельных случаях он может быть равен приросту запаса [17]. Если учесть возможную величину отпада, то можно считать, что на объектах исследования величина полного прироста близка к нормативным данным [30].

Таким образом, в результате осушения болотно-травяной низкополнотный сосняк I класса возраста с примесью лиственных пород за период около 50 лет трансформировался в хвойно-мелколиственное насаждение III класса возраста. Производительность древостоев на участках изменяется от I,5 до IV,5 класса бонитета; общий запас древесины — от 80 до 175 м³/га; в составе древостоев преобладает сосна. Текущее среднепериодическое накопление запаса в 5-м после осушения десятилетия изменяется от 2,5 до 8,9 м³/га в год. Высокий лесоводственный эффект осушения — следствие высокого естественного плодородия почв. Общим направлением изменения растительности в течение всего периода после осушения является ее мезофитизация и евтрофизация. Это может указывать на то, что в аналогичных условиях гидромелиорация может служить толчком к такому развитию фитоценоза, при котором на определенной стадии возрастает мелиорирующая роль самого насаждения. Последнее согласуется с результатами исследований, полученными при изучении роста староосушенных насаждений в подзоне южной тайги.

Для сравнения использовали среднепериодический прирост по площади поперечного сечения. При изучении динамики текущего среднепериодического прироста по площади поперечного сечения сосны в древостоях, произрастающих вблизи п. Лисино на объектах, осушенных в 40-х годах прошлого столетия, установлено следующее (табл. 35).

Табл. 35. Динамика прироста по площади поперечного сечения деревьев в насаждениях I—III, V классов бонитета, см²/год [4]

Класс бонитета	Год											
	1850	1860	1870	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960
I	2,0	8,0	9,0	8,8	8,2	7,6	7,5	8,4	9,7	10,3	9,0	7,8
II	1,2	6,0	8,4	8,0	7,0	6,0	5,6	6,3	7,0	7,5	7,0	6,0
III	0,7	4,5	7,6	7,4	6,0	4,3	3,6	3,9	4,3	4,6	4,5	4,0
V	0,2	0,4	1,2	2,7	3,5	3,4	3,4	3,5	3,4	3,4	3,6	3,4

В древостоях I—III классов бонитета после прохождения первого наблюдения вторичное после осушения увеличение текущего прироста. Оно имеет четко выраженный кульминационный пик в древостоях I класса бонитета и в меньшей степени выражено в древостоях III класса бонитета. К началу вторичного подъема прироста возраст ели первого поколения был равен 50—60 годам, когда задержание осадков кронами ели достигает наибольшей величины. Ель второго поколения достигала такого возраста к периоду второй кульминации прироста. Вторичный подъем прироста совпал с 30-летним «влажным» периодом, когда количество выпадающих осадков превышало среднееголетние данные. Выборочная прочистка каналов на участках проводилась только со второй половины прошлого столетия.

Анализ изменчивости температуры воздуха в период с 1910 по 1940 гг. показывает, что в целом для периода 1840—1970 гг. наблюдается плавный и непрерывный рост значений средней годовой температуры воздуха и температуры воздуха в зимние месяцы. Однако связывать вторичное увеличение прироста только с установленной тенденцией изменения температурного режима, видимо, нельзя, так как начало увеличения прироста прямо не связано с изменением средних температур воздуха и, вероятно, прежде всего объясняется изменением продуктивности и структуры лесных фитоценозов спустя 70 лет после осушения.

Кроме этого, установлено, что зависимость радиального прироста сосны от средних годовых температур практически отсутствует на естественно дренированных участках с древостоями V класса бонитета, где основным лимитирующим рост древесных растений фактором является избыточное увлажнение. На осушенных участках с древостоями III класса бонитета показатель сходства кривых $C_X = 75\%$. Т. е. с увеличением дренированности почвы в результате осушения роль температурного режима в формировании радиального прироста текущего года, а следовательно, и прироста по площади поперечного сечения, возрастает.

Таким образом, вторичное увеличение прироста, совпадающее с повышением температуры воздуха в рассматриваемый период, было возможно только как результат гидромелиорации почв. В то же время повышение продуктивности древостоев, усложнение их формы и состава вследствие осушения участков следует рассматривать как внутренний (эндогенный) фактор, обеспечивающий совместно с осушительной сетью поддержание влажности почвы в пределах, близких к границам оптимального увлажнения.

Известно, что в определенных условиях на осушенных площадях может наблюдаться вторичное заболачивание, проявляющееся в уменьшении прироста [6]. Однако гидромелиорация может также инициировать экзодинамические смены растительных сообществ, вызывающие в дальнейшем изменение условий среды под воздействием самих насаждений. Изменившиеся условия, в свою очередь, поддерживают процесс изменения растительных сообществ, т. е. приводят к эндодинамическим сменам. При этом может наблюдаться увеличение прироста после периода спада. В отдельных случаях в высокопродуктивных насаждениях прирост, соответствующий вторичной кульминации, может достигать величины, максимальной для всего периода с момента осушения (табл. 35).

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 [14] разработана шкала отзывчивости древостоя на осушение в зависимости от прироста. В табл. 36 приведена шкала отзывчивости на осушение сосновых древостоев.

Табл. 36. Шкала отзывчивости основных 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	1,5—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	V6	Va	Менее 0,5	Ниже IV

Все осушаемые объекты подразделяются на четыре группы. К I группе относятся объекты с высокими результатами осушения. Здесь после гидромелиорации можно выращивать древостой 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 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.

10.6. БОНИТИРОВКА НАСАЖДЕНИЙ НА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

Определение класса бонитета на осушаемых землях имеет свои особенности. Применение обычной бонитировочной методики здесь возможно только для древостоев, возникших после гидромелиорации. В большинстве же 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 настоящее время используют различные приемы бонитирования насаждений на осушаемых землях. В «Справочнике гидролесо-

мелиоратора» [45] приведен ряд таких 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. Для прогнозирования класса бонитета можно использовать бонитировочную таблицу СПбНИИЛХ (приложение 4).

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 осушаемых 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 осушаемых древостоев в зависимости от их состояния. Спелые и перестойные древостои с запасом ликвидной древесины $40 \text{ м}^3/\text{га}$ и более рекомендуется вырубать до осушения с последующим естественным или искусственным облесением. В разновозрастных древостоях с запасом спелых и перестойных деревьев не менее $40 \text{ м}^3/\text{га}$ целесообразна рубка старых деревьев с последующим лесовозобновлением за счет подроста. Исследования Лесотехнической академии (ныне Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет) показали, что рубка 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 в настоящее время достигает более $500 \text{ м}^3/\text{га}$. Участки с малоценными древостоями требуют лесокультурного освоения.

Лесокультурное освоение осушаемых земель.

Подготовка территории. Избыток влаги на болотных почвах затрудняет аэрацию. В этих почвах постоянно отмечается недостаток кислорода. Для обеспечения нормальной микробиологической активности и улучшения условий 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. Расстояния между осушителями следует устанавливать согласно «Руководству ...» [43].

Обработку почвы 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 обязательно нужно создавать на низинных, переходных и кустарничково-сфагновых верховых болотах. Образующиеся при создании пластов борозды (канавки) можно использовать для дополнительного дренирования почвы, если вывести их в осушительную сеть. Культуры, созданные по пластам, почти не требуют прополок, так как травянистая растительность здесь появляется медленно.

Для устройства борозд (канавок) необходимо применение тяжелых орудий с тракторами болотной модификации. Исследования показали, что наиболее пригодны для обработки почвы плуг-канавокопатель ПКЛН-500 и навесной канавокопатель 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 соответствующее осушение территории, которое считается достаточным, если на середине между каналами грунтовые воды понижаются на необходимую для нормального роста древесных растений глубину (табл. 37).

Табл. 37. Глубина грунтовых вод, см,
на переходных торфяниках в культурах
сосны разных классов бонитета
(за май-сентябрь) [3]

Возраст, лет	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

Уровень грунтовых вод регулируют и лесокультурные борозды. Установлено, что на переходном торфянике при отсутствии осадков борозды глубиной 35—40 см, проведенные через 4 м и выведенные в канаву, могут понижать верховодку на 5—6 см в сутки. Наблюдения показали, что при выпадении 4 мм осадков в сутки фактическое среднесуточное понижение верховодки составляло 1,0—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 длительное время и в сырые годы наблюдалась, практически в течение всего периода вегетации. Средние уровни грунтовых вод на участках с проточными и непроточными бороздами приведены в табл. 38.

Табл. 38. Влияние борозд на глубину грунтовых вод, см [3]

Торфяник	Борозды	Месяц					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. 38 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. 39.

Табл. 39. Влияние борозд и канав на уровень грунтовых вод [3]

Борозды	Расстояние между ка- навами, м	Расстояние между бо- роздами, м	Длина бороз- ды, см	Глубина бороз- ды, 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 %. Ухода за культурами на переходных и верховых торфяниках не требуется. 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 25-летнего периода показали, что при размещении посадок в рядах через 0,5—0,6 м и между рядами 3,0—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. 40 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 высокостелющийся древостой с запасом более 140 м³/га. Появилась береза. Проведено осветление. К 40-летнему возрасту запас насаждений составил

более 370 м³/га. На участках с невыведенными бороздами к 23-летнему возрасту запас насаждений составил 113 м³/га, что на 25 % ниже, чем на участках с выведенными бороздами в 19-летнем возрасте. Появившаяся береза не удалялась рубками ухода. К 40-летнему возрасту общий запас составил 250 м³/га, состав древостоя 7СЗБ ед. Е. Следовательно, при создании лесных культур на торфяниках борозды в осушительную сеть необходимо обязательно выводить и проводить рубки ухода.

Табл. 40. Изменения показателей роста культур сосны на осушенном торфянике

Возраст, лет	Средние		Кол-во деревьев на га	Запас, м³/га	Класс бонитета	Состав
	высота, м	диаметр, см				
Борозды выведены в каналы (проточные)						
6	1,5	1,7	4 800	—	I	10С
11	4,9	6,5	4 500	55	Ia	10С
19	10,4	9,6	4 012	141	Ia	10С
26	13,2	11,4	3 005	223	Ia	10С
35	18,5	16,3	1 887	321	Ia	10С
40	31,0	16,9	1 524	374	I	10С
Борозды не введены в каналы (тупые)						
4	0,7	1,4	4 600	—	—	10С
23	11,1	10,5	2 134	113	I—II	10С + Б
40	20,6	16,7	767	155	I	С
	18,0	15,4	813	95	I	Б

Материалы долгосрочных исследований [2] свидетельствуют о том, что на мощных переходных торфяниках в лесных культурах сосны, созданных посадкой на объектах гидромелиорации, средний за период осушения годичный прирост по запасу может составлять 9 м³/га, а на мелкозалежных торфяниках — превышать 10 м³/га в год. Т. е. к возрасту 40—50 лет общий запас древесины здесь может составлять 400—500 м³/га. На участке с невыведенными бороздами к 23-летнему возрасту запас насаждений составил 113 м³/га, что на 25 % ниже, чем на участке с выведенными бороздами в 19-летнем возрасте. Появившаяся береза не удалялась рубками ухода. К 40-летнему возрасту общий запас составил 250 м³/га, состав древостоя 7СЗБ ед. Е. 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 для работы на десятки лет. Однако под влиянием естественных и искусственных причин происходит постоянная 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, зарастание дна каналов, разрушение мостов и трубопереезов и пр. Причинами являются крутые откосы, узкие бермы, отсутствие сточных воронок, пастьба скота и др.

Исследования, выполненные на осушаемых лесных землях, свидетельствуют, что здесь встречаются все виды перечисленных выше разрушений осушительных систем, при этом разрушение каналов является одной из основных причин, вызывающих снижение эффективности осушения [20].

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 выявление готовности объекта к сдаче в эксплуатацию, что оформляется актом. Госкомиссия на основании представленных материалов проверяет и устанавливает следующее:

- 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 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 осушаемой площади.

В систему мероприятий, проводимых для обеспечения нормальной работы осушительной системы, входят надзор за системой, уход и ремонт.

Надзор за осушительной системой включает:

- контроль ее состояния и соблюдения правил эксплуатации;
- наблюдения за работой осушительной системы и выявление причин, препятствующих нормальной работе;
- контроль соблюдения противопожарных мероприятий;

- наблюдения за влиянием осушительной сети на рост леса;
- разъяснительные работы среди населения по правилам поведения и ведения работ в осушаемых 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 — по необходимости. В его состав входят:

- 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, если отмечается повсеместное уменьшение глубины осушителей на 20—25 % от необходимой после осадки торфа или значительное снижение прироста древостоя.

При правильном выборе объектов осушения потенциально богатых земель своевременное проведение надзора и ухода за осушительными системами может уменьшить потребность в текущем ремонте и исключить необходимость в капитальном.

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 в площади поперечного сечения существующего канала и площади поперечного сечения канала, проектируемого после ремонта.

Площадь поперечного сечения канала, проектируемого после ремонта, обычно имеет трапециевидальное сечение, определяемое по формуле трапеции.

Площадь поперечного сечения существующего канала до ремонта, F , м², вычисляют как площадь, ограниченную параболой и шириной канала по верху:

$$F = \frac{2}{3} \cdot B T, \quad (66)$$

где B — ширина канала по верху, м; T — глубина канала, м.

При углублении старых каналов, придании им параболической формы (см. рис. 14) с оставлением нетронутой верхней половины откосов площадь поперечного сечения углубляемой части каналов определяют по формуле Х. А. Писарькова:

$$F = 0,47 B h, \quad (67)$$

где B — существующая ширина канала по верху, м; h — величина углубления, м.

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 лесничеств. Капитальный ремонт, так же как и строительство осушительных систем, должны выполнять специальные службы.

Для проведения капитального ремонта необходимы специальные изыскания и проектирование, выполняемые проектной организацией.

Контрольные вопросы к главе 10

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. Каковы пути повышения лесоводственной эффективности осушения?
7. Почему при создании лесных культур по пластам на болотах борозды необходимо выводить в каналы?
8. Что такое мелиоративный кадастр?
9. Какие мероприятия проводят при эксплуатации осушительных систем?
10. В чем различие между уходом и ремонтом осушительной сети?
11. Всегда ли необходим ремонт осушительных каналов?

ГЛАВА 11. УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОМЕЛИОРАЦИИ

Для моделирования динамических процессов на объектах гидромелиорации может быть использован подход, предложенный К. К. Бушем [6]. Согласно лесоводственным оценкам, изменение продуктивности насаждений может привести к изменению (потере) их устойчивости. Устойчивость рассматривается как один из аспектов динамического поведения сообщества. Это позволяет допустить использование траектории движения лесных сообществ в факторном пространстве для оценки их устойчивости и описания динамических состояний.

Тогда в качестве общей динамической характеристики лесных сообществ может быть принята траектория их движения в пространстве ведущих обобщенных факторов. Опорные точки, через которые пройдет траектория, будут отражать динамическое состояние изучаемого сообщества в рассматриваемые периоды времени. Необходимо учитывать, что при восстановительных сукцессиях общая продолжительность сукцессии и время наступления и продолжительности отдельных стадий устанавливаются довольно легко. При изучении смен, обусловленных внутренней обстановкой леса, создаваемой главным компонентом леса — древостоем, прямая оценка сукцессионного времени и отдельных стадий затруднительна. В связи с этим здесь можно говорить о качественных подходах изучения стадий, связанных с учетом физиономических признаков доминирующих пород, и количественных способах, основанных, в частности, на оценке роли видов в сложении фитоценозов. Методом, позволяющим расширить набор количественных способов выделения сукцессионных стадий, может служить факторный анализ. Дополнительные возможности для решения аналогичных задач представляет сочетание факторного и регрессионного анализа.

Высокие значения линейных приростов, приростов по запасу, а также наличного запаса, как правило, характерны для быстрорастущих пород, связаны с высокопроизводительными типами лесорастительных условий и случаями проведения специальных лесохозяйственных мероприятий, направленных на повышение продуктивности леса. Для таежной зоны к таким мероприятиям, проводившимся на больших площадях, относится осушительная мелиорация. По нашим данным, на осушенных объектах в Позтыкеросском участковом лесничестве Корткеросского лесничества Республики Коми после осушения болотно-травяного низкополнотного сосняка I класса возраста с примесью лиственных пород за период около 50 лет сформировались хвойно-мелколиственные насаждения III класса возраста с преобладанием в составе сосны. Наличный запас древесины в возрасте 50 лет здесь достигает $175 \text{ м}^3/\text{га}$, а текущее среднепериодическое накопление запаса на отдельных участках составляет $8,9 \text{ м}^3/\text{га}$ в год. Однако в древостоях с такой энергией роста наблюдается интенсивный отпад как лиственных, так и хвойных пород.

Прогнозные расчеты позволяют считать, что в ближайшие 20 лет возможен переход доминирования от хвойных пород (сосны, ели) к лиственным (березе, осине, иве). Это, в свою очередь, может еще в большей степени снизить

устойчивость насаждений. Таким образом, ориентируясь на достижение рекордных значений прироста древесины, необходимо учитывать возможность существенного снижения устойчивости насаждений.

Осушительная мелиорация относится к хозяйственным мероприятиям, отличающимся длительным периодом воздействия на лесные экосистемы, составляющим десятки лет, а в отдельных случаях сравнимым с вековыми периодами. В связи с этим теоретический и практический интерес представляет количественный анализ динамических состояний насаждения с преобладанием в их составе сосны на объектах, осушенных в 40-х годах прошлого столетия (Лисинский учебно-опытный лесхоз Ленинградской области). Были использованы материалы лесоустройства на осушенных площадях 1841, 1891, 1928, 1953—1954, 1961 и 1973 гг., фрагменты таблиц хода роста нормальных сосновых насаждений V класса бонитета для Ленинградской области, а также собственные таксационные описания насаждений на пробных площадях, заложенных в 1976 г. в выделах, для которых сохранились лесоустроительные материалы.

Для комплексной оценки был использован факторный анализ в сочетании с регрессионным анализом. Анализ характера размещения опытных объектов в факторном пространстве ведущих обобщенных факторов и аппроксимирующей их положение кривой (траектории движения лесных сообществ в факторном пространстве) показывает, что наибольшее отклонение от сглаженной кривой приходится на таксационное описание 1953—1954 гг., когда, согласно материалам лесоустройства, для древостоев на осушенной площади был выделен второй ярус. Несмотря на доминирующее положение сосны, в сложном по форме и смешанном по составу фитоценозе наблюдается возрастание участия ели. Расчеты показывают, что возраст сосны, по достижении которого она может уступить доминирующую роль ели, соответствует приблизительно 150 годам. Если допустить отсутствие катастрофических природных явлений или рубок, то можно ожидать, что спустя указанный период ель сохранит положение доминанта и эдификатора. Таким образом, гидромелиорация участков с потенциально богатыми почвами дает толчок серии смен, продолжающихся полтора и более столетий.

Контрольные вопросы к главе 11

1. Чем определяется устойчивость древостоев на осушенных землях?
2. Как связаны производительность и устойчивость насаждений?
3. Каковы последствия смены пород с точки зрения оценки устойчивости насаждений?

ГЛАВА 12. ОСУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Осушение лесных земель вызывает изменение ряда экологических характеристик, снижаются уровни почвенно-грунтовых вод на осушаемых землях, изменяются соотношения расходных статей водного баланса, состав растительности и ее качественные и количественные показатели. Особенно значительны изменения при осушении болот. Если осушение совпадает с засушливыми годами, сопровождающимися неурожаями, то их объясняют осушением земель. Еще в позапрошлом веке А. П. Чехов устами героя повести «Палата № 6» говорил: «...а неурожай у нас от того, что осушили Пинские болота...». Хотя известно, что благодаря осушению резко подняты урожаи на заболоченных землях Полесья. В засушливых 70-х годах прошлого столетия, когда москвичи страдали от дыма на улицах, значительную часть лесных пожаров объясняли осушением. В сырые годы, когда реки выходят из берегов, затопливая поймы и поля, причиной затопления вновь считают осушение. Пересыхание рек тоже часто связывают с осушением. Однако для подтверждения сказанного надо иметь факты. Величины количественных и качественных изменений, вызванных осушением, следует оценивать на основе научных исследований.

Дискуссия о роли болотных ландшафтов в формировании водного режима территории имеет давнюю историю. Одни исследователи рассматривали болота как накопители влаги и регуляторы стока, другие, наоборот, считали болота в основном потребителями воды. Известный гидролог Е. В. Оппоков [33] писал: «...болота подобно лесам являются наибольшими испарителями влаги в природе, а ... не отдают ее для меженного стока рек». Не отмечается регулирующая роль болот и в исследованиях В. Д. Лопатина [24]. Отсутствие водорегулирующей роли болот и особенно прекращение с них стока летом объясняется громадным расходом влаги с болот на испарение и малой степенью их дренированности. Исследованиями, проведенными в различных научных учреждениях, 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 [18], сток воды в болотах происходит преимущественно в верхнем деятельном горизонте, ограниченном в основном глубиной 0,3—0,5 м. Поэтому при понижении уровней грунтовых вод ниже деятельного горизонта сток с болот, особенно атмосферного питания, прекращается или происходит крайне медленно. Известно, что значительная часть рек Севера вытекает из болот. Однако, оценивая роль болот в водном питании рек, следует учитывать характер их образования с учетом возраста болот и рек. Большинство рек европейской части РФ имеют более раннее происхождение, чем болота. В. В. Докучаев [12] отмечал, что формирование большей части речных долин происходило за счет соединения протоками озерных систем. Озера после образования речных долин являлись первоначальными истоками рек. С течением времени, по мере евтрофирования озер, происходило их постепенное зараста-

ние и формирование на их месте болот. Поэтому большинство рек равнинной части страны в современную эпоху вытекает из болот, бывших когда-то озерами. Сток из озер в реки согласно уравнению Шези ($V = C\sqrt{Ri}$) определяется величиной уклона и площадью живого сечения истока. Чем больше ширина русла реки и выше уровень воды в озере, тем больше сток реки. После зарастания озера сток с болот согласно закону Дарси ($V = Ki$) происходит путем фильтрации через грунт, что резко снижает расход и объем стока. Если в открытых водотоках скорость течения может достигать сотен и тысяч метров в сутки, то при фильтрации воды через грунт скорость в равнинных условиях не превышает метра или долей метра в сутки.

12.1. ВЛИЯНИЕ ОСУШЕНИЯ НА СТОК

Исследования С. Э. Вомперского [7], П. П. Залитиса [16], а также кафедры почвоведения и гидромелиорации Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета 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. Болото атмосферного питания расположено на ленточных глинах. Переходное болото сложено однородным по степени разложения торфом. Осушение болот проведено открытыми каналами глубиной 0,9—1,1 м. Внутригодовое распределение стока с осушаемых болот приведено в табл. 41.

Табл. 41. Элементы водного баланса, мм, при разной степени осушения [3]

Месяц	Сток				Испарение			
	Верховое болото		Переходное болото		Верховое болото		Персходное болото	
	Расстояние между каналами, м							
	65	130	205	128	65	130	205	128
Январь	7,8	7,1	4,8	5,4	3,0	3,1	3,7	3,2
Февраль	3,7	2,6	2,2	3,1	6,3	6,7	7,8	7,3
Март	13,3	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	88,0
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

Анализ внутригодового распределения стока показывает увеличение равномерности годового стока по мере увеличения интенсивности осушения. На интенсивно осушенных участках верховых болот за летние (май-август) месяцы сток составил 26 % годового, а на слабоосушенных только 21 %. Длительность периодов с отсутствием стока по каналам при слабом осушении достигала в отдельные годы 2—3 мес, а при интенсивном не превышала 15—25 дней, при средних многолетних величинах 30 и 59 дней. Следовательно, регулирующее влияние осушения и выравнивание внутригодового стока по мере увеличения интенсивности осушения не вызывает сомнения.

Увеличение стока по мере роста интенсивности осушения (уменьшения расстояний между каналами) сопровождается снижением суммарного испарения. Средняя многолетняя 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. 42) показало, что при осушении редкой сетью каналов модули стока с болот оказались ниже, чем в реке во все периоды наблюдений и за год в целом. При интенсивном осушении модуль стока с болот оказался выше, чем в реке.

Табл. 42. Модули стока в реке и на осушенном болоте, л/(с · га)

Годовые	Максимальные	Период		
		апрель-май	июнь-сентябрь	декабрь-март
р. Равань				
<u>0,054</u> 100	<u>0,722</u> 100	<u>0,219</u> 100	<u>0,022</u> 100	<u>0,018</u> 100
Осушенное болото				
Расстояние между каналами 205 м				
<u>0,047</u> 91	<u>0,774</u> 107	<u>0,152</u> 69	<u>0,016</u> 73	<u>0,016</u> 89
Расстояние между каналами 130 м				
<u>0,067</u> 124	<u>0,832</u> 115	<u>0,195</u> 89	<u>0,031</u> 141	<u>0,025</u> 139
Расстояние между каналами 65 м				
<u>0,075</u> 139	<u>1,131</u> 159	<u>0,215</u> 98	<u>0,037</u> 168	<u>0,033</u> 183

Примечание. В числителе — модули стока, л/(с · га), в знаменателе — сток с болота (% к стоку в реке).

Исследования стока рек и его изменений под влиянием осушения, проведенные кафедрой почвоведения и гидромелиорации Лесотехнического университета, 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 77 %. Исследования показывают, что осушение болот в условиях Северо-Запада страны увеличивает сток, особенно летом, выравнивает его внутригодовое распределение, улучшая водное питание рек.

12.2. ВЛИЯНИЕ ОСУШЕНИЯ БОЛОТ И ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСОВ НА КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА

Болота являются одним из важнейших резервуаров углерода. Торфяные залежи занимают около 3 % территории суши, но содержат углерода больше, чем леса, и около 30 % почвенного углерода планеты [52]. Таким образом, болота играют существенную роль в сохранении баланса парниковых газов, связывая углекислый газ атмосферы. Осушение, как правило, является обязательной предпосылкой использования торфа и болот в сельском и лесном хозяйстве. Понижение уровней воды в результате осушения создает условия для активизации микробиологических процессов в более глубоких слоях торфа и увеличения эмиссии в атмосферу углекислого газа.

Оценка круговорота углерода лесного фитоценоза — сложная исследовательская задача. Уравнение углеродного баланса фитоценоза может быть представлено в виде [55]:

$$P_6 = P_n + D, \quad (68)$$

где P_6 — брутто-продуктивность фитоценоза; D — дыхание фитоценоза; P_n — нетто-продуктивность фитоценоза (накопленный углерод):

$$P_n = \Delta B + O_n + K, \quad (69)$$

где ΔB — годовое изменение запаса сухого вещества в фитоценозе (у деревьев — прирост древесины); O_n — опад (листья, цветки, плоды, ветви, мертвые корни); K — потребление консументами (животные, паразиты, симбионты (микориза)).

Очевидно, что определение всех составляющих уравнения для фитоценоза затруднительно. Так, данные о продуктивности лесов следует считать ориентировочными, если их достоверность не подтверждена при определении различными методами. Дыхание характеризуется динамичностью по времени суток, сезонам и т. д. Общей тенденцией изменения основных составляющих уравнения углеродного баланса применительно к лесному фитоценозу можно считать депонирование в фитомассе излишков органического вещества в фазе продуктивности. В фазе зрелости нетто-продукция (прирост древесины) вначале положительна, а в дальнейшем колеблется около нуля. Уменьшение прироста, как правило, связано со старением фитоценоза и изменением соотношения между зелеными и не зелеными тканями деревьев таким образом, что оно становится менее благоприятным для производства органического вещества. Оценка современного баланса углерода болот может быть выполнена на основе определения накапливаемой за последние 20—30 лет массы торфа в поверхностном слое торфяника. Данный метод разработан и испытан на Западновинском лесоболотном стационаре Института лесоведения РАН в Тверской области [11]. Установлена годичная скорость накопления абсолютно сухой массы торфа за последние 30 лет в олиготрофном грядово-мочажинном комплексе, слабооблебенном болоте и сосняках кустарничково-сфагновых, естественных и осушаемых. Показано, что осушительная гидромелиорация верховых болот за рассматриваемый период не отразилась на суммарной нетто-первичной продукции биогеоценоза. Однако ее структура изменилась. Скорость торфонакопления и продукция мохового покрова уменьшились, но увеличилась продукция древесной. В то же время авторы отмечают, что неизвестна потеря углерода из более

глубокой торфяной толщи в газообразной и растворенной формах. И это только один из множества моментов, обуславливающих в настоящее время признание неопределенности углеродного цикла экосистем [8] и проблемы оценки всех составляющих баланса углерода, в т. ч. на объектах осушительной гидромелиорации [11]. Это свидетельствует о том, что изучение углеродного обмена различными методами — важное направление исследований применительно к естественным болотным экосистемам, а также лесоболотным комплексам на объектах гидромелиорации.

Данные, полученные в России (Тверская и Томская области, Карелия) и за рубежом (Финляндия, Норвегия, Шотландия), позволили дать предварительные количественные оценки баланса углерода на естественных и осушенных болотах и заболоченных лесных землях. Авторы считают, что на объектах гидромелиорации лесных земель с высоким лесоводственным эффектом осушения аккумуляция углекислого газа древостоем может быть больше по сравнению с его эмиссией в атмосферу, по крайней мере, в течение нескольких десятилетий после осушения, т. е. в наиболее продуктивной фазе древостоя. На участках с низким лесоводственным эффектом гидромелиорации торфяник может стать источником эмиссии углекислого газа [56]. При решении вопроса о целесообразности осушения болот и заболоченных лесов следует учитывать, что, хотя собственно болота и могут быть объектами осушительной гидромелиорации для целей лесного хозяйства, основным объектом гидромелиорации лесных земель должны быть средневозрастные и молодые древостои хвойных пород на потенциально плодородных, но избыточно увлажненных лесных землях. При этом аккумуляция углекислого газа такими древостоями может быть больше по сравнению с его эмиссией в атмосферу. Верховые болота исключаются из площадей, целесообразных для лесосушения, ввиду низкой лесоводственной эффективности их гидромелиорации. Это снижает вероятность того, что такие торфяники будут источником выделения углекислого газа в атмосферу при их мелиорировании в лесохозяйственных целях. Низинные торфяники, отличающиеся высоким потенциальным плодородием, рекомендуются для осушения в сельскохозяйственных целях. В этом случае предполагается многократная обработка верхних горизонтов торфяника и внесение удобрений. Это ускоряет разложение и гумификацию торфа и превращает осушенный торфяник в сильный источник углекислого газа. Необходимо подчеркнуть, что это осушение именно в сельскохозяйственных целях. Тем не менее, признавая важность охраны болот и мероприятий по уменьшению эмиссии углекислого газа в атмосферу, необходимо учитывать значение освоения таких торфяников для экономики стран и регионов. При осушении переходных торфяников должно быть гарантировано естественное возобновление на них хозяйственно ценных пород или обоснована целесообразность создания после осушения лесных культур. При правильной организации этих работ может быть обеспечено формирование в краткие сроки производительных древостоев (см. главу 10), активно депонирующих углерод. С учетом вышеизложенного, можно согласиться с мнением о преждевременности окончательного заключения по данной проблеме [56]. Допуская ускорение минерализации торфов при осушении лесных земель, ведущее к выделению углерода в атмосферу, не следует считать обязатель-

ной его потерю в целом для экосистемы, если для осушительной гидромелиорации выбраны объекты, при осушении которых аккумуляция углерода древостоем больше его эмиссии в атмосферу из торфяника. Как правило, это насаждения, мелиорация которых лесоводственно обоснована и не противоречит требованиям охраны природы.

12.3. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ В СВЯЗИ С ГИДРОМЕЛИОРАЦИЕЙ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ

При правильном выборе объектов лесосоушения, проектировании и строительстве осушительных систем наблюдается повышение продуктивности насаждений, сохранение или прогрессивное развитие других компонентов лесных биогеоценозов. В связи со спецификой физико-географических условий на стадии разработки схем гидромелиорации или проектировании осушения конкретных участков необходимо учитывать своеобразие почвенно-гидрологических и геологических условий района проектирования, требования охраны природы, рекомендации по формированию системы особо охраняемых природных территорий в рассматриваемом регионе. Так, применительно к условиям Республики Коми при разработке схемы лесосоушительных мероприятий было рекомендовано исключить из зоны целесообразного лесосоушения северные районы ввиду низкой продуктивности лесов и возможности развития термоэрозийных и термокарстовых процессов. Аналогичные предложения были даны для районов, прилегающих к западному склону Урала. Наряду с горным характером рельефа местности данное решение определялось необходимостью улучшения экологической обстановки в бассейне крупнейшей реки республики — Печоры, целесообразностью обеспечения нормального функционирования Печоро-Илычского заповедника и национального парка «Югыд ва». В центральных районах Республики Коми и прежде всего на возвышенных плато Тиманского края было рекомендовано избыточно увлажненные лесные земли и объекты гидромелиорации использовать для углубленного изучения возможных изменений окружающей среды при лесосоушении. Это связано с отсутствием специальных гидромелиоративных исследований в районах проявления гидротермальных аномалий и развития карстовых процессов. Таким образом, региональные программы повышения продуктивности лесов на избыточно увлажненных лесных землях должны базироваться на изучении специфики физико-географических условий региона, способных оказать существенное влияние на лесоводственные результаты и экологические последствия лесосоушения.

Исследования Л. П. Смоляка [47], Б. С. Маслова, Э. А. Шерлинга, В. К. Седовой [27] и др., направленные на изучение изменения уровней грунтовых вод на участках территорий, прилегающих к осушаемым землям, выявили весьма малое снижение уровней грунтовых вод. Понижение распространяется на несколько сотен метров, но, составляя 30—50 см возле каналов, оно не превышает нескольких сантиметров на удалении 200—250 м и далее. Большого понижения быть не может. Осушение земель для лесопользования предусматривает понижение грунтовых вод на величину, определяемую нормой осушения, которая в большинстве своем не превышает 0,4—0,5 м. Необходимо пом-

нить, что норма осушения должна поддерживаться в основном в безморозный, преимущественно в летний период. В табл. 43 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 землях, прилегающих к осушаемым территориям, происходить не может.

Табл. 43. Средние многолетние уровни почвенно-грунтовых вод, см [3]

Расстояние между каналами, м	Месяц					
	I	II	III	IV	V	VI
Верховое болото						
205	12	16	13	1	4	14
130	18	24	20	4	9	19
65	27	32	23	7	14	26
Переходное болото						
128	53	61	60	23	16	37

Продолжение табл. 43

Расстояние между ка- налами, м	Месяц						За год
	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Верховое болото							
205	18	22	20	12	8	7	12
130	24	28	25	17	14	14	18
65	32	37	34	25	20	19	25
Переходное болото							
128	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 спрямлении водоприемников происходит быстрый сброс паводков и половодий, поэтому может происходить снижение уровней грунтовых вод в поймах, поскольку делювиальные отложения пойм или старичные отложения, сложенные аллювием, 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 проявляются на положении грунтовых вод пойм на слабоводопроницаемых или торфяных грунтах. По возможности следует заменять решительное спрямление русел частичным.

Осушение, вызывая понижение грунтовых вод, увеличивает вероятность возникновения пожаров в лесу, хотя, как показали фактические данные, степень загорания в осушенных лесах не превышает вероятность ее в естественно дренированных лесах. Для оперативного тушения лесных пожаров на осушаемых землях необходимо строительство пожарных водоемов, дорог. Мерой, направленной на снижение пожарной опасности в условиях северных территорий, может быть соблюдение рекомендаций по поддержанию уровней почвен-

но-грунтовых вод на объектах гидромелиорации в пределах расчетных местных норм осушения. По исследованиям, в Республике Коми расчетные средне-вегетационные нормы осушения в год 25 % обеспеченности осадков существенно меньше, чем в более теплообеспеченных районах России.

Неблагоприятное воздействие на состояние рек может оказывать вынос в реки по каналам в первые годы после строительства твердого стока, поэтому при осушении участков с неустойчивыми грунтами и при осушении болот с хорошо разложившимся торфом необходимо строительство вдоль рек специальных каналов с илоуловителями для перехвата твердого стока.

Осушение, улучшая лесорастительные условия, одновременно улучшает условия роста грибов и дикорастущих ягодников (кроме клюквы). Поэтому при выборе объектов не следует назначать к осушению территории, предназначенные для сбора клюквы. Развитие гидромелиорации в регионах неизбежно вызывает также вопрос о состоянии и характере работ по охране болот. На примере Республики Коми можно сравнить объем выполненных гидромелиоративных работ и площадь охраняемых болот. В республике осушено около 100 тыс. га заболоченных лесов и болот. В то же время общая площадь охраняемых болот составляет 500 тыс. га. Рекомендованные для охраны или сбора клюквы болота и лесоболотные комплексы исключаются из объектов лесосушения на стадии проектирования.

После проведения гидромелиоративных работ происходят изменения видового состава представителей фауны [9]. Каналы привлекают водоплавающую дичь, бобров и представителей ихтиофауны. В качестве мероприятий, направленных на предотвращение нежелательного воздействия на фауну, можно рекомендовать: запрет применения ядохимикатов и удобрений, сохранение участков с поселениями ценных водных и наземных животных, токовищ глухарей и тетеревов, обеспечение минимального беспокойства, особенно в период размножения [45]. Подстилающие супесчаные и песчаные грунты, а также двучленные отложения эрозионноопасны. Рекомендуемые методы борьбы с эрозией (закрепление откосов жердями, хворостом и т. д.) не всегда эффективны. Поэтому большое значение имеют профилактические мероприятия, направленные на уменьшение вероятности развития размыва на эрозионноопасных участках. На стадии проектирования при определении положения проводящих каналов на плане местности необходимо учитывать, что опасность развития эрозии может быть уменьшена путем прокладки каналов по участкам с большей мощностью органогенных горизонтов, изменением угла между направлением каналов и горизонталями, уменьшением площади водосборов путем увеличения количества проводящих каналов.

Контрольные вопросы к главе 12

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?
4. Каким образом осушение болот и заболоченных лесов может влиять на круговорот углерода?

ГЛАВА 13. СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОМЕЛИОРАЦИИ

13.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В 1992 г. на конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро была принята «Конвенция о биологическом разнообразии». Возросший интерес к проблеме сохранения биоразнообразия связан в основном с осознанием уменьшения биоразнообразия вследствие расширяющейся хозяйственной деятельности человека и потребления природных ресурсов, с интенсивным использованием биологических ресурсов планеты и их возрастающей ролью в социально-экономическом развитии общества, пониманием необходимости сохранения биоразнообразия на генетическом, видовом, экосистемном и ландшафтном уровнях для обеспечения стабилизации функционирования экосистем и их устойчивого развития.

На Европейской конференции министров лесного хозяйства (Хельсинки, 1993) был принят документ об общих принципах устойчивого лесного хозяйства и использования лесных ресурсов в Европе. Согласно принятому документу, под *стратегией устойчивого управления лесами* подразумевается организация лесного хозяйства, обеспечивающая сохранение ресурсов леса и создающая условия для выполнения им в настоящем и будущем экологических и социально-экономических функций на местном, национальном и международном уровнях. Лесные ресурсы — это важный источник социального и экономического развития России и особенно ее многолесных регионов. Поэтому сохранение биоразнообразия лесных экосистем следует рассматривать как важную государственную задачу [5].

Согласно рекомендации Института мировых ресурсов, под *биоразнообразием* следует понимать совокупность взаимодействующих живых организмов, сопутствующие им формы, а также их генетическое разнообразие. Концептуальной основой понятия биоразнообразия является взаимодействие генов, видов и экосистем, а центральным звеном иерархии — вид. Следует, однако, отметить, что, в отличие от экосистемы, организму свойственна такая специфическая черта, как отсутствие у слагающих организм частей способности к самостоятельному существованию. Кроме этого, для практики лесного хозяйства наиболее плодотворно представление о лесе как о лесной экосистеме, или биогеоценозе. В связи с этим с точки зрения лесовода в развитии концепции биоразнообразия особое значение имеет оценка разнообразия лесных экосистем, или биогеоценозов. Теоретической естественноисторической основой лесоводства является лесная биогеоценология. Поэтому для развития концепции биоразнообразия лесов целесообразно использовать биогеоценологические принципы и известные методики биогеоценологических исследований [48]. Эффективность таких подходов подтверждена результатами стационарных биогеоценологических исследований, выполненных в лесной зоне России.

13.2. ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ

При решении вопросов рационального использования лесных ресурсов важно разработать систему количественных показателей, объективно определяющих биоразнообразие лесных экосистем. В их основе должны лежать представления о флоре и фауне рассматриваемых территорий. Организация учета и инвентаризации (мониторинга) биоразнообразия лесов должна строиться на разработке методов учета на различных уровнях и в соответствии с различными целями использования и охраны лесов. Должны совершенствоваться методы таксации лесов, обеспечивающие оценку параметров биоразнообразия с учетом физико-географических и социально-экономических особенностей регионов. В связи с этим заслуживает внимания вопрос природного районирования территорий. Постоянное внимание должно уделяться использованию новых технологий мониторинга. Большое значение имеет организация инвентаризации видового богатства лесов, типов лесных сообществ и экосистем, уникальных и особо ценных экосистем и ландшафтов лесных территорий на региональном уровне. Важной составляющей является учет и инвентаризация охотничьих, пищевых, медико-биологических, рекреационных и других ресурсов леса в координации с базовыми направлениями инвентаризации биоразнообразия. Организация учета и инвентаризации биоразнообразия должна включать также инвентаризацию генетического и фенотипического разнообразия наиболее ценных видов растений и животных лесных экосистем [5].

При решении методологических и методических вопросов оценки биоразнообразия целесообразно учитывать известные общие закономерности изменения биоразнообразия. Биоразнообразие изменяется пропорционально количеству тепла и влаги и определяется свойствами и разнообразием почвообразующих пород, а также сложностью рельефа (в близких климатических условиях в горных условиях биоразнообразие выше, чем в равнинных условиях). Биоразнообразие возрастает по мере увеличения периода непрерывного развития биологических систем.

В фитоценологии наиболее распространены индексы разнообразия Шеннона — Уивера, Маргалефа, Симпсона, Реньи — Рао, Макинтоша. Указанные индексы являются показателями, оценивающими структуру сообществ на основе сопоставления характеристик входящих в него видов [29]. Для расчета биоразнообразия чаще используются такие показатели, как индекс Шеннона, индекс Симпсона и количество видов, имеющих в данной экосистеме или данной территории. По мнению ряда авторов, более удобен индекс Шеннона:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i), \quad (70)$$

где $H(X)$ — среднее значение индекса разнообразия, бит на 1 популяцию X ; $p(x_i)$ — вероятность состояния или статистический вес i -й популяции в фитоценозе (сумма $p(x_i) = 1$); n — количество популяций в фитоценозе.

В общем виде вероятность состояния популяции может быть определена как отношение ее массы к общей массе фитоценоза. Учитывая большие методические трудности и трудоемкость работ, связанных с определением фито-

массы даже основного компонента лесного фитоценоза — древостоя, могут быть предложены упрощенные методы расчета данного показателя. Так, вероятность состояния всего яруса может быть определена путем замеров светового потока под пологом каждого яруса и на открытом участке. Разность между поступающим на ярус световым потоком и выходящим показывает, какая часть светового потока была поглощена рассматриваемым ярусом. Чем больший световой поток поглощен, тем выше его продуктивность, тем больше значение вероятности состояния [30].

Задачи выявления биразнообразия на видовом и экосистемном уровне хорошо решаются на основе метода Браун-Бланке. Одним из достоинств данного метода является то, что составляются полные геоботанические описания, регистрируются все встречающиеся виды растений. При выполнении полных описаний по этой системе «автоматически» фиксируется α -разнообразие. С методической точки зрения важным моментом является выявление общих черт и существующих различий между видовым богатством территории и выявлением экосистем всех типов. Имеется указание на то, что по аналогии с видовым богатством (α -разнообразие) экосистемное богатство (β -разнообразие) может быть определено числом типов экосистем на единицу площади. Последующие процедуры расчета различных индексов, в т. ч. индекса Шеннона, могут быть осуществлены по стандартным методикам. При этом в качестве показателя «обилия» экосистемы может быть использована площадь. Предлагается определять β -разнообразие территории по единицам флористической классификации Браун-Бланке — *синтаксонам*. Тогда для хорошо изученных территорий может быть использовано число ассоциаций на единицу площади, а для хуже изученных — союзов или даже классов [26]. Необходимо учитывать, что флористический и доминантный методы выделения растительных ассоциаций субъективны. В то же время разрабатываемые методы количественной классификации достаточно формальны и предполагают использование жестко заданных алгоритмов.

Биоразнообразие лесных экосистем — это один из важных критериев устойчивого управления лесами. В качестве индикаторов данного критерия предлагается использовать долю лесопокрытых земель, площадь лесов по основным лесообразующим породам и классам возраста, долю площади со спелыми и перестойными лесами, площадь государственных природных заповедников, национальных парков, природных парков, заповедных лесных участков, лесов, имеющих научное или историческое значение, памятников природы. Предлагается также использовать такие характеристики, как количество видов растений и животных, связанных в своем развитии с лесом и находящихся под угрозой исчезновения, площадь генетических резерватов и общее накопление углерода в лесных насаждениях, дифференцированное при необходимости по основным лесообразующим породам.

Специфической формой описания биоразнообразия лесов и лесных ландшафтов являются материалы лесоустройства. Характеристики древостоев элементов леса (порода, диаметр, высота, возраст, густота, полнота, запас древе-

сины), ярусов насаждений (состав, средняя высота, полнота, запас), насаждений в целом (преобладающая порода, общий запас, класс возраста, класс бонитета, тип леса) являются реальными категориями, которыми может быть отображено разнообразие лесных экосистем (биогеоценозов). В свою очередь, мозаики насаждений в границах выделов плана лесонасаждений могут быть рассмотрены как комплексные показатели биоразнообразия на уровне лесных ландшафтов.

Если исходить из представления о типе леса как типе лесного биогеоценоза (экосистемы), то основой для составления систематизированных списков лесных экосистем могли бы служить региональные кадастры типов леса с расширением группы показателей и параметров, характеризующих зоо- и микро-биоценозы лесных сообществ. Использование в качестве центрального компонента при оценке биоразнообразия лесных экосистем совокупности видов растительности, прежде всего древесной, согласуется с представлением об автотрофной роли этой растительности как создателя органического вещества. Кроме этого, древесные растения фитоценоза наиболее активно трансформируют факторы среды, создают специфическую внутреннюю ценосреду. Однако, учитывая трудность поставленной задачи, следует считать, что в перспективе реалистична оценка биоразнообразия лесных экосистем в конкретных регионах в связи с проведением в течение длительного периода стационарных комплексных биогеоценологических исследований при наличии наработок по составлению кадастров типов леса по согласованным программам исследования.

Методы оценки биоразнообразия лесных экосистем могут совершенствоваться на основе достижений лесной науки или в связи с реализацией программ, направленных на решение конкретных хозяйственных проблем. Так, разрабатываются вопросы оценки биоразнообразия природных и искусственных популяций древесных растений в связи с влиянием антропогенных и техногенных факторов на лесные биогеоценозы. Имеется мнение, что в качестве показателей биологических различий, характеризующих особенности компонентов биоразнообразия, могут быть использованы взаимосвязи CO_2 -газообмена с условиями среды. Предлагается характеризовать биоразнообразие сообществ, состоящих из произвольного числа видов, конкурирующих за один ресурс, на основе модели свободной конкуренции. Учитывая обширность лесных территорий России, особого внимания заслуживает развитие систем аэрокосмического зондирования с целью картографирования природных комплексов [5].

13.3. ВЛИЯНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА БИОРАЗНООБРАЗИЕ

Такие природные явления, как лесные пожары, ветровалы, буреломы, изменение уровня грунтовых вод, массовое размножения вредителей, рубки леса, загрязнение воздуха оказывают различное влияние на компоненты лесных биогеоценозов и состав ярусов фитоценоза. В качестве примера наиболее сильного воздействия на лесные экосистемы могут рассматриваться сплошные рубки, приводящие к уничтожению исходных лесных биогеоценозов, резкому изме-

нению микроклимата, водного режима почв, изменению верхних горизонтов почвенного профиля вследствие плоскостной (поверхностной) эрозии.

По вопросу влияния на биоразнообразие осушения заболоченных лесных земель имеются отдельные работы. В них приводятся количественные характеристики биоразнообразия до и после осушения лесных земель, полученные на основе традиционных методов гидромелиоративных исследований или путем сравнения индексов биоразнообразия по Шеннону [21]. Известно, что после осушения уменьшается количество видов в живом напочвенном покрове — гидрофитов (росянка, клюква, отдельные виды сфагновых мхов и т. д.). Однако необходимо учитывать также другие результаты гидромелиорации, например, обогащение фауны. После осушения увеличивается площадь открытых водных пространств. Отвалы грунта привлекают птиц. В проводящих каналах (собирателях, магистральных) поселяются бобры и представители ихтиофауны (например в условиях Республики Коми — хариус). В результате осушения усиливается опушечный эффект, что привлекает мелких птиц, увеличивается облесенность территории, лиственные породы сменяются на хвойные. В то же время в отдельных случаях возможно обеднение флоры. Так, на осушаемых площадях с чистыми по составу высокополнотными ельниками может наблюдаться формирование насаждений мертвопокровного типа леса, например, в Калининградской области.

При планировании хозяйственных мероприятий, направленных на сохранение биоразнообразия на объектах гидромелиорации, должна быть обоснована целесообразность сохранения исходного сообщества с точки зрения набора видов представленных в нем в настоящее время. Одним из основных направлений сохранения биоразнообразия является выделение и охрана ключевых биотопов — участков, на которых не проводятся никакие хозяйственные мероприятия. Необходимо учитывать, что при определении размеров ключевых участков и выборе места их расположения неизбежен субъективизм. Поэтому большое значение имеет количественная оценка биоразнообразия на объектах хозяйственного воздействия, в т. ч. на мелиорируемых площадях.

Изменение видового состава ярусов лесного фитоценоза и производительности насаждений на объектах гидромелиорации происходит на протяжении длительного периода времени. В определенных условиях осушение участков лесных площадей дает толчок серии смен, продолжающихся в течение 100—150 лет. В связи с этим представляет интерес оценка биоразнообразия на объектах старого осушения. В качестве объектов исследования влияния гидромелиорации на биоразнообразие взяты опытные участки вблизи п. Лисино, где осушение было выполнено в 40-е годы прошлого столетия. В результате расчета индексов биоразнообразия с применением натуральных логарифмов [46] установлено следующее. Через 140 лет после осушения индекс биоразнообразия для древесного яруса на контрольном участке (сосняк осоково-сфагновый) составляет 0,52; в сосняках черничниках — 0,66—0,74; в сосняках кислично-черничных — 0,65—0,86 в сосняках кисличниках — 0,67—0,81 (табл. 44). Т. е. наблюдается закономерное возрастание индекса биоразнообразия при переходе от насаждений на естественно дренированных участках к насаждениям на осушенных участках, а

также увеличение данного показателя в ряду от сосняков-черничников к соснякам кисличникам. Последнее связано в основном с увеличением относительной доли ели и березы в составе насаждений после гидромелиорации.

**Табл. 44. Индексы биоразнообразия
древесного, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов [4]**

Номер пробной площади	Ярус			Тип леса
	древесный	травяно- кустарничковый	мохово- лишайниковый	
1	0,74	1,88	0,83	С. кисл.-черн.
2	0,75	1,57	1,33	С. кисл.-черн.
3	0,69	1,57	1,33	С. кисл.-черн.
4	0,75	1,57	1,33	С. кисл.-черн.
5	0,94	1,72	1,36	С. -черничник
6	0,66	1,72	1,36	С. -черничник
7	0,68	1,88	0,83	С. -кисличник
8	0,72	1,57	1,03	С. кисл.-черн.
9	0,71	1,57	1,33	С. кисл.-черн.
10	0,71	1,88	0,83	С. кисл.-черн.
11	0,65	1,57	1,33	С. кисл.-черн.
12	0,69	1,57	1,33	С. кисл.-черн.
13	0,67	1,27	1,29	С. -кисличник
14	0,86	1,27	1,29	С. кисл.-черн.
15	0,81	1,27	1,29	С.-кисличник
Контроль	0,52	1,86	0,50	С. осоково- сфагн.

Примечание. С. — сосняк; кисл.-черн. — кислично-черничный; осоково-сфагн. — осоково-сфагновый.

Индекс биоразнообразия для мохово-лишайникового яруса на контроле (0,50) меньше, чем в насаждениях, сформировавшихся после осушения, где данный показатель изменяется в пределах от 0,83 до 1,33. Индекс биоразнообразия травяно-кустарничкового яруса на контроле 1,86, а в насаждениях на осушенных участках 1,27—1,88.

Таким образом, длительное (около 140 лет) гидромелиоративное воздействие привело к увеличению биоразнообразия древесного и мохово-лишайникового ярусов. При этом наблюдается уменьшение индексов биоразнообразия травяно-кустарничкового яруса при увеличении данного показателя для мохового-лишайникового яруса.

В заключение следует отметить, что в качестве основных мер по совершенствованию лесного хозяйства на объектах гидромелиорации для сохранения биоразнообразия могут быть предложены направления, согласующиеся с рекомендациями по сохранению биоразнообразия лесных экосистем России [5]:

- выполнение экспериментальных работ по проверке технологий гидромелиоративных мероприятий, рубок для заготовки древесины, рубок ухода, лесных культур, методов охраны и защиты леса на объектах гидромелиорации, обеспечивающих сохранение биоразнообразия применительно к конкретному региону и предприятию лесного хозяйства;

- при выборе объектов гидромелиорации, проведении гидромелиоративных работ — обеспечение сохранения эталонных, уникальных и особо ценных экосистем, их территориальных сочетаний и местообитаний редких видов;
- поддержка и развитие научно-опытных лесных хозяйств с целью организации мониторинга в границах конкретных облесенных речных бассейнов, а также разработки технологий рационального использования лесных ресурсов с сохранением биоразнообразия.

Контрольные вопросы к главе 13

1. Когда и где принята «Конвенция о биологическом разнообразии»?
2. Для чего необходимо сохранение биоразнообразия?
3. Что понимается под устойчивым управлением лесами?
4. Являются ли материалы лесоустройства формой описания биоразнообразия лесов и лесных ландшафтов?
5. Каким образом гидромелиорация лесных земель влияет на биоразнообразие на видовом уровне?

ГЛАВА 14. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОСУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ

В перспективе при решении вопросов планирования и организации гидромелиоративных мероприятий все более широкое применение будут находить компьютерные технологии. Это прежде всего связано с необходимостью оперативного учета гидромелиоративного фонда и мелиоративных систем и оценки их состояния. Кроме этого, возможные направления использования компьютерных технологий — это повышение уровня проектирования, оптимизация проектных решений с учетом природоохранных требований, исследование гидрологических процессов, компьютерное моделирование. В гидромелиоративной практике наиболее широкое применение компьютерные системы находят в топографических работах, проектировании осушительных систем, расчете объема земляных работ, составлении смет, при согласовании проектных решений с требованиями землеустройства, выполнении дорожно-строительных работ, строительстве каналов и сооружений, разработке электронных карт. Последнее прямо связано с реализацией идей ГИС (геоинформационных систем).

Географическая информационная система — это система для ввода, хранения, обработки, анализа и предоставления географически определенной информации. База данных обычно состоит из большого количества картографических слоев, оцифрованных изображений и различного рода атрибутивной информации (таблиц и описаний). С помощью ГИС могут быть получены данные в виде лесных карт, таблиц таксационных или других описаний. Для объектов осушения могут быть получены описания насаждений с характеристикой древостоев элементов леса, ярусов и насаждения в целом, выполнены любые выборки насаждений по заданным таксационным характеристикам, сформированы отчеты по специальным вопросам, например, выводу карт с дифференцированием площадей по типам и группам типов леса, составлены прогнозы по динамике таксационных показателей с течением времени. В связи с этими аналитический блок профессиональной ГИС, ориентированной на решение практических вопросов гидромелиорации, должен включать соответствующий компонент программных модулей. Необходимо учитывать, что используемые системы позволяют работать с массивами данных в электронных таблицах, что расширяет возможности анализа данных, объединенных в этих массивах.

Геоинформационные системы могут быть использованы при реализации программы мониторинга за состоянием осушаемых лесных земель, насаждений, других компонентов лесных биогеоценозов и осушительных систем. Обследования могут проводиться как единовременно, так и в процессе инвентаризации лесов при лесоустройстве, а результаты таких обследований отражаются на электронных картах и соответствующих таблицах и описаниях. Повыдельные электронные карты и таблицы атрибутивной информации могут быть использованы при решении вопросов оценки и подбора гидромелиоративного фонда для участкового лесничества или основной единицы лесоустройства — лесничества. Важное направление работы при выборе объектов лесосушения,

проектировании гидромелиоративных мероприятий связано с оценкой природоохранной роли конкретных избыточно увлажненных лесных территорий. Геоинформационные системы позволяют оперативно обновлять информацию об особо охраняемых природных территориях, ягодниках, открытых болотах или других категориях лесных земель, осушение которых нецелесообразно или малоэффективно, и использовать ее при решении вопросов об исключении таких объектов из схем лесосушения.

В базах картографических данных ГИС информация организована в виде отдельных картографических слоев, привязанных к единой системе геодезических, географических или условных координат: административных границ, дорожной и гидрографической сети, населенных пунктов. При хранении картографических слоев в виде электронных файлов компьютерных баз данных детальность представления информации определяется конфигурацией компьютерной системы и возможностями программного обеспечения. Важное значение имеет слой с окраской выделов в соответствии с требованиями действующей лесоустроительной инструкции, а также слои, несущие цифровую информацию — площади выделов и кварталов, номера кварталов и др. Для решения практических вопросов и выполнения исследовательских работ, связанных с осушением лесных земель, для данной территории большое значение имеют слои, позволяющие идентифицировать положение болот и заболоченных участков, а также осушительных каналов. Атрибутивная информация для каждого слоя может быть детализирована с учетом решаемых задач.

В настоящее время возможности ГИС-технологий существенно расширились благодаря широкому использованию в лесохозяйственной практике и при исследовании лесных ландшафтов данных дистанционного зондирования Земли. Изучение территории с помощью аэрокосмических методов обеспечивает обзорность, объективность и синхронность исследований на обширных участках территории. Применительно к объектам осушительной гидромелиорации космоснимки могут быть использованы для уточнения границ и структуры гидромелиоративного фонда, при учете осушительных систем, для предварительного определения эффективности гидромелиорации. Очевидна полезность материалов космосъемки для мониторинга состояния осушительных систем и при разработке технического или технорабочего проекта осушения. Это, в свою очередь, свидетельствует о целесообразности проведения комплексных детальных изысканий с использованием космоснимков, выполненных в различные годы и сезоны.

Работы по контролю состояния насаждений и осушительной сети должны проводиться на основе использования космоснимков в сочетании с натурными наблюдениями. В качестве тест-объектов возможно использование пробных площадей, закладываемых с целью решения гидромелиоративных, лесоводственных и таксационных задач. Привязка пробных площадей выполняется на основе их положения относительно устанавливаемых на плане лесонасаждений (планшете) и снимке пересечений дорог, просек и других, надежно определяемых ориентиров, а на объектах осушительной гидромелиорации — мест впадения осушителей в собиратели и собирателей — в магистральные каналы.

В настоящее время сняты ограничения на использование снимков, полученных в различные годы с ряда отечественных и зарубежных спутников. Для целей дешифрирования и анализа снимков возможно использование как лицензионного программного обеспечения (версии ArcView GIS, Erdas Imagine и др.), так и бесплатно распространяемых программ MultiSpec, Quantum GIS и др.

Опыт классификации категорий лесных земель на объектах осушительной гидромелиорации свидетельствует, что возможно выделение таких тематических классов, как вырубки, болота, дороги, каналы, реки, насаждения с преобладанием в их составе светлохвойных, темнохвойных и мягколиственных пород. В результате исследования зависимости между характеристиками космоснимков и отдельными таксационными показателями насаждений тест-объектов установлено, что наиболее информативны оценки значений интенсивности пикселей применительно к таким таксационным показателям при синтетической таксации как доля темнохвойных и мягколиственных пород в составе насаждений и класс бонитета.

Определенное значение при решении вопросов освоения избыточно увлажненных лесных земель в Республике Коми может иметь ГИС «Торфяные ресурсы». Назначение данной ГИС — формирование картографической и справочно-информационной баз данных о торфяных месторождениях республики, их количественная и качественная характеристика. С электронной картой, на которой нанесены контуры торфяных месторождений, связана база данных, характеризующая конкретные месторождения, участок месторождения или торфопроявление [15].

Контрольные вопросы к главе 14

1. Дать оценку перспектив использования компьютерных технологий при проектировании осушительных систем и оценке их состояния, обеспечении учета гидромелиоративного фонда, проведении исследований на объектах гидромелиорации.
2. Что такое ГИС?
3. Какие слои традиционно включаются в электронные карты объектов гидромелиорации?
4. Какая атрибутивная информация может характеризовать темы (слои) лесной электронной карты на объекте лесосоосушения?
5. Охарактеризовать возможности использования данных дистанционного зондирования Земли в гидромелиоративной практике и исследованиях.

ГЛАВА 15. МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ 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. Причиной оползней 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, вырубка леса, нарушение естественно сформировавшегося гидрологического режима в верхней части склона и его переувлажнение. За счет переувлажнения склон может увеличить массу. Формируется так называемое «оползневое тело» (рис. 34).

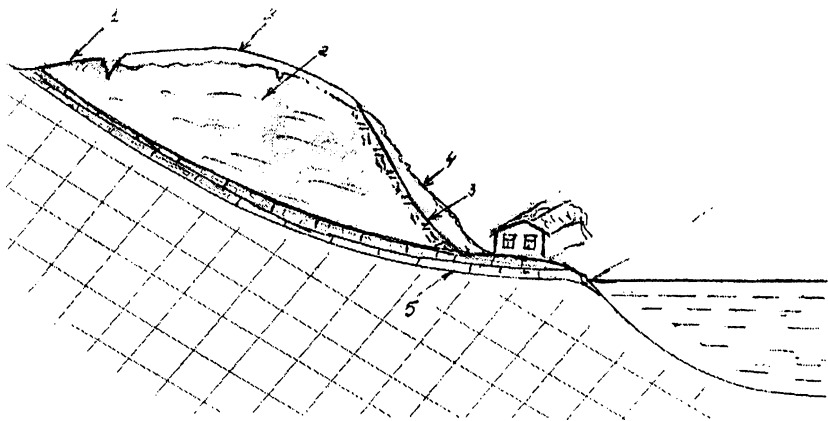


Рис. 34. Оползень скольжения:

1 — коренной берег; 2 — оползневое тело; 3 — линия берега до оползня;
4 — смещение берега; 5 — водоупорный горизонт

Происходит сползание склона, образуется «оползень скольжения». Абразия приводит к обнажению ранее поддерживаемого подпертым водой и грунтом водоупорного горизонта (рис. 35 на цветной вклейке). Создаются условия для скольжения, вызванные абразией: образуется «абразионный оползень скольжения» (Рыбинское водохранилище).

Размеры оползней могут быть очень большими, протяженностью вдоль склона в несколько километров 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 Дону, Оке, Днепре и других реках, на побережье Черного моря, в горных районах Памира и Тянь-Шаня.

На крупных реках происходит ежегодное смещение берегов вследствие размыва. По данным Р. С. Чалова и Е. И. Сахарова (по М. В. Рубцову) [42] 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 [42], в таежной зоне Европейского Севера длина размываемых речных берегов составляет примерно 24 тыс. км, площадь размываемой прибрежной территории — около 3 тыс. га.

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.

В последние годы происходит интенсивное освоение прибрежных территорий в целях индивидуального строительства. В зоне строительства часто прилегающий к водоему склон выравнивается с засыпкой давно сформировавшихся понижений, оврагов, балок. Выше по склону за пределами осваиваемых территорий участки этих понижений сохраняются. Здесь, как и много веков назад, в понижениях, балках, оврагах собирается вода, подпитывая грунтовые воды, поднимая их уровень, в прибрежных осваиваемых частях склонов, особенно после снеготаяния и после обильных дождей. Выровненный прибрежный склон насыщается водой. Масса (вес) его увеличивается. В результате такого антропогенного воздействия формируется оползневое тело, что приводит к медленному смещению берега, формируется «антропогенный оползень скольжения».

Оползни могут происходить и вследствие нарушения внутренних связей грунта при выносе водой мелких почвенных частиц, илистых фракций (лессиваж) и их суффозии (лат. суффозия — «подкапывание»). Образующиеся небольшие пустоты в грунте заполняются водой. Такие участки берегов проседают или сползают по склону. Это «суффозионный оползень». Примером такого оползня является разрушение берега реки Каменки в г. Суздале вблизи Спасо-Евфимиева монастыря.

Смещение верхних слоев грунта возможно и при небольших уклонах, когда нарушается их устойчивость, например при вырубке древесно-кустарниковой растительности на легких грунтах, при подсыпке грунта или при устройстве дорожных насыпей.

Для предотвращения деформации и разрушения склонов разработано много способов, приемов и материалов. С целью выбора способа выбора материалов для обеспечения устойчивости склонов, особенно в условиях воз

можных оползней, необходимы инженерно-геологические изыскания и почвенные исследования. При таких изысканиях на участках с небольшой мощностью сползающего грунта (до 2—2,5 м) можно использовать почвенные разрезы. Если требуются исследования более глубоких горизонтов, устраивают буровые скважины.

Глубина исследования почвогрунтов в инженерно-геологических разрезах определяется потенциальной мощностью сползающего грунта (оползневого тела). Ориентировочно можно определить возможный размер и площадь сползающего участка грунта по разнице отметок поверхности. Отметкой нижней части оползня чаще всего служит уровень водоема, реки, озера или пластовый выход грунтовых вод, в верхней части склона — это высотная отметка местности.

Инженерно-геологические изыскания всегда желательно, а на крупных объектах необходимо проводить специализированными организациями. В отчетных и проектных документах приводится детальное описание инженерно-геологического разреза с описанием почвенных горизонтов грунта. При исследованиях необходимо отмечать положение уровня грунтовых вод. Особенно важно выделение водоупорных, часто глинистых горизонтов. В документах исследований приводятся результаты лабораторных исследований грунта. При этом определяются: плотность твердой фазы почвы, характеризующая массу почвы в единице объема (удельный вес, г/см^3); плотность почвы, характеризующая массу сухой почвы в единице объема (объемный вес, г/см^3); общая пористость (P); весовая и объемная влажность.

Необходимы исследования механического состава грунта для определения соотношения песчаных и глинистых частиц и их изменения по глубине.

Одновременно фиксируется положение грунтовых вод.

Для выполнения ландшафтных работ в последние годы широкое применение нашли *геосинтетические материалы*. Основным исходным материалом для геосинтетических изделий является полиэтилен, полиамид, полипропилен, полиэфир и др. Геосинтетические изделия выпускаются в виде геотекстилей, геосеток, геоматов, геомембран. Основная часть геотекстилей — тканые или нетканые материалы на основе полимерных волокон. Их структура обеспечивает высокие физико-химические свойства и стойкость к различным химическим и биологическим воздействиям.

Назначение геосинтетических материалов различно, различны и изделия из них.

Для укрепления склонов, откосов, насыпей применяют геосетку, например, «Армисет-SL» (рис. 36). Производится сетка российской компанией «СетТка» ООО «СетТка», г. Москва. Выпускается в виде пружинящей сетки из переплетений синтетических нитей 1—2 мм толщиной, возможен вариант изделия с подложкой из нетканого материала.

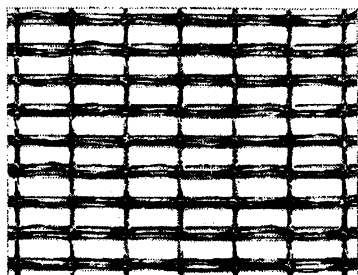


Рис. 36. Геосетка для укрепления склонов

Для укрепления склонов, несущей способности насыпей Волжский завод асбестовых технических изделий (ВАТИ) выпускает геоматериалы АГМ-композит, АГМ-экстра грунт, набивное прошитое полотно АГМ — армирующий геотекстильный материал.

Армисет-SL применяют для укрепления откосов автодорог, защиты склонов от оползней, пригоден он и для предотвращения суффозионных оползней.

Габиионы. Для предотвращения оползней насыпей и абразии крутых берегов целесообразно использовать габиионные сооружения. Габиион (фр. *gabion*, ит. *gabbione* — «большая клетка») — ящик из проволоочной сетки, заполняемый камнем (рис. 37 на цветной вклейке). Габиионные сетчатые изделия — объемные конструкции, изготовленные из проволоочной сетки двойного кручения с шестиугольными ячейками. Диаметр проволоки 2,4; 2,7; 3,0 мм. Размер ячеек 60 или 80 мм. Габиионы бывают коробчатой конструкции размером $2 \times 1 \times 1$ м (рис. 38) или плоские матрацно-тюфячной конструкции размером: длина 3—4 м, ширина 2 м, высота 17—30 см (пример крепления габиионами высокого склона приведен на рис. 39 на цветной вклейке).

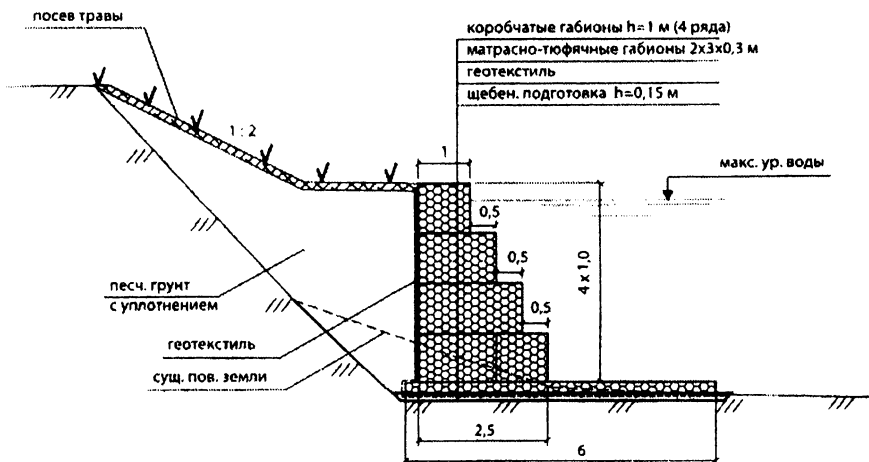


Рис. 38. Конструкция укрепления берега

Сетка габиона изготавливается из оцинкованной проволоки или даже может покрываться полимерными материалами.

С течением времени в устроенных габионах в пространстве между заполнительными камнями накапливаются частички грунта, корни трав и мелких кустарников, приживаясь в габионах, они увеличивают их прочность. На габионах недопустимо появление древесных растений, мощные корни которых могут разрушить сетку и габионы в целом.

Габионные сооружения имеют практически неограниченный срок службы.

Габионные сооружения применяются при строительстве инженерных сооружений для обеспечения устойчивости и сохранности склонов и насыпей, для предотвращения абразий берегов, при других работах по ландшафтному дизайну.

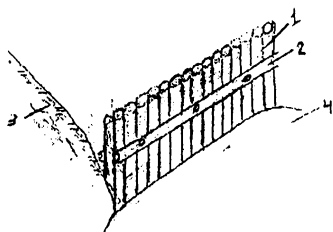
При использовании в строительстве переувлажненных крутых склонов необходимы мероприятия по устранению переувлажнения склонов на участках выше осваиваемой территории. В таких условиях необходимо гидротехническое регулирование участка осушением открытыми каналами или дренажом, по возможности с сохранением леса или облесением безлесных участков. Здесь желательно создание парков, аналогичных, например, парку Александрия в Петродворце.

При разрушении берегов водоемов волнами (абразии) в целях предотвращения их разрушения применяют массивные подпорные стенки габионного типа. Это конструкция в виде ящика из металлической сетки двойного плетения из оцинкованной проволоки толщиной не менее 2—3 мм на каркасе. Такая конструкция заполняется обычно гранитным щебнем. Каркас изготавливается из оцинкованных прутьев диаметром 5—15 мм (рис. 39 на цветной вклейке).

Габионы могут устанавливаться вертикально на крутых берегах или укладываться на некрутых берегах, покрывая берег наклонно. В таких условиях используют габионы матрацно-тюфячного типа (рис. 40 на цветной вклейке).

Вертикально установленные габионы в парковых условиях в местах, активно посещаемых населением, желательно покрывать в верхней части слоем бетона толщиной 5—10 см. При возможности желательно цементное покрытие и со стороны водохранилища, особенно при обнажении стенки до основания при снижении уровня воды в реке летом.

Подпорные стенки. Из практики известны случаи сползания в пруд нижних частей склона насыщенных водой грунтов. Для сохранности прудов, расположенных в нижних частях склона, при сползании их приходится применять подпорные стенки. Для этого ранее со стороны оплывающего склона устанавливали шпунтовую стенку из досок толщиной 6—8 см. В настоящее время шпунтовые доски заменяют калиброванными бревнами диаметром около 10 см. Их устанавливают вертикально в виде сплошного ряда со стороны сползающего берега (рис. 41). Бревна забивают вдоль сползающего откоса на глубину 1,5—2,0 м. Образующая стенка крепится обвязкой сверху или стяжкой сбоку.



**Рис. 41. Крепление берега при сползании
грунта подпорной стенкой из дерева:
1 — калиброванные бревна; 2 — крепление
бревен (замок); 3 — береговой склон; 4 — пруд**

Для выравнивания небольших склонов или формирования террас можно ограничиваться невысокими подпорными стенками из кирпича, желательно клинкерного, возможно сложенными из плиток, даже тротуарных, крупного камня, скрепленного цементным раствором.

При подтоплении пойменных земель для снижения уровней грунтовых вод можно использовать береговой дренаж (см. рис. 30). 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 (см. главы 5—7).

Контрольные вопросы к главе 15

1. Почему происходят оползни?
2. Какие существуют способы борьбы с эрозией берегов рек?
3. Что такое габионы?
4. Дайте описание конструкций габионов.
5. Для чего сооружают подпорные стенки?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Рекомендуемая литература

Основная учебная литература

1. Бабилов, Б. В. Гидротехнические мелиорации [Текст] : учеб. для студ. вузов, обучающихся по направлению «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство» / Б. В. Бабилов. — Изд. 4-е, стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2005. — 304 с.

Дополнительная учебная, учебно-методическая литература

1. Гидротехнические мелиорации лесных земель [Текст] : самост. работа студентов : метод. указ. для подготовки дипломированных специалистов по направлению 656200 «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство» спец. 250201 «Лесное хозяйство» / Федеральное агентство по образованию, Сыкт. лесн. ин-т — фил. ГОУ ВПО «С.-Петерб. гос. лесотехн. акад. им. С. М. Кирова», Каф. лесного хозяйства ; сост. В. В. Пахучий. — Сыктывкар : СЛИ, 2007. — 28 с.

2. Гидротехнические мелиорации лесных земель [Текст] : сб. описаний лаб. работ для подготовки дипломированного специалиста по направлению 656200 «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство» спец. 250201 «Лесное хозяйство» / Федеральное агентство по образованию, Сыкт. лесн. ин-т — фил. ГОУ ВПО «С.-Петерб. гос. лесотехн. акад. им. С. М. Кирова», Каф. лесного хозяйства ; сост. В. В. Пахучий. — Сыктывкар : СЛИ, 2007. — 20 с.

3. Касьянов, А. Е. Гидротехнические мелиорации лесных земель. Осушение [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. «Лесное хозяйство» направления «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство» / А. Е. Касьянов ; Моск. гос. ун-т леса. — Москва : МГУЛ, 2005. — 46 с.

4. Сабо, Е. Д. Гидротехнические мелиорации объектов ландшафтного строительства [Текст] : учеб. для студ. вузов, обучающихся по спец. 250203 «Садово-парковое и ландшафтное строительство» направления подготовки 250200 дипломированных специалистов «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство» / Е. Д. Сабо, В. С. Теодоронский, А. А. Золотаревский ; под ред. Е. Д. Сабо. — Москва : Академия, 2008. — 336 с.

5. Константинов, В. К. Мелиоративная энциклопедия [Текст]. Вып. 2. Гидролесомелиорация / В. К. Константинов. — Санкт-Петербург : СПбНИИЛХ, 1999. — 329 с.

Использованная литература

1. Артемьев, А. И. Лесоводственное обоснование интенсивности осушения в эксплуатационных лесах Европейского Севера [Текст] / А. И. Артемьев, А. М. Тараканов, В. Г. Боголепов, Г. А. Мочалова // Повышение продуктивности заболоченных лесов. — Ленинград, 1983. — С. 86—92.

2. Бабилов, Б. В. Экология основных лесов на осушенных болотах [Текст] / Б. В. Бабилов. — Санкт-Петербург : Наука, 2004. — 166 с.
3. Бабилов, Б. В. Гидротехнические мелиорации [Текст] / Б. В. Бабилов. — Санкт-Петербург : Лань, 2005. — 300 с.
4. Бабилов, Б. В. Осушение лесных земель: региональные аспекты [Текст] : учеб. пособие / Б. В. Бабилов, В. В. Пахучий. — Сыктывкар : СЛИ, 2001. — 149 с.
5. Биологическое разнообразие лесных экосистем [Текст]. — Москва : Международный институт леса, 1995. — 356 с.
6. Буш, К. К. Отражение динамики осушенных лесов в типологии [Текст] / К. К. Буш // Динамическая типология лесов. — Москва : Агропромиздат, 1989. — С. 168—177.
7. Вомперский, С. Э. Биологические основы эффективности лесосушения [Текст] / С. Э. Вомперский. — Москва : Наука, 1968. — 870 с.
8. Вомперский, С. Э. О неопределенностях углеродного цикла экосистем [Текст] / С. Э. Вомперский // Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны : тез. докл. междунар. науч. конф. — Сыктывкар, 2011. — С. 25—26.
9. Вомперский, С. Э. Лесоосушительная мелиорация [Текст] / С. Э. Вомперский, Е. Д. Сабо, А. С. Формин. — Москва : Лесн. пром-сть, 1975. — 293 с.
10. Вомперский, С. Э. Современные вызовы обоснованию гидромелиорации с позиции биогеоэкологии [Текст] / С. Э. Вомперский // Лесное хозяйство. — 2008. — № 4. — С. 18—19.
11. Глухова, Т. В. Составляющие углеродного баланса верховых болот южнотаежной зоны ЕТР [Текст] / Т. В. Глухова, А. Г. Ковалев, С. Э. Вомперский // Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны : тез. докл. междунар. науч. конф. — Сыктывкар, 2011. — С. 30—31.
12. Докучаев, В. В. По вопросу об осушении болот вообще и в частности об осушении Полесья [Текст] / В. В. Докучаев // Тр. С.-Петербургского общества естествоиспытателей. — Санкт-Петербург, 1872. — Т. VI. — С. 131—185.
13. Дубах, А. Д. Очерки по гидрологии болот [Текст] / А. Д. Дубах. — Ленинград, 1963. — 120 с.
14. Елпатьевский, М. М. Осушение и освоение заболоченных лесных земель [Текст] / М. М. Елпатьевский, М. П. Елпатьевский, В. К. Константинов. — Москва : Лесн. пром-сть, 1970. — 229 с.
15. Ерцев, Г. Н. Применение компьютерных технологий в мелиорации, водном хозяйстве и землеустройстве [Текст] / Г. Н. Ерцев // Применение компьютерных технологий в мелиорации, водном хозяйстве и землеустройстве : матер. науч.-практ. конф. (17—18 декабря 1998 г., Сыктывкар, Республика Коми). — Сыктывкар, 1999. — 80 с.

16. Залитис, П. П. Основы рационального лесосушения в Латвийской ССР [Текст] / П. П. Залитис. — Рига : Зинатне, 1983. — 228 с.
17. Иванов, А. И. Изменение структуры древостоев болотных сосняков в первые 10 лет после осушения [Текст] / А. И. Иванов, М. А. Бунин // Лесоведение. — 1986. — № 2. — С. 38—44.
18. Иванов, К. Е. Водообмен в болотных ландшафтах [Текст] / К. Е. Иванов. — Ленинград : Гидрометеиздат, 1975. — 280 с.
19. Кошечев, А. Л. Заболачивание вырубок и меры борьбы с ними [Текст] / А. Л. Кошечев. — Москва : Изд-во АН СССР, 1955. — 167 с.
20. Константинов, В. К. Эксплуатация лесосушительных систем [Текст] / В. К. Константинов. — Москва : Лесн. пром-сть, 1979. — 152 с.
21. Корепанов, А. А. Динамика биологического разнообразия экосистем в связи с лесосушением [Текст] / А. А. Корепанов, А. К. Ибрагимов // Биологическое разнообразие лесных экосистем. — Москва : Научный совет РАН по проблемам леса, 1995. — С. 264—266.
22. Костяков, А. Н. Основы мелиорации [Текст] / А. Н. Костяков. — Москва : Сельхозгиз, 1960. — 622 с.
23. Леса и лесная промышленность Коми АССР [Текст]. — Москва-Ленинград : Гослесбумиздат, 1961. — 395 с.
24. Лопатин, В. Д. О гидрологическом значении верховых болот [Текст] / В. Д. Лопатин // Вестник ЛГУ. — 1949. — № 2. — С. 37—39.
25. Лундин, К. П. Водные свойства торфяной залежи [Текст] / К. П. Лундин. — Москва : Урожай, 1964. — 210 с.
26. Маслов, А. А. Оценка видового биоразнообразия лесов путем анализа синтаксонов разных уровней [Текст] / А. А. Маслов // Биологическое разнообразие лесных экосистем. — Москва : Международный институт леса, 1995. — С. 59—61.
27. Маслов, Б. С. О влиянии осушительных мелиораций на грунтовые воды и речной сток [Текст] / Б. С. Маслов, Э. А. Шерлинг, В. К. Седова // Гидротехника и мелиорация. — 1973. — № 5. — С. 66—71.
28. Мелехов, И. С. Лесоводство [Текст] / И. С. Мелехов. — Москва : Агропромиздат, 1989. — 302 с.
29. Миркин, Б. М. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии [Текст] / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг, Л. Г. Наумова. — Москва : Наука, 1989. — 223 с.
30. Моисеев, Б. Н. Количественная оценка разнообразия ценопопуляций и ее связь с продуктивностью лесных экосистем [Текст] / Б. Н. Моисеев // Биологическое разнообразие лесных экосистем. — Москва : Международный институт леса, 1995. — С. 64—66.

31. Нормативы для определения лесоводственной эффективности осушения [Текст]. — Москва : Союзгипролесхоз, 1977. — 184 с.
32. Орлов, А. Я. Почвенная экология сосны [Текст] / А. Я. Орлов, С. П. Кошельков. — Москва : Наука, 1971. — 323 с.
33. Оппоков, Е. В. О гидрологической роли болот [Текст] / Е. В. Оппоков // Сельское хозяйство и лесоводство. — 1909. — № 9. — С. 37—57.
34. Пахучий, В. В. Факторы продуктивности осушенных насаждений европейского Северо-Востока [Текст] / В. В. Пахучий. — Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 1991. — 102 с.
35. Писарьков, Х. А. Влияние глубины грунтовых вод на производительность лесных земель [Текст] / Х. А. Писарьков, П. И. Давыдов // Тр. ЛТА. — 1956. — № 73. — С. 29—47.
36. Писарьков, Х. А. Гидротехнические мелиорации лесных земель [Текст] / Х. А. Писарьков, А. Ф. Тимофеев, Б. В. Бабинов. — Москва : Лесн. пром-сть, 1978. — 246 с.
37. Поясов, Н. П. К вопросу об аэробных и анаэробных условиях в почве по данным состава почвенного воздуха [Текст] / Н. П. Поясов // Вопросы агрономической физики : сб. — Ленинград : Физматгиз, 1959. — С. 257—263.
38. Пьявченко, Н. И. Основы гидролесомелиорации [Текст] / Н. И. Пьявченко, Е. Д. Сабо. — Москва : Гослесбуиздат, 1962. — 380 с.
39. Пятецкий, Г. Е. Осушение лесных земель Карелии [Текст] / Г. Е. Пятецкий. — Петрозаводск : Карел. кн. изд-во, 1963. — 90 с.
40. Романов, В. В. Гидрофизика болот [Текст] / В. В. Романов. — Ленинград : Гидрометеиздат, 1961. — 360 с.
41. Рубцов, В. Г. Закладка и обработка пробных площадей в осушенных насаждениях [Текст] / В. Г. Рубцов, А. А. Книзе. — Ленинград, 1977. — 44 с.
42. Рубцов, М. В. Защитная функция лесов вдоль таежных рек [Текст] / М. В. Рубцов. — Москва : Лесн. пром-сть, 1983. — 192 с.
43. Руководство по осушению лесных земель [Текст]. — Москва, 1985, 1986. — Ч. I, II, III. — 63 с., 98 с., 115 с.
44. Сабо, Е. Д. Гидролесомелиоративный фонд СССР и перспективы его осушения [Текст] / Е. Д. Сабо // Значение болот в биосфере. — Москва : Наука, 1980. — С. 16—24.
45. Сабо, Е. Д. Справочник гидролесомелиоратора [Текст] / Е. Д. Сабо, Ю. Н. Иванов, Д. А. Шатилло. — Москва : Лесн. пром-сть, 1981. — 200 с.
46. Синькевич, Т. А. Биоразнообразие лесных фитоценозов Карелии и его количественная оценка [Текст] / Т. А. Синькевич // Биологическое разнообразие лесных экосистем. — Москва : Научный совет РАН по проблемам леса, 1995. — С. 216—218.

47. Смоляк, Л. П. Болотные леса и их мелиорация [Текст] / Л. П. Смоляк. — Минск, 1969. — 209 с.
48. Сукачев, В. Н. Избранные труды [Текст] / В. Н. Сукачев. — Т. 1, 3. — Ленинград : Наука, 1972, 1975. — 418 с., 539 с.
49. Федоров, С. Ф. Исследование элементов водного баланса в лесной зоне Европейской территории СССР [Текст] / С. Ф. Федоров. — Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. — 264 с.
50. Хотянович, А. В. О характере влияния застойных почвенно-грунтовых вод на обмен веществ сосны [Текст] / А. В. Хотянович // Лесной журнал. — 1969. — № 3. — С. 34—39.
51. Цепляев, В. П. Леса СССР [Текст] / В. П. Цепляев. — Москва : Сельхозиздат, 1961. — 609 с.
52. Юстен, Х. Влияние болот на круговорот углерода и климат [Текст] / Х. Юстен, А. А. Сири // Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны : тез. докл. междунар. науч. конф. — Сыктывкар, 2011. — С. 5—6.
53. Heikurainen, L. Effect of fertilization, drainage and temperature conditions on the development of planted and natural seedlings on pine swamps [Text] / L. Heikurainen, J. Laine // Acta For. Fenn. — 1976. — Vol. 150. — P. 29—38.
54. Keltikangas, M. Peatlands drained for forestry during 1930—1978: results from field surveys on drained areas [Text] / M. Keltikangas, J. Laine, P. Puttonen, K. Seppälä // Acta For. Fenn. — 1986. — Vol. 193. — P. 82—83.
55. Larcher, W. Ökologie der Pflanzen. Verbesserte Auflage. Verlag Eugen Ulmer [Text] / W. Larcher. — Stuttgart, 1976. — 320 s.
56. Paavilainen, E. Peatland forestry: ecology and principles [Text] / E. Paavilainen, J. Päänen. — Berlin, New York : Springer-Verlag, Heidelberg, 1995. — 220 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Значение коэффициента C по формуле Н. Н. Павловского

$$[C = \frac{1}{n} R^y, \text{ где } y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75(n - 0,1) \text{ (для метрических мер)}]$$

R, м	n						
	0,025	0,030	0,035	0,040	0,050	0,080	0,100
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 2. Отклонения ординат биномиальной кривой обеспеченности от середины при $C_v = 1$

C_s	Обеспеченность, P , %										
	1	3	5	10	25	50	75	90	95	97	99
0,2	2,47	1,96	1,70	1,30	0,65	-0,03	0,69	-1,26	-1,58	-1,79	-2,18
0,3	2,54	2,00	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	1,32	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	1,33	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	3,50	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	2,00	1,31	0,40	-0,29	-0,72	-0,92	-0,98	-1,01	-1,04
2,0	3,60	2,51	2,00	1,30	0,39	-0,31	-0,71	-0,90	-0,95	-0,97	-0,99

**Приложение 3. Определение степени разложения торфа по внешним признакам
(по Зиза и Никонову)**

Степень разложения, %	Растительные остатки	Физические свойства	Отжатая вода
До 15	Хорошей сохранности, составляют почти всю массу торфа	Торф не пачкает руку, при сжатии в кулаке не продавливается между пальцами, отжатая масса пружинит	Светлая, от почти прозрачной до желтого цвета, отжимается легко
15—25	Худшей сохранности, но хорошо заметны, преобладают, довольно хорошо распознаются	Торф при растирании пачкает руку, при сжатии в кулаке не продавливается	Вода коричневая или бурая, отжимается свободно при 20 % разложения и с небольшим усилием при 25 % разложения
25—35	Худшей сохранности, замазаны гумусом, распознаются лишь некоторые	При растирании пачкает руку, часть торфа продавливается в кулаке, заметна пластичность	Вода отжимается с усилием в небольшом количестве, коричневая, мутная
35—50	Заметны и распознаются только некоторые, часто на изломе торфа	Пачкает руку, продавливается при сжатии, заметны отпечатки пальцев	Вода отжимается со значительным усилием, мутная, темно- или серо-коричневая
Более 50	Мало заметны или совсем не заметны, распознаются только некоторые, гумус резко преобладает	Пачкает руку, при сжатии в кулаке продавливается большая часть торфа	Вода не отжимается или отжимается отдельными каплями, очень мутная, темно-коричневая, почти черная

Приложение 4. Таблица классов бонитета осушенных сосновых насаждений

Дав- ность осуше- ния, лет	Класс бони- тета	Высота в момент осушения, м							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Высота в момент таксации, м							
10	Ia	5,5	6,5	7,5	8,5	9,4	10,5	11,4	12,2
	I	4,8	5,9	7,0	7,9	8,8	9,8	10,8	11,6
	II	4,1	5,3	6,4	7,2	8,2	9,1	10,2	11,0
	III	3,4	4,7	5,7	6,6	7,6	8,5	9,5	10,4
	IV	2,6	4,2	5,2	5,9	6,9	7,9	8,9	9,8
	V	1,9	3,7	4,8	5,4	6,2	7,2	8,2	9,3
15	Ia	8,5	9,4	10,3	11,1	11,9	12,8	13,6	14,4
	I	6,8	7,9	8,9	9,8	10,7	11,7	12,6	13,4
	II	5,8	7,0	8,1	9,0	8,9	10,9	11,9	12,7
	III	4,9	6,2	7,2	8,1	9,0	9,9	10,7	11,5
	IV	4,0	5,4	6,4	7,2	8,0	8,7	9,7	10,7
	V	3,1	4,4	5,6	6,3	7,0	8,0	9,0	10,1
20	Ia	11,4	12,3	13,0	13,6	14,3	15,1	15,8	16,7
	I	8,4	9,8	10,7	11,6	12,3	13,6	14,4	15,3
	II	7,5	8,6	9,9	10,8	11,7	12,6	13,5	14,3
	III	6,3	7,5	8,8	9,5	10,3	11,2	11,8	12,6
	IV	5,3	6,8	7,8	8,6	9,0	9,5	10,4	11,5
	V	4,2	5,8	6,5	7,1	7,8	8,9	9,9	10,8
30	Ia	15,5	16,3	17,1	17,5	18,4	19,2	19,8	20,4
	I	13,1	14,0	14,9	15,6	16,1	17,0	17,7	18,5
	II	11,3	12,1	13,0	13,7	14,6	15,2	16,0	16,6
	III	9,3	10,3	11,2	11,8	12,4	13,2	13,9	14,6
	IV	7,8	8,8	9,6	10,3	11,0	11,7	12,4	13,1
	V	5,9	7,2	8,0	8,6	9,3	10,4	11,4	12,4
40	Ia	19,5	20,2	20,9	21,5	22,1	22,8	23,3	24,0
	I	16,6	17,4	18,0	18,7	19,3	20,0	20,6	21,3
	II	14,2	14,8	15,6	16,3	16,8	17,4	18,0	18,6
	III	11,7	12,6	13,3	14,0	14,6	15,3	16,0	16,7
	IV	9,6	10,7	11,5	12,2	12,7	13,3	13,9	14,6
	V	7,5	8,6	9,4	10,2	11,0	12,0	12,6	13,3
50	Ia	23,0	23,6	24,3	24,8	25,8	25,9	26,3	26,8
	I	19,5	20,1	20,6	21,3	21,8	22,3	22,8	23,3
	II	16,6	17,1	17,7	18,3	18,8	19,4	20,0	20,6
	III	13,8	14,6	15,3	16,0	16,7	17,3	18,0	18,6
	IV	11,3	12,3	13,1	13,7	14,2	14,8	15,4	16,0
	V	9,0	10,2	11,0	11,7	12,4	13,0	13,6	14,2
60	Ia	26,0	26,5	27,0	27,4	27,8	28,2	28,5	28,8
	I	21,8	22,4	22,8	23,3	23,8	24,3	24,8	25,3
	II	18,6	19,1	19,7	20,3	20,8	21,4	22,0	22,6
	III	15,8	16,6	17,2	17,9	18,5	19,1	19,6	20,2
	IV	12,9	13,8	14,6	15,2	15,6	16,2	16,7	17,2
	V	10,5	11,6	12,3	12,8	13,3	14,0	14,4	14,9

Высота в момент осушения, м									
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Высота в момент таксации, м									
12,8	13,6	14,3	15,3	16,3	17,2	18,1	19,0	20,0	21,0
12,3	13,1	13,9	14,8	15,8	16,7	17,5	18,4	19,2	20,1
11,8	12,6	13,4	14,3	15,2	16,2	17,0	17,8	18,6	19,6
11,3	12,0	12,8	13,7	14,7	15,6	16,5	17,3	18,2	19,3
10,8	11,6	12,4	13,2	14,2	15,2	16,0	16,7	17,8	18,8
10,3	11,2	12,1	12,8	13,8	14,7	15,4	16,0	—	—
15,0	15,7	16,5	17,3	18,3	19,3	20,2	21,1	22,0	23,0
14,2	15,0	15,8	16,6	17,5	18,3	19,0	19,8	20,6	21,4
13,4	14,1	14,8	15,6	16,4	17,3	18,1	18,8	19,7	20,7
12,2	13,0	13,9	15,8	15,7	16,6	17,5	18,3	19,2	20,1
11,6	12,5	13,3	14,0	15,0	16,0	16,7	17,5	18,4	19,2
11,1	11,9	12,7	13,4	14,2	15,0	15,6	16,0	—	—
17,1	17,8	18,6	19,5	20,4	21,4	22,3	23,2	24,0	24,9
16,0	16,9	17,6	18,4	19,2	20,0	20,3	21,3	22,0	22,7
14,9	15,5	16,2	16,9	17,6	18,3	19,1	19,8	20,8	21,8
13,2	14,0	14,8	15,8	16,7	17,6	18,4	19,3	20,1	20,9
12,4	13,3	14,1	14,9	15,8	16,7	17,4	18,2	18,9	19,5
11,8	12,7	13,2	13,9	14,7	15,4	15,8	16,0	—	—
21,0	21,6	22,3	23,1	23,9	24,8	25,4	26,3	26,9	27,5
19,1	19,8	20,5	21,2	21,8	22,4	22,9	23,4	24,1	24,7
17,2	17,7	18,2	18,9	19,7	20,3	21,1	21,9	22,9	23,8
15,2	16,0	16,8	17,7	18,5	19,3	20,1	20,8	21,4	22,1
13,9	14,8	15,6	16,3	17,1	17,8	18,5	19,1	19,6	20,1
13,0	13,6	14,2	14,7	15,4	15,8	15,9	16,0	—	—
24,5	25,0	25,6	26,3	26,9	27,5	28,0	28,5	29,0	29,5
21,8	22,2	22,7	23,2	23,8	24,4	25,0	25,5	26,0	26,5
19,2	19,7	20,3	21,0	21,7	22,4	23,1	23,8	24,6	25,2
17,2	18,0	18,7	19,4	20,2	20,8	21,4	21,9	22,4	22,9
15,4	16,1	16,9	17,5	18,2	18,7	19,2	19,7	20,2	20,5
14,0	14,4	14,9	15,3	15,8	15,9	16,0	16,0	—	—
27,2	27,6	28,0	28,4	28,9	29,4	30,0	30,4	30,8	31,3
23,7	24,2	24,7	25,3	25,7	26,2	26,7	27,1	27,7	28,1
21,2	21,7	22,3	22,9	23,5	24,1	24,7	25,2	25,8	26,3
19,3	19,8	20,4	21,0	21,5	22,0	22,4	22,8	23,2	23,7
16,7	17,3	17,9	18,5	19,0	19,4	19,9	20,2	20,5	20,5
14,7	15,1	15,4	15,8	16,0	16,0	16,0	16,0	—	—
29,2	29,6	30,0	30,4	30,8	31,3	31,7	32,1	32,4	32,7
25,7	26,1	26,5	26,9	27,3	27,8	28,3	28,7	29,1	29,5
23,1	23,6	24,1	24,6	25,0	25,5	25,9	26,3	26,8	27,2
20,7	21,1	21,6	22,0	22,4	22,8	23,2	23,6	24,0	24,3
17,8	18,3	18,8	19,2	19,7	20,0	20,3	20,5	20,5	20,5
15,3	15,6	15,8	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	—	—

Учебное издание

Бабилов Борис Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Пахучий Владимир Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕЛИОРАЦИИ (ОСУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ)

Сан.-эпид. заключение № 11.РЦ.09.953.П.000015.01.09

Подписано в печать 06.06.14. Формат 60 × 90 1/16. Уч.-изд. л. 10,2 + цв. вкл. 0,3.

Усл. печ. л. 10,0. Тираж 80. Заказ № 106

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова» (СЛИ),

167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39
institut@sfi.komi.com, www.sli.komi.com

Редакционно-издательский отдел СЛИ.
Отпечатано в СЛИ.

