

Митрахович А. И.
Авраменко Н. М.
Казьмирук И. Ч.

РЕКОНСТРУКЦИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Минск
БНТУ
2025

Митрахович, А. И. Реконструкция мелиоративных систем / А. И. Митрахович, **Н. М. Авраменко**, И. Ч. Казьмирук. – Минск : БНТУ, 2025. – 284 с. – ISBN 978-985-31-0161-4.

В книге на основании исследований авторов и обобщения отечественного и зарубежного опыта изложены сведения, касающиеся одной из важнейших проблем в области мелиорации – проведения реконструкции мелиоративных систем для обеспечения эффективного использования мелиорированных земель в регионе Полесья и в восточной части республики. Приведены сведения об этапах развития мелиорации и способах ее реализации в Припятском Полесье. Излагаются сведения по формированию водного режима почв, обуславливающих выбор способов реконструкции мелиоративных систем, предлагаются новые конструктивные решения. Особое внимание уделяется возможности применения вертикального и выборочного горизонтального дренажей. Заостряется внимание на способах реконструкции закрытого горизонтального дренажа в связи с изменившимися природными условиями и возросшими экологическими требованиями. Подробно рассмотрены способы осушения лессовидных суглинков и даны рекомендации по их применению.

Табл. 41. Ил. 105. Библиогр. 211 назв.

Рекомендовано к изданию научно-техническим советом
Белорусского национального технического университета
(протокол № 2 от 14.02.2025)

Р е ц е н з е н т ы:

профессор, доктор технических наук, профессор кафедры
«Водоснабжение и водоотведение» БНТУ *А. Н. Колобаев*;
профессор, главный научный сотрудник Мещерского филиала ФГБНУ
«ФНЦ ВНИИГиМ» им. А. Н. Костякова, заслуженный деятель науки РФ,
доктор сельскохозяйственных наук (специальность 06.01.02 – мелиорация,
рекультивация и охрана земель) *Ю. А. Мажайский*;
доцент, кандидат технических наук, профессор кафедры
информационных технологий Международного
университета МИТСО *Н. К. Вахонин*;
доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой
энергетики БГАТУ *А. М. Кравцов*;
доцент, кандидат технических наук, декан факультета инженерных систем
и экологии УО «Брестский государственный университет» *О. П. Мешик*

ISBN 978-985-31-0161-4

© Митрахович А. И., **Авраменко Н. М.**,
Казьмирук, И. Ч., 2025
© Белорусский национальный
технический университет, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ И СПОСОБЫ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В РЕГИОНЕ ПОЛЕСЬЯ	9
1.1. Этапы развития мелиорации земель в Белорусском Полесье	9
1.2. Осушительно-увлажнительные системы	15
1.3. Пolderные системы.....	18
1.4. Самотечно-насосные системы.....	21
1.5. Предпосылки для проведения реконструкции мелиоративных систем в Полесье.....	28
1.6. Условия применения вертикального дренажа на мелиоративных объектах	30
2. КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА	40
2.1. Осушительно-оросительные системы вертикального дренажа в гумидной зоне	40
2.2. Осушительно- оросительные системы вертикального дренажа в сложных гидрогеологических условиях.....	54
2.3. Дренажные скважины как источник водообеспечения оросительной техники в регионе Полесья	63
2.4. Сифонные водосборы на вертикальном дренаже.....	68
2.5. Расчет сифонного водосбора.....	74
2.6. Фильтрационные расчеты вертикального дренажа.....	76
3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ	81
3.1. Принципы регулирования водного режима почв с учетом экстремальных погодных условий.....	81
3.2. Водоемы-копани как аккумуляторы воды на полях	82
3.3. Повышение эффективности работы дренажа на базе новых конструктивных элементов	88
3.4. Опыт применения выборочного горизонтального дренажа в условиях Полесья.....	99
4. РЕКОНСТРУКЦИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ	103
4.1. Основные направления и требования к проектированию реконструкции мелиоративных систем.....	103

4.2. Способы реконструкции мелиоративных систем в Белорусском Полесье	106
4.3. Эффективность реконструкции мелиоративных систем в Полесье	113
4.4. Фильтрационные расчеты выборочного дренажа	121
4.5. Принципиальные схемы реконструкции мелиоративных систем	127
4.6. Колонки-поглотители на осушительных мелиоративных системах.....	138
4.7. Технология строительства пластмассового дренажа	143
5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ОСУШЕНИЯ ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКОВ.....	149
5.1. Особенности осушения слабоводопроницаемых почв	149
5.2. Характеристика опытно-производственного участка «Мазоловский»	152
5.3. Метеорологические условия по объекту и мелиоративная обстановка	173
5.4. Полевые исследования на объекте мелиорации «Мазоловский»	176
5.5. Техническое состояние дренажных систем на объекте мелиорации «Мазоловский».....	194
5.6. Сельскохозяйственное использование осушенных земель	200
5.7. Оценка экономической эффективности запроектированных мероприятий.....	204
5.8. Достоинства и недостатки способов мелиорации объекта «Мазоловский»	206
6. РЕКОНСТРУКЦИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ НА СЛАБОВОДОПРОНИЦАЕМЫХ ПОЧВАХ	210
6.1. Факторы, обуславливающие необходимость проведения реконструкции мелиоративных систем.....	210
6.2. Обследование технического состояния мелиоративной сети	212
6.3. Методика определения водоприемной способности дрен	214
6.4. Водно-физические свойства слабоводопроницаемых почв.....	218
6.5. Формирование поверхностного стока на слабоводопроницаемых почвах.....	223

6.6. Формирование дренажного стока	225
6.7. Изменение водоприемной способности дренажа в процессе эксплуатации	227
6.8. Агротехнические и агромелиоративные приемы на осушаемых почвах	238
6.9. Особенности осушения слабоводопроницаемых почв	244
6.10. Учет особенностей слабоводопроницаемых почв при расчете дренажа	248
6.11. Рекомендации по способам осушения слабоводопроницаемых почв	257
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	264

ВВЕДЕНИЕ

Высокоэффективное земледелие на значительной части сельскохозяйственных угодий гумидной зоны невозможно без проведения мелиоративных мероприятий, главным из которых является регулирование водного режима почв в пределах, обеспечивающих условия развития растений. Основной регулирующий элемент на мелиоративных системах – горизонтальный дренаж. В определенных гидрогеологических условиях, включающих довольно мощные водоносные горизонты, перспективен и более современный способ осушения – вертикальный дренаж.

Монография «Реконструкция мелиоративных систем» является итогом многолетних исследований способов осушения торфяных почв и лессовидных суглинков, проведенных на территории Беларуси. В книге основное внимание уделено новейшим достижениям отечественной и зарубежной науки и практики в области сельскохозяйственного дренажа. Рассматривается мелиорация земель в наиболее крупных регионах Беларуси – Полесской низменности и в восточной части Республики. Приводятся способы реконструкции систем, на торфяных почвах и лессовидных суглинках с макропонижениями и холмистым рельефом.

Полесская низменность вытянута на 500 км вдоль реки Припять с запада на восток от реки Буг до реки Днепр. Площадь низменности составляет около 130 тыс. км², примерно 6,5 млн га (29 % всей площади республики), из них болота и заболоченные земли составляют 2,7 млн га (44 % всей территории республики).

В настоящее время Белорусское Полесье с его бесчисленными ресурсами, плодородными торфяно-болотными почвами, мягким климатом представляет собой высокоиндустриальный регион республики, развитие которого было бы не осуществимо без мелиорации земель.

В книге приводятся этапы развития мелиорации земель в Полесье и других регионах, начиная с 50-х годов прошлого столетия. На основе практических данных и данных научных исследований доказывается необходимость мелиорации для повышения эффективности использования сельхозугодий. Исходя из главных задач мелиорации пересмотрены ее основные принципы, предложены новые способы.

Для выполнения требований обеспечения растений влагой мелиоративные системы должны быть двухстороннего действия, они создаются на базе горизонтального дренажа. Подпочвенное увлажнение или орошение дождеванием осуществляются за счет использования поверхностных вод из естественных или искусственных водотоков (зарегулированных рек, каналов) или водоемов (озер, водохранилищ, накопительных бассейнов), которые во многих местах весьма ограничены. Непременным условием является экономное расходование водных ресурсов, максимально возможное сохранение и улучшение природно-хозяйственных комплексов.

В книге на основе более чем 20-летних натурных исследований авторов на мелиоративных системах в условиях различных природно-климатических зон Беларуси, а также на основе теоретических разработок изложены научные принципы и практические основы проведения реконструкции мелиоративных систем горизонтального и вертикального дренажей.

Появление в строительном производстве новых прогрессивных полимерных материалов и использование их в мелиорации дает возможность повысить надежность мелиоративных систем.

Согласно Государственной программе «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения» в Республике Беларусь намечено ввести в сельхозоборот 76,3 тыс. га реконструируемых мелиоративных систем до конца 2025 г. Повышение роли мелиорации в аграрно-промышленном секторе Республики будет способствовать осуществлению продовольственной безопасности страны.

Книга адресует научным сотрудникам, магистрантам, аспирантам, изучающим инженерную мелиорацию, а также проектировщикам и строителям в области мелиоративного строительства.

Введение, главы 1–4 написаны к. т. н., доцентом Митраховичем А. И. совместно с к. т. н. Авраменко Н. М., раздел 3.3 написан к. т. н., доцентом Митраховичем А. И. и к. т. н., доцентом Казьмирук И. Ч., главы 5, 6 – к. т. н., доцентом Казьмирук И. Ч.

Авторы книги выражают искреннюю благодарность основателям и наставникам мелиоративной школы, учениками которой они являются: Степану Гордеевичу Скоропанову, академику Национальной академии наук Беларуси, академику Академии сельскохозяйственных наук БССР, академику АН БССР, академику ВАСХНИЛ, заслуженному деятелю науки Беларуси, доктору сельскохозяйственных наук, профес-

сору; Анатолию Ивановичу Мурашко, академику ВАСХНИЛ, доктору технических наук, профессору; Владиславу Филипповичу Карловскому, член-корреспонденту ВАСХНИЛ, академику Академии аграрных наук Республики Беларусь, академику Национальной академии наук Беларуси, иностранному члену РАСХН, доктору технических наук, профессору; Василию Тихоновичу Климкову, доктору технических наук, профессору; Петру Николаевичу Костюковичу, доктору технических наук, профессору; Александру Тихоновичу Шпакову, кандидату технических наук.

Авторы выражают благодарность ученым, с которыми совместно работали на протяжении многих лет: Анатолию Павловичу Лихачевичу, член-корреспонденту Национальной академии наук Беларуси, иностранному члену РАСХН, член-корреспонденту Академии аграрных наук Республики Беларусь, доктору технических наук, профессору; Владимиру Александровичу Немиро, кандидату технических наук; Эдуарду Николаевичу Шкутову, кандидату технических наук; Антонине Петровне Майорчик, кандидату технических наук, доценту.

Авторы благодарят за техническую поддержку Алину Ивановну Дмитрук, Ирину Валерьевну Скуратович, Ольгу Борисовну Корбут.

1. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ И СПОСОБЫ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В РЕГИОНЕ ПОЛЕСЬЯ

1.1. Этапы развития мелиорации земель в Белорусском Полесье

От Днепра до границы с Польшей раскинулась низменность с территорией 12,1 млн га. Уникальный по естественно-историческим условиям район Белорусского Полесья занимает 6,1 млн га, из которых болота и заболоченные земли составляют 2,7 млн га (рис. 1.1).

На всей территории Белорусского Полесья находилось около 1,4 млн га пригодных для поселения пространств, разбросанных в виде песчаных островков среди открытых болот и заболоченных лесов, на которых жили крестьяне. Плотность населения здесь составляла до 17 человек на квадратную версту (верста равна 1,07 км), что в 2–3 раза меньше, чем на остальной части Северо-Западного края России [4, 59].



Рис. 1.1. И. Шишкин «Болото. Журавли», 1890

На Полесской низменности было только около 20 % пригодной для проживания территории. Цивилизация двигалась вперед, обходя этот болотистый край на протяжении многих столетий. Для превращения Полесья в высокоразвитый индустриально-аграрный ре-

гион человечеству пришлось затратить более четырех столетий. Ведущая роль в этом принадлежала осушению земель. С развитием мелиорации оздоравливался микроклимат района, исчезали специфические полесские болезни, вызванные болотными испарениями, повышалась плотность населения, развивалась сеть транспортных коммуникаций и инфраструктура, увеличивались площади высокопродуктивных сельскохозяйственных угодий и валовое производство растениеводческой и животноводческой продукции, улучшались условия жизни местного населения.

К выводу о необходимости проведения масштабных осушительных работ в Белорусском Полесье пришли в середине XIX века. Тяжелые условия жизни людей среди непроходимых болот не могли не вызывать интерес жителей края к мелиорации земель. Сохранившиеся документы и объекты свидетельствуют, что первые мелиоративные работы проводились здесь несколько столетий назад.

В середине XIX века правительственная комиссия Петра Александровича Валуева на основании изучения упадка сельского хозяйства западных губерний сделала вывод о необходимости проведения немедленной широкой канализации болот Полесского края в Западном регионе [59]. В 1873 году была организована Западная экспедиция по осушению болот под руководством генерала от инфантерии, русского геодезиста Иосифа Ипполитовича Жилинского. Экспедицией был разработан генеральный план осушения Полесья (на территории современных государств Республики Беларусь, Республики Польша, Украины, Российской Федерации), охватывающий территорию площадью около 8,7 млн га. В 1874 г. Западная экспедиция начала воплощение плана в жизнь [59]. Это был первый отечественный опыт мелиорации столь крупного масштаба. За 25-летний период работы экспедиции на территории Белорусского Полесья было прорыто вручную 4,6 тыс. километров осушительных и лесосплавных каналов (рис 1.2). Общий объем земляных работ по выемке составил 16 млн м³ [112]. Примерно 65 % всех каналов принадлежали бассейну реки Припяти, оставшаяся часть располагалась в бассейнах рек Днепр (11 %), Березина (14 %), Западный Буг (6 %), Неман (4 %). В целом по Полесью было построено 4 367 верст каналов, 549 деревянных балочных мостов и 30 шлюзов, очищено 127 верст заросших русел рек [6].



Рис. 1.2. Рытье каналов вручную в XIX ст.

Полешуки в XIX ст. пытались вести борьбу с болотами. Целые деревни-общины рыли каналы, которые снова зарастали, заилялись, а отвоеванная у топи земля вновь заболачивалась. Сеть осушительных каналов заняла 2,5 млн десятин (1 десятина равна 1,09 га) территории Полесья. 100 тыс. десятин осушенных болот были преобразованы в пашню, 310 тыс. десятин – в сенокосы. Расстояние между осушителями глубиной 1 м принималось 1000 м. Проектная норма осушения для сенокосов устанавливалась равной 0,3–0,6 м.

Первый отечественный опыт канализации такого огромного региона как Полесье получил широкую известность и сыграл положительную роль в проведении будущей мелиорации Полесской низменности и других зон страны. В 1878 году проект И. И. Жилинского получил золотую медаль на всемирной выставке в Париже.

К началу первой мировой войны мелиоративные работы в Белорусском Полесье, проводившиеся в небольших объемах, прекратились вообще.

Советская власть придавала большое значение мелиорации земель и улучшению жизни людей. К началу Великой Отечественной войны в Белорусском Полесье было осушено для интенсивного использования около 85 тыс. га переувлажненных земель против 2 млн на территории современной Республики Беларусь.

Проблема Полесской низменности (рис. 1.3) вновь возникла в 50–60-х годах как один из важнейших комплексных народнохозяйственных вопросов. Полесье было отнесено к числу важнейших водохозяйственных строек СССР (рис. 1.4–1.6).



Рис. 1.3. Болотный массив близ д. Патрики (Кобринский повет, 1935 г.)

Основные объемы мелиоративных работ были выполнены в 60–80-е годы прошлого столетия, при этом значительная часть выделенных на мелиоративное строительство средств была вложена в строительство дорог, жилых поселков, развитие инфраструктуры и непосредственно самих водохозяйственных объектов.

Большие средства были выделены и на проведение научно-исследовательских работ по изучению методов осушения и освоения болот Полесья. Научное обеспечение решения проблемы Полесья осуществляли научно-исследовательские организации: Белорусский НИИ мелиорации, Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР), Белорусский политехнический институт (БПИ) и другие научно-исследовательские институты (НИИ) и опытные станции.



Рис. 1.4. Вспашка торфяных почв



Рис. 1.5. Обработка торфяных почв



Рис. 1.6. Углубление канала экскаватором-драглайном в 1950–60 гг.

Первым научным учреждением в Беларуси, занимавшимся вопросами болотоведения, была Минская опытная болотная станция (рис. 1.7), основанная в 1911 г. в Минске по решению болотной комиссии Минского губернского земства.



Рис. 1.7. Здание Минской болотной станции

Станция проводила исследования в области земледелия, растениеводства, луговодства, мелиорации, агрохимии и агротехники. В 1930 г. на базе станции и отдела осушения и культуры болот Белорусского государственного института сельского и лесного хозяйства организован Всесоюзный НИИ болотного хозяйства, ныне РУП «Институт мелиорации» [194].

Для проведения научно-исследовательских работ в центральной части Полесской низменности в сентябре 1945 года была организована комплексная Полесская опытно-мелиоративная станция (рис. 1.8) в системе НИИ мелиорации и болотного хозяйства Наркомата (Народного комиссариата) мелиорации БССР. Объектом для наблюдения станции был выбран Луинецкий болотный массив в Луинецком районе Брестской области. Участок для изучения болотного режима расположен в нижнем течении левобережья реки Бобрик, который по почвенным, гидрологическим, гидрогеологическим, геологическим и климатическим условиям, характеристикам почвенного покрова является типичным для болот Полесской низменности, поэтому полученные здесь научные и практические результаты пригодны для внедрения практически на всей территории Полесского региона.



Рис. 1.8. Административное здание Полесской опытно-мелиоративной станции

Комплексные мелиорации в рассматриваемом периоде преобразили Полесский регион в социальном и экономическом плане.

1.2. Осушительно-увлажнительные системы

Мелиорация переувлажненных земель является одним из главных направлений природопользования в зоне избыточного и неустойчивого увлажнения. Высокопродуктивное земледелие на значительной площади сельскохозяйственных угодий гумидной зоны невозможно без проведения мелиоративных мероприятий, где суммарные осадки превышают испарение и необходимы мероприятия по удалению избыточных вод, но в отдельные периоды вегетации растений наблюдается дефицит влаги в почве.

По многолетним данным в южном регионе республики маловодные годы встречаются 1 раз в 3–4 года, а в северном – 1 раз в 10 лет [125]. Вместе с тем, и в средние по водности годы, и даже во влажные наблюдаются летние засушливые периоды из-за неравномерности выпадения осадков во времени и по территории. Такие природные катаклизмы негативно сказываются на сельскохозяйственном производстве [125].

Следует учитывать и то, что с несомненной пользой осушения и увлажнения возникают проблемы антропогенного воздействия мелиорации на окружающую природную среду, включая почвы, воды, растительность и фауну, поэтому было необходимо научное

обоснование и разработка новых конструкций экологически безопасных гидромелиоративных систем, позволяющих регулировать в оптимальных пределах водный режим, необходимый для развития растений. Как правило, такие системы должны быть осушительно-увлажнительными и осушительно-оросительными, чтобы удовлетворять требованиям рационального использования водных и земельных ресурсов.

Современное Полесье представляет собой обширную водноледниковую и озерно-аллювиальную эрозийно-аккумулятивную слабо расчлененную равнину, на территории которой развиваются процессы заболачивания и естественного осушения. В геоструктурном отношении Полесье является сложным регионом. Вся толща пород характеризуется высокой обводненностью. Для водоносных горизонтов Полесья характерно отсутствие выдержанных по площади водоупоров, что обуславливает гидравлическую взаимосвязь водоносных горизонтов, где грунтовые воды играют большую роль в обводнении болот и заболоченных земель.

На территории Белорусского Полесья естественные (возобновляемые) ресурсы пресных подземных вод составляют 83,3–92,5 м³/с. Естественные ресурсы подземных вод всей Полесской низменности примерно в 20 раз превышают их современное потребление в народном хозяйстве. В сельскохозяйственном производстве подземные воды на орошение практически не используются.

В Припятском Полесье в общем объеме мелиоративного фонда наибольшее распространение имеют мелкозалежные торфяники и легкие минеральные почвы, развитые на мощной толще разнозернистых песчаных отложений. Водопроницаемость песков колеблется от 2–5 до 10–18 м/сут, водопроницаемость первого от поверхности водоносного горизонта колеблется от 100–230 до 1000 м²/сут [128, 129]. Среднегодовое количество атмосферных осадков колеблется в пределах 500–600 мм. Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур в средние по водности и засушливые годы значительно превышает количество осадков. Дефицит влаги на мелкозалежных торфяниках составляет 100–150 мм. Приведенный анализ природно-климатических условий Белорусского Полесья показывает, что мелиорация земель в этом регионе должна осуществляться на основе создания систем двустороннего действия – осушительно-увлажнительных.

Применявшиеся способы осушения земель Полесья основывались на строительстве горизонтального дренажа и открытой сети, однако данные системы имеют весьма ограниченные способности для выполнения функций двустороннего действия и, прежде всего, обратного регулирования.

Одностороннее действие самотечных систем во многих случаях приводит к переосушению почв, т. к. они являются постоянно действующими.

На первом этапе комплексного освоения болот в период с 1960 по 1962 гг. осушительные системы строились с открытой сетью каналов и расстоянием между ними 100, 150, 200, 300 и 500 м. Апробировался гончарный дренаж с расстоянием между дренами 10, 20, 30, 40, 80, 100 и 170 м. С 1970 года начался второй этап осушения, который включал спрямление русла реки Бобрик (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Углубление земснарядом спрямленного русла р. Бобрик, 1974 г.

Проводящая и регулирующая сеть в Полесье выполнена открытыми каналами с расстоянием между ними 300–400 м, а также экспериментальным горизонтальным гончарным и пластмассовым дренажем с расстоянием между дренами 20–40 м. По результатам исследований (1963–1970 гг.) было установлено, что в гидрогеологических условиях с мощным водоносным горизонтом, залегающим практически с поверхности почвы, существенного различия в режиме грунтовых вод при расстоянии между каналами от 100 до 500 м не наблюдалось [114]. Это послужило основанием для проектирования мелиоративных

систем с большими параметрами во всем регионе Полесья. Завершение спрямления водоприемника (р. Бобрик), строительства на нем пятипролетного шлюза и насосной станции позволили создать осушительно-увлажнительную систему. Для обеспечения подачи воды из водоприемника на осушенный массив и возможности регулирования водно-воздушного режима почвы путем подпочвенного увлажнения (шлюзования) построена система труб-регуляторов с определенным расстоянием между ними. Конструкция осушительно-увлажнительной системы на реке Бобрик стала типовой в регионе Полесья и может применяться при наличии аналогичных природных условий в других регионах. На ее базе была построена первая в гумидной зоне мелиоративная система с автоматизированным управлением уровня воды в каналах и регулирующей сети, которая была представлена открытой сетью осушителей и дренажем – традиционным, малоуклонным и безуклонным. На осушительно-увлажнительной системе (ОУС) на площади 800 га выполнялась автоматизация водораспределения. С диспетчерского пульта осуществлялся сбор информации по уровням грунтовых вод на мелиорированной площади, уровням воды в каналах и управление работой водоподпорных гидросооружений (труб-регуляторов) на каналах. Диспетчерский пульт был расположен в лабораторном корпусе на расстоянии от 3 до 15 км от мелиоративного объекта. Автоматизированная система функционировала 12 лет до 1991 года.

Следует отметить, что двухстороннее регулирование водного режима на многих мелиорированных землях сельскохозяйственного назначения можно осуществить только путем предупредительного шлюзования, однако предупредительное шлюзование на местном стоке малоэффективно для мелиорированных земель с песчаной подпочвой. Гарантированное увлажнение на таких осушенных землях может обеспечиваться только на одной четвертой их площади [7].

1.3. Пolderные системы

В результате осушения территории и регулирования реки Бобрик уровни грунтовых вод на болотном массиве снизились по отношению к первоначальным, значения которых до осушения практически совпадали с отметками поверхности земли под болотным массивом или даже превышали их (имелся слой затопления на поверх-

ности). Так, в средний по водности 1973 год снижение составило 80–130 см, в маловодный 1976 – 102–147 см, во влажный 1980 (сумма осадков 710 мм) – 69–104 см. Существенное влияние осушения объекта распространилось приблизительно на 2 км на прилегающие к нему земли.

В регионе Полесья осушительно-увлажнительные системы на основе применения в качестве осушителей открытых каналов и горизонтального дренажа входят в польдерные системы, получившие широкое распространение на Полесской низменности, а также в нечерноземной зоне России, в Прибалтике и на Украине. Определяющими элементами польдерной системы, которые позволяют выделить ее в отдельную категорию мелиоративных систем, являются осушительные насосные станции и оградительные дамбы. В зависимости от сельскохозяйственного назначения территории польдеры принято разделять на два типа: затапливаемые (летние) и незатапливаемые (зимние). При использовании земель под луга или пастбища устраиваются затапливаемые польдеры, высота дамб которых допускает затопление полыми водами, но исключает затопление в период летне-осенних паводков расчетной обеспеченности. Дамбы на зимних польдерах более высокие, что исключает затопление в любой период (как в весеннее половодье, так и при летне-осенних паводках), поэтому мелиорируемые территории могут использоваться в полевых севооборотах. Основные площади польдерных систем на территории Беларуси сосредоточены в поймах Припяти, Щары, Западного Буга, Днестра и их основных притоков, а также пойменных массивов малых и средних рек Полесской низменности, исключаяющих их спрямление и углубление [97].

До 60-х годов прошлого столетия осушение пойм сводилось, в основном, к регулированию рек-водоприемников, которое было направлено на сокращение продолжительности летнего затопления. Регулирование рек сопровождалось спрямлением русла, углублением дна, в ряде случаев с увеличением общего уклона. Таким образом были зарегулированы реки Оресса, Лань, Бобрик, Цна, Тремля и другие.

Впервые мелиоративные системы польдерного типа были построены в нашей республике в 1962 г. в колхозе им. Калинина Пинского района Брестской области в пойме реки Бобрик, «Бо-

киничичи–Сошно» (883 га) и «Дубновичи» (257 га) и зарекомендовали себя как надежные объекты.

Регулирование режимов грунтовых вод на территории польдеров осуществляется горизонтальным дренажем в сочетании с открытой сетью. С учетом того, что болота Полесья имеют малый уклон поверхности, в среднем 0,0003, а строительство дрен с уклоном $\geq 0,003$ приводит к значительным заглублениям их в устьевой части, рекомендуется применять на территории Полесской низменности безуклонный и малоуклонный ($\leq 0,003$) дренаж с увеличением диаметра труб по длине [37]. Эффективность применения безуклонного дренажа в сочетании с открытой сетью подтверждается исследованиями, проведенными и за рубежом в Нидерландах и ГДР [204, 208].

Практически все польдерные системы и подавляющее число осушительно-увлажнительных систем – водооборотные, т. е. дренажные воды не сбрасываются в реку-водоприемник, а закачиваются насосными станциями в водохранилища или накопительные бассейны. В режиме осушения станция работает только в периоды паводков, половодий и летне-осенних дождей. В остальное время она должна работать так, чтобы не допускать снижения уровня грунтовых вод (УГВ) ниже необходимого для развития сельскохозяйственных культур в различные периоды их вегетации с учетом расположения капиллярной каймы и доступности влаги растениям.

Функционирование польдерных систем предусматривается следующим образом. В режиме осушения (сброса воды) избыточные воды из закрытой и открытой регулирующей сети поступают в магистральный канал, по которому подводятся к насосным станциям. Последние перекачивают воду в водохранилище либо накопительный бассейн или сбрасывают ее в реку. В период сброса воды подпорные регулирующие сооружения (трубы регуляторы, шлюзы) на канале открыты. Откачка избыточных вод прекращается при достижении необходимой нормы осушения, которая контролируется наблюдательными скважинами-пьезометрами в междуренье регулирующей сети. В режиме увлажнения мелиорируемых земель вода из водохранилища, а при его отсутствии – из накопительного бассейна самотеком подается в водопроводящие каналы (при этом затворы на водосбросных сооружениях открыты), из них вода поступает в регулирующую осушительно-увлажнительную сеть. В это время под-

порно-регулирующие сооружения на водопроводящих каналах открываются, а у сбросных остаются закрытыми. В польдерах, находящихся далеко от водохранилищ и не имеющих накопительных бассейнов, регулирование уровней грунтовых вод предусматривается за счет местного стока системы путем закрытия подпорных сооружений.

Существующие природно-климатические условия с экстремальными периодами требуют решения проблем, относящихся ко многим сферам народного хозяйства. Для Полесья является актуальным решение комплексных мелиоративных задач планирования и управления водными и земельными ресурсами в различных отраслях хозяйственной деятельности. Для мелиоративных систем важной является разработка новых энерго- и ресурсосберегающих методов, способов и конструктивных решений при их строительстве, реконструкции и эксплуатации.

1.4. Самотечно-насосные системы

Проблемы регулирования водного режима почв в Полесье в связи с уменьшением годовой суммы осадков требуют проведения реконструкции мелиоративных систем, которые во многих случаях не способны обеспечивать оптимальный водный режим. Она может быть решена путем изменения принципа действия систем и совершенствования их конструкции. Одним из вариантов является применение самотечно-насосных систем с механически регулируемым сбросом или аккумуляцией воды. Такие системы способны регулировать водный режим на отдельных площадях, автономно поддерживая на них заданные уровни грунтовых вод [7]. Режим работы такой системы может оказаться ресурсосберегающим и более экономичным по энергозатратам, чем у польдерных систем.

Осуществление конструкции данного варианта системы проведено на Полесской станции мелиоративного земледелия и луговодства. Основным элементом всякой осушительной системы является водоприемник, от состояния которого зависит эффективность регулирования водного режима.

Управление водным режимом на самотечных осушительных системах Полесья требует значительных затрат на поддержание водоприемника в исправном состоянии. Для исключения подпора воды

в системе возникает необходимость периодической очистки дна русла канализированной реки-водоприемника от заиления. При понижении поверхности осушенного торфяного массива ниже расчетных отметок в процессе длительной эксплуатации мелиоративной системы водоприемник подлежит реконструкции, что влечет существенное увеличение затрат как на строительство, так и на эксплуатацию мелиоративной системы.

Для обеспечения проектного режима самотечного сброса воды из магистральных каналов в реку-водоприемник необходима подчистка русла реки против течения. Она выполняется на всю длину осушаемого участка от устьевой части канала и ниже по течению в пределах кривой подпора и в зависимости от уклона реки-водоприемника может достигать 5–10 км. Следует учитывать, что естественное заиление русла (уменьшение глубины) до динамически устойчивого происходит в среднем за 8–10 лет, после чего требуется очередная подчистка дна [7].

В конструкции польдерных систем предусматривается строительство защитных дамб и насосной станции для механического сброса воды. Дамбы используются в качестве дорожной сети, их высота определяется исходя из необходимости защиты территории от весеннего затопления и летне-осенних паводков. Вода с осушаемой территории поступает через осушительную сеть к насосной станции и перекачивается за дамбу насосами, при этом гидрологический режим реки и прилегающих территорий сохраняются в большей степени, чем при ее самотечном регулировании.

Недостатком данного способа являются большие ежегодные эксплуатационные затраты на электроэнергию для работы насосов по перекачке воды с осушаемой территории в водоприемник.

По данным ряда исследователей [45] среднемноголетняя (2004–2013 гг.) величина удельных затрат электроэнергии на польдерных системах для осушения в Припятском Полесье составляет 98 кВт·ч/га (табл. 1.1).

Для переустройства самотечной мелиоративной системы в самотечно-насосную узел пересечения сбросного канала и дорожной сети необходимо обустроить подпорным сооружением и насосной станцией, гидравлически связанных между собой аванкамерой для создания условий их автономной работы, как в режиме самотечного сброса, так и в режиме откачки.

Оперативное управление водным режимом на самотечно-насосной системе достигается путем маневрирования затворами на подпорном сооружении и использованием насосного оборудования, при этом организуются наблюдения за уровнями воды в магистральном водоподводящем канале и водоприемнике.

Таблица 1.1

Затраты электроэнергии по годам на 1 га польдерных систем
в Припятском Полесье, кВт·ч

Годы									Ср.	
2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		2013
Затраты электроэнергии, кВт·ч										
56	86	90	98	125	122	116	92	59	135	98

Объектом исследований являлась мелиоративная система «ПОМС» в РУП «ПОСМЗиЛ» Брестской области. Водоприемник мелиоративной системы – река Бобрик. В 2010 году при проведении реконструкции самотечной мелиоративной системы «ПОМС» в узле пересечения магистрального канала Б-1 с дорожной сетью (ПК 1+55) реконструирована труба-регулятор и построена насосная станция III категории по надежности откачки. Для обеспечения расчетного сброса канала с расходом $Q_{нс} = 2,27 \text{ м}^3/\text{с}$ при напоре 3,5 м на станции установлены три погружных электронасоса марки PL 7055/680 производства фирмы «Флюгт» (Швеция). После реконструкции мелиоративная система «ПОМС» стала самотечно-насосной (рис. 1.10). Сброс избыточных вод с мелиоративного объекта осуществляется насосной станцией в период, когда уровни воды в реке Бобрик выше уровней воды в канале Б-1, и самотеком через реконструированную трубу-регулятор с ныряющим оголовком, когда уровни воды в Бобрике ниже уровня в канале Б-1. Обеспеченность атмосферных осадков определена по данным болотной станции «Полесская». Объем перекачанной насосами воды, обработанное насосами время и расход электроэнергии взяты из ежегодных отчетов Лунинецкого ПМС по наработке насосных агрегатов насосной станции «Полесская». Количество суток возможного самотечного сброса воды в водоприемник определялось по данным наших измерений отметок уровня воды в канале Б-1 и в реке Бобрик.

Управление водным режимом на самотечно-насосных системах призвано обеспечивать благоприятный водный режим и условия для своевременного и качественного проведения агротехнических работ и уборки урожая на мелиорированных землях с целью получения планируемой урожайности сельскохозяйственных культур.

Технико-экономические показатели работы самотечно-насосной мелиоративной системы «ПОМС» изучались в период 2011–2017 гг. (табл. 1.2). Из 7 лет исследований 4 года (2012, 2013, 2016, 2017) были влажными по количеству выпавших осадков (обеспеченность $P = 4–33\%$) и 3 года (2011, 2014, 2015) – засушливыми ($P = 84–89\%$).

Наибольший объем воды Q был перекачен насосами в 2013 и 2017 годах. В 2013 году он составил 7 695 тыс. м³, а в 2017 году – 5 472 тыс. м³ при средней за годы исследований величине $Q = 2 880$ тыс. м³ (табл. 1.3). На долю вегетационного периода (апрель-сентябрь) приходится 63 % от среднегодовой величины Q , что составляет 1 814 тыс. м³. Для перекачки приведенного выше количества воды в 2013 году отработано насосными агрегатами 3 473, а в 2017 году – 2 420 маш. ч, расход электроэнергии при этом составил 105 960 и 79 080 кВт·ч соответственно. Доля стоимости электроэнергии в стоимости сельскохозяйственной продукции, полученной в эти экстремальные по водности годы (обеспеченность P равна 4 и 10 %) составила соответственно 2,48 и 1,71 % при средней ее величине 0,88 % за годы исследований.

Из данных табл. 1.2 следует, что среднемноголетняя (2011–2017 гг.) величина удельного расхода электроэнергии при работе самотечно-насосной системы «ПОМС» в РУП «ПОСМЗиЛ» составила 12,3 кВт·ч/га. Это примерно в 8 раз меньше удельного расхода электроэнергии, чем на полевых системах Припятского Полесья.

Доля стоимости электроэнергии на перекачку насосами воды на самотечно-насосной системе «ПОМС» в РУП «ПОСМЗиЛ» в стоимости полученной сельскохозяйственной продукции составила в среднем 0,9 %. В экстремальные по водности годы ее величина достигала 2,5–1,7 %. Средняя продолжительность возможного самотечного сброса воды из самотечно-насосной системы «ПОМС» в водоприемник составила 164 сут/год.

Осуществление самотечного сброса воды на самотечно-насосной системе «ПОМС» позволило примерно в 8 раз снизить удельные

затраты электроэнергии на перекачку воды насосами в сравнении с этими показателями на польдерных системах. Здесь следует также учесть применение для откачки воды экономичных погружных электронасосов.

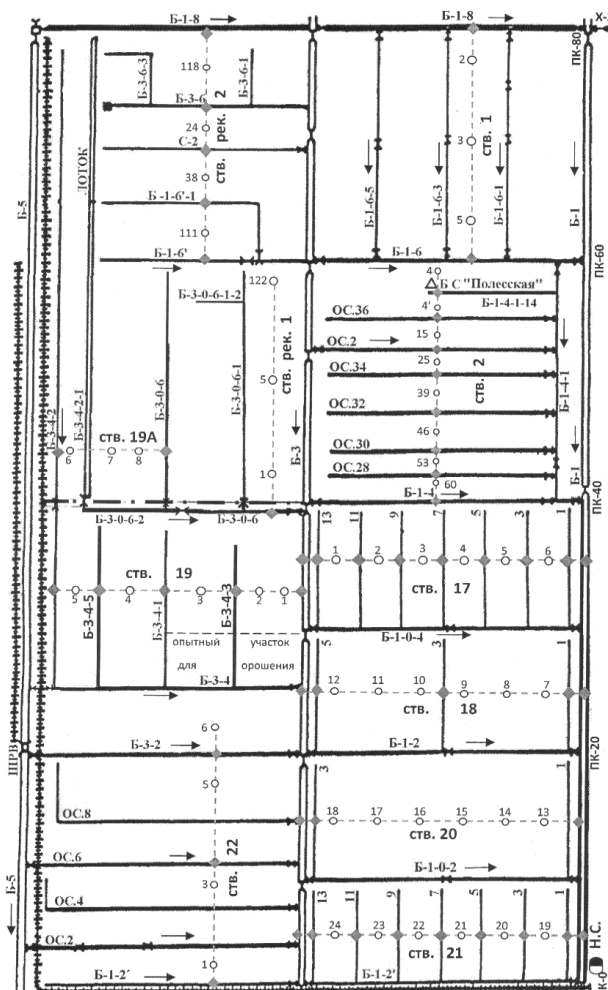


Рис. 1.10. Схема самотечно-насосной мелиоративной системы «ПОМС» в РУП «ПОСМЗиЛ»

Технико-экономические показатели работы самотечно-насосной мелиоративной системы «ПОМС»
в РУП «ПОСМЗиЛ» в различные по водности годы

Годовые технико-экономические показатели	Годы							В среднем
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Количество откаченной за вегетационный период насосами воды, % от годового объема откачки	62	57	100	3	0	92	27	63
Количество суток возможно-самотечного сброса воды в водоприемник	143	150	77	148	175	279	178	164
Количество месяцев, в которые осуществлялся самотечный сброс воды	1	3	2	2	3	5	5	3
Отработано за год насосными агрегатами, маш.ч	1 190	796	3 473	678	13	331	2420	1 272
Расход электроэнергии, кВт·ч: на 1 га обл. площади брутто; всего брутто (3 200 га)	11,38 36 420	6,64 21 240	33,11 105 960	6,77 21 660	0,13 400	3,62 11 580	24,71 79 080	12,34 39 477
Стоимость электроэнергии, руб. (в ценах 2017 г.): – 1 кВт·ч; – всего	0,0613 2 232,5	0,1619 3 438,8	0,1818 19 263,5	0,1975 4 277,8	0,2400 96,0	0,2900 3 358,2	0,2900 22 933,2	–
Продуктивность с/х угодий: с 1 га, ц/га к. ед.; всего нетто (2 988 га), ц к. ед.	41,5 124 002,0	46,5 138 942,0	35,8 106 970,4	48,3 144320,4	38,5 115038,0	41,2 123 105,6	38,3 114 404,4	–
Стоимость кормовых единиц, руб. (в ценах 2017 г.): – 1 ц; – всего	2,90 359 605,8	3,70 514 085,4	7,25 775 535,4	7,25 1 046 322,9	8,12 934 108,6	10,56 1 299 995,1	11,743 1 343 873,6	–
Доля стоимости электроэнергии в стоим. с/х продукции, %	0,62	0,67	2,48	0,41	0,01	0,26	1,71	0,88

Таблица 1.3

Обеспеченность осадками P и объемы воды Q , откачанные самотечно-насосной мелиоративной системой «ПОМС» в РУП «ПОСМЗиЛ» в различные по водности годы

Месяцы	Г о д ы														В средн.
	2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		
	$P, \%$	$Q,$ тыс. м ³	$P, \%$	$Q,$ тыс. м ³	$P, \%$	$Q,$ тыс. м ³	$P, \%$	$Q,$ тыс. м ³	$P, \%$	$Q,$ тыс. м ³	$P, \%$	$Q,$ тыс. м ³	$P, \%$	$Q,$ тыс. м ³	
Январь	58	–	50	–	16	–	50	–	43	4	21	70	77	–	11
Февраль	31	–	75	–	56	–	90	675	90	4	12	–	70	383	152
Март	84	989	40	671	26	–	66	841	71	13	25	–	13	2523	720
Апрель	51	1333	3	645	43	2941	18	С	80	–	27	771	25	998	955
Май	93	157	50	227	24	1826	12	С	24	С	81	–	60	566	397
Июнь	57	9	10	С	< 0,1	2652	60	39	95	–	86	–	34	С	386
Июль	7	153	73	–	75	366	51	–	41	–	34	С	28	С	74
Август	31	С	29	С	97	–	27	4	100	–	35	С	31	С	1
Сентябрь	90	–	55	–	12	С	64	9	С	98	–	22	С	С	1
Октябрь	84	4	28	С	84	–	99	–	73	–	1	С	13	С	1
Ноябрь	99	–	83	–	31	С	92	–	25	С	26	С	60	–	–
Декабрь	60	–	40	–	96	–	60	4	45	–	47	С	6	1272	182
Вегетационный период (апрель-сентябрь)	35	1 652	22	872	1	7 785	49	52	98	–	84	771	19	1 564	1 814
Год (январь-сентябрь)	84	2 645	33	1 543	4	7 785	89	1 572	87	21	18	841	10	5 742	2 880

Примечание: P – обеспеченность осадков, %; Q – перекачено насосами воды, тыс. м³; С – месяц, в котором в течение нескольких суток или всей его продолжительности осуществлялся самотечный сброс воды.

1.5. Предпосылки для проведения реконструкции мелиоративных систем в Полесье

Белорусское Полесье – регион, в котором в течение продолжительного исторического периода выполнялись осушительные мелиорации. Их необходимость определялась своеобразием географических условий, среди которых первенствующее значение имело прогрессирующее заболачивание территории, сдерживающее развитие сельского хозяйства. Изменение природы Белорусского Полесья под влиянием осушительной мелиорации можно рассматривать в историческом аспекте, так как поступательное общественно-экономическое развитие Беларуси сопровождалось усилением использования его природных ресурсов, в основном лесных и земельных [103]. Полесский регион начал активно осваиваться в течение последних столетий. В XX веке Белорусское Полесье осушали преимущественно открытой сетью и горизонтальным дренажем. К XXI ст. общая площадь осушенных земель в Белорусском Полесье составила около 2 млн га. Без мелиорации земель в Полесье невозможно как ведение эффективного сельскохозяйственного производства, так и улучшение жизни населения данного региона [102].

В результате длительной эксплуатации мелиоративных систем, изменения природных условий многие из них не обеспечивают требуемый водно-воздушный режим почв, морально устарели и нуждаются в реконструкции. Реконструкция мелиоративной системы состоит в переустройстве осушительной сети или ее элементов на новую техническую основу, при которой выполняется комплекс мероприятий, направленных на изменение способа осушения, конструкций, основных параметров мелиоративной системы и других ее элементов.

Одним из основных требований при проектировании реконструкции мелиоративных систем является обеспечение относительно одинаковых условий для ведения сельскохозяйственного производства на поле (гомогенизация). Водный режим обеспечивается дифференциацией междренних расстояний соответственно степени увлажнения и грунтовых условий.

В 90-х годах произошло сокращение инвестиций в эксплуатацию мелиоративных систем в Республике. Это негативно отразилось на техническом состоянии современных мелиоративных систем,

требующих квалифицированного ухода и надлежащей эксплуатации. В этот период почти на 70–80 % был разрушен комплекс насосно-силового оборудования и дождевальных установок для орошения. На многих мелиоративных системах вышли из строя подпорные водорегулирующие гидротехнические сооружения и польдерные насосные станции, обеспечивающие водный режим на осушенных землях. Из-за несвоевременного проведения эксплуатационных работ – чистка каналов от водной растительности, окашивание откосов и берм на открытой сети, организация поверхностного стока для предотвращения переувлажненных участков, проведение агромелиоративных мероприятий по разуплотнению осушенных почв – постепенно ухудшалось мелиоративное состояние всех осушенных земель и на значительных площадях начал складываться неблагоприятный водный режим, который привел к недобору урожая сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях Полесья.

Создавшееся положение на мелиоративных системах потребовало пересмотра стратегий осушительных мелиораций в Республике. Основным направлением осушительных мелиораций стало совершенствование технической эксплуатации действующих систем, восстановление и реконструкция устаревших и выходящих из строя [114]. Новое осушение существенно ограничено и практически не проводится.

В связи с возникшими обстоятельствами в Республике потребовались реконструкция мелиоративных систем на площади более 760 тыс. га и поддержание в работоспособном состоянии мелиоративных систем на площади 184 тыс. га, объемы которых в Полесье ежегодно возрастали на 15–20 тыс. га. Дальнейшее увеличение мелиорированных площадей не предусматривалось [19]. До сих пор в реконструкции нуждаются физически изношенные системы, построенные в 50–70-х годах XX века, отработавшие нормативный срок эксплуатации. Продолжается системное строительство инженерных сооружений по защите сельскохозяйственных земель и населенных пунктов от затопления, особенно в бассейне реки Припять, где расположено 342 населенных пункта, и в других наиболее паводковых районах Полесья.

При разработке конструктивных решений и способов реконструкции мелиоративных систем необходимо учитывать возможность

применения в комплексе мероприятий уже испытанные на опытно-производственных системах конструкции, к которым относится осушительно-оросительная система вертикального дренажа [144].

1.6. Условия применения вертикального дренажа на мелиоративных объектах

В определенных гидрогеологических условиях некоторых регионов гумидной зоны, в т. ч. в Полесье, имеются огромные запасы подземных вод. В таких условиях в качестве перспективного способа мелиорации рассматривается вертикальный дренаж как осушительно-оросительная система с использованием подземных вод для обеспечения работы оросительной техники. Осушительно-оросительная система вертикального дренажа представляет собой совокупность гидротехнических сооружений: скважины, ограждающие и водоотводящие каналы, подземные или поверхностные напорные трубопроводы, бассейны-накопители откачиваемых подземных вод, трубы-регуляторы, насосные станции и пункты управления скважинами, оросительная техника и другие элементы. Водозаборные скважины с погружными насосами, водоотводящие каналы – первичные звенья вертикального дренажа. Дождевальные установки с трубопроводами обеспечивают орошение сельхозугодий в засушливые периоды. Принцип действия системы заключается в откачке скважинами подземных вод для понижения их уровня при осушении территории. В режиме орошения скважина подает воду либо непосредственно к оросительной установке, либо через накопительный бассейн, из которого вода к оросительной технике подается центробежными насосами. Применение этого способа позволяет наиболее экономично расходовать водные ресурсы, поскольку исключаются непроизводительные сбросы воды.

На орошение используются имеющиеся на данной площади выполнимые запасы подземных вод. При использовании скважин вертикального дренажа на орошение не требуется накапливать воду в водоемах и транспортировать ее на значительные расстояния с неизбежными потерями на испарение и фильтрацию воды из каналов, расположенных непосредственно в грунте. Для применения этого способа требуются определенные гидрогеологические, геоморфологические и природные условия. Необходимо, чтобы поч-

венный профиль был представлен достаточно водопроницаемыми грунтами, а ниже залежали мощные водоносные песчаные отложения. Такие условия имеются на обширных площадях Припятского Полесья как в белорусской, так и в украинской частях, где вертикальный дренаж может применяться на площадях, превышающих миллион гектаров [119].

Анализ гидрографа мелиоративной системы на объекте «Верховье реки Ясельды» показал, что в многолетнем разрезе система отводит с болотного массива в 1,5–2,5 раза больше грунтовых и межпластовых напорных вод, чем было предусмотрено проектом [88].

Увлажнение зарегулированными водами осушаемых земель составляет не более 15–20 % всех сельхозугодий, требующих увлажнения. Для увлажнения остальной площади требуются дополнительные источники воды. Мелиоративными системами, которые могли бы наиболее полно соответствовать требованиям оптимального регулирования водного режима почв, являются системы вертикального дренажа, применение которых ограничивается определенными гидрогеологическими условиями. Апробирование такой системы осуществлено на Полесской опытно-мелиоративной станции. Принцип действия этой системы заключается в регулировании уровня грунтовых вод путем изменения режима откачек из скважин.

В засушливые периоды влажность корнеобитаемого слоя регулируется орошением подземными водами из скважин. Вертикальный дренаж также может обеспечивать высокую интенсивность осушения (8–40 см в сутки в зависимости от удаленности от скважины). Площадь осушения одной скважиной может достигать 70 га.

Работа системы вертикального дренажа не приводит к истощению водных ресурсов, т. к. происходит ежегодное восстановление УГВ. Система способна перераспределять водные ресурсы в пределах мелиоративного объекта.

Вертикальный дренаж – система multifunctional, она может выполнять осушение, орошение, водоснабжение пастбищ, обеспечивать противопожарные мероприятия, используя подземные воды для тушения торфяников, поэтому при проведении реконструкции мелиоративных систем вертикальный дренаж следует рассматривать как один из способов комплексного использования водных ресурсов в зоне Полесья. Фрагмент строительства вертикального дренажа приведен на рис. 1.11, 1.12.



Рис. 1.11. Установка фильтра дренажной скважины на ПОМС

В мелиоративном фонде Припятского Полесья наибольшее распространение получили мелкозалежные торфяники, развитые на мощной толще разнородных песков, которые в пойме реки Припять и ее притоков, а также в пределах надпойменных террас достигают 40–60 м и более. Глинистые прослойки имеют локальный характер, встречаются также прослойки крупнозернистого песка с коэффициентом фильтрации 40–60 м/сут. В среднем водопроницаемость песков колеблется от 2–5 до 10–16 м/сут. Водопроницаемость пласта можно определить как:

$$T = k \cdot m, \quad (1.1)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/сут;
 m – мощность пласта, м.



Рис. 1.12. Митрахович А. И.
осуществляет контроль за устройством дренажной скважины

Безнапорные грунтовые воды первого от поверхности водоносного горизонта имеют гидравлическую связь с напорными водами второго и третьего от поверхности водоносных горизонтов за счет «окон» в водоупорных пластах, т. е. из-за непостоянной толщины водоупорных слоев, местами истончающихся до потери сплошности. Исходя из вышеизложенного, можно рекомендовать в перспек-

тиве применение осушительно-оросительных систем вертикального дренажа в данном регионе.

Разработчиком теоретических и практических основ проектирования, расчетов и строительства пластмассового горизонтального и вертикального дренажа является А. И. Мурашко. Он руководил разработкой новых конструкций дренажных труб и защитных фильтров, организацией их производства, теоретически обосновал и внедрил в Белорусском Полесье автоматизированные осушительно-оросительные системы на базе вертикального дренажа с использованием на орошение подземных вод, каптируемых из скважин. Применение этого способа позволяет наиболее экономно расходовать водные ресурсы.

Геоморфологические особенности Полесья определяют закономерности изменения глубины залегания УГВ от 3–5 м в центральном районе до 5–10 м в южном. Безнапорные грунтовые воды первого от поверхности горизонта тесно связаны с водами ближайшего напорного горизонта. Длительные наблюдения от 8 до 24 лет и более [40, 135] показали, что колебания УГВ в разных районах и геоморфологических элементах близки между собой, синхронны с колебанием уровней рек и повторяют ход изменения климатических факторов – атмосферных осадков, температуры воздуха, поверхностного стока за счет подпитки от восходящих напорных вод. В большинстве зон Полесья питание и расходование грунтовых вод балансируется в 2–3-летнем цикле.

Для предотвращения возможного изменения баланса подземных вод на территориях, прилегающих к осушаемым массивам, необходимо строго регулировать сброс дренажных вод, осуществлять их аккумуляцию с использованием на орошение.

Естественные ресурсы подземных вод – это суммарная величина питания (восполнения) подземных вод в природных условиях за счет атмосферных осадков, фильтрации из водоемов и водотоков, перетекания из выше и ниже расположенных горизонтов. Они отражают особенность подземных вод как возобновляемого полезного ископаемого [40].

Количество естественных ресурсов подземных вод характеризуется модулем подземного стока, представляющего собой усредненный по речному бассейну (или по его части) расход потока подземных вод заданной обеспеченности с единицы площади расположе-

ния водоносного горизонта (комплекса) или бассейна подземных вод (ограниченного водоносного пласта), в пределах которого этот расход формируется.

На территории Белорусского Полесья, занимающего северную половину Припятского Полесья, естественные ресурсы пресных подземных вод составляли в 80-х годах 83,3–92,5 м³/с. В четвертичных отложениях заключено около 50 % естественных ресурсов территории. Средний модуль подземного стока – 1,3–1,5 л/(с·км²). По данным Н.И. Плужникова [31, 41], естественные ресурсы подземных вод по Беларуси в целом оцениваются в 420 м³/с, прогнозные составляют 512 м³/с. В 1980 году всеми отраслями народного хозяйства использовалось 16 м³/с или 3,8 % естественных запасов подземных вод. Естественные ресурсы подземных всех вод Полесской низменности примерно в 20 раз превышают их потребление в народном хозяйстве в 20-е годы XXI века. В сельскохозяйственном производстве на орошение подземные воды практически не использовались [16, 166].

По определению А. А. Волчека [41], модуль подземного стока относится ко всей зоне активного водообмена и характеризует суммарный подземный сток пресных вод. Для Брестской области он изменяется от 0,9 до 2,0 л/(с·км²) и в среднем равен 1,52 л/(с·км²). Среднеголетняя величина естественных ресурсов подземных вод на территории Брестской области на площади 32,3 тыс. км² оценивается в 4 242,0 тыс. м³/сут или 1 548,33 млн м³/год.

Эксплуатационные запасы подземных вод – это количество воды, которое может быть получено водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации. Они обычно не превышают естественные. Для их оценки используется модуль M_z , представляющий потенциальный расход подземных вод зоны активного водообмена, который можно получить с единицы площади их распространения. Среднеголетние значения M_z по материалам Института геохимии и геофизики НАН Беларуси оцениваются в 2,0 л/(с·км²) [93]. Расчетные эксплуатационные ресурсы подземных вод Брестской области составляют 4 503,4 тыс. м³/сут (2045,2 млн м³/год).

Водные ресурсы включают ресурсы продуктивной влаги в метровом слое почвы, которые изменяются по областям от 1 595 м³/га в Брестской до 2 340 м³/га в Витебской. Почвенные запасы

в Брестской области после снеготаяния весной содержат $5,15 \text{ км}^3$ воды, что на $0,2 \text{ км}^3$ превышает годовой объем местного стока в сравнении с Беларусью в целом [31].

Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур в средний по водности и в засушливые годы значительно превышает количество осадков. Дефицит влаги составляет 80–150 мм. Все это указывает на то, что мелиорация земель в этом регионе должна осуществляться на основе осушительно-увлажнительных и осушительно-оросительных систем, в том числе и вертикального дренажа с учетом орошения за счет использования подземных вод. По результатам проведенных натурных исследований на опытно-производственных участках вертикального дренажа в регионе Полесья определены условия его применения.

Районирование территории Белорусского Полесья по условиям применения вертикального дренажа. Вертикальный дренаж может применяться в определенных гидрогеологических условиях. Основные факторы, обеспечивающие возможность применения вертикального дренажа в гумидной зоне:

- геоморфологическое положение и рельеф поверхности;
- геологический разрез и однородность его строения (литологический состав);
- фильтрационные свойства водовмещающих пород до водоупора;
- гидравлическая связь грунтовых вод с нижележащими водоносными горизонтами;
- тип водного питания и химический состав воды.

Вертикальный дренаж предпочтительно проектировать в поймах рек и надпойменных террас с микропонижениями не более 1,5 м.

Для вертикального дренажа наиболее подходящими по литологическому составу являются торфяники, заторфованные пески и легкие супеси, подстилаемые довольно мощной толщей песчаных отложений (не менее 15 м), в геологическом разрезе которых отсутствуют глинистые прослойки (линзы) или мощность их незначительна и они занимают площадь не более 10 % от общей площади разреза. Водопроницаемость песчаного горизонта должна быть высокой, больше 8–10 м/сут, а коэффициент водопроницаемости водоносного горизонта не менее $200 \text{ м}^2/\text{сут}$. Подземные воды на боль-

шей части Припятского Полесья имеют минерализацию менее 1 г/л (пресные) и пригодны для орошения.

На основании анализа гидрогеологических, геоморфологических и литологических условий Припятского Полесья, а также теоретических расчетов и опыта эксплуатации систем вертикального дренажа составлена карта районирования по условиям применения вертикального дренажа по М. Ф. Козлову [84] и разработана классификация условий применения осушительно-оросительных систем вертикального дренажа в Припятском Полесье.

По геологическим и гидрогеологическим условиям выделяют четыре характерных района возможного применения вертикального дренажа.

Весьма благоприятные – пойма реки Припять и наиболее крупные ее притоки, а также плоская низменная равнина в пределах первой надпойменной террасы с преобладанием песчаных пород, общая мощность которых изменяется от 20–40 м на западе Припятского Полесья до 60–100 м в восточных районах. В геологическом разрезе от поверхности залегают торф и заторфованные пески мощностью до 3,0 м, ниже – пески средние и крупнозернистые мощностью от 40 до 100 м и пески разнородные – от 20 до 100 м. Глубина залегания водоупора – более 100 м. Существует гидравлическая связь между безнапорными и напорными подземными водами. Средний коэффициент фильтрации водоносной толщи составляет 8–12 м/сут, водопроницаемость – более 600 м²/сут, дебит скважины – в пределах 200–300 м³/ч и более.

Благоприятные районы – площади в пределах второй и третьей надпойменных террас. Геологические разрезы представлены торфами, заторфованными супесями и песками мощностью 0,5–2,0 м, которые подстилаются песками разнородными и крупнозернистыми мощностью от 25–35 до 70–100 м. Глубина залегания водоупора 30–90 м. Коэффициент фильтрации водовмещающих пород изменяется от 6–8 до 12–15 м/сут и более. Средний коэффициент водопроницаемости составляет около 500 м²/сут. Питание болотного массива происходит преимущественно атмосферными и грунтово-напорными водами.

Удовлетворительные районы – моренно-зандровые и зандровые равнины. В геологическом строении участвуют слабо- или водонепроницаемые прослойки суглинков и глин (до 40 %), от поверхности залегают торф и легкие минеральные грунты мощностью до 2 м, подстила-

емые песками разномерными. Мощность песчаных отложений достигает 20–30 м, средний коэффициент фильтрации не превышает 10 м/сут, водопроницаемость – свыше 150 м²/сут. Глубина залегания водоупора – 25–30 м. Существует гидравлическая связь между безнапорными и напорными подземными водами. Основными источниками водного питания мелиоративных объектов данных районов являются атмосферные осадки и подземные воды. Последние составляют около 25 % приходной части водного баланса [147].

Допустимые районы – краевые образования московского и днепровского оледенений, сложены пылеватými супесями и легкими суглинками до 1,5 м, подстилаются водоносными песками разномерными мощностью 15–30 м со средним коэффициентом фильтрации 5–8 м/сут, чередующимися с прослоями суглинков и глин. Водопроницаемость песков более 50 м²/сут, глубина залегания водоупора – 15–30 м.

Приведенные условия применения вертикального дренажа относятся не только к региону Полесья, но также могут использоваться в других областях гумидной зоны с аналогичными гидрогеологическими условиями.

Показателями целесообразности применения вертикального дренажа также являются его быстродействие, интенсивность осушения, стоимость и эксплуатационные затраты. При реконструкции мелиоративных систем необходимо дифференцированно подходить к выбору конструкции систем с учетом экономической целесообразности и экологического обоснования намечаемых мероприятий.

При любом проектировании необходимо прорабатывать различные варианты систем, принимая во внимание не только затраты на строительство и эксплуатацию, но и функциональные возможности систем. Для установления соотношения стоимости различных конструкций систем в различные по водности годы БелНИИ Мелиорации и луговодства совместно со специалистами РУП «БЕЛГИПРОВОДХОЗ» в 1997 году был произведен расчет стоимости реконструкции по трем вариантам:

- открытая сеть с расстоянием между каналами 200 м;
- горизонтальный дренаж с расстоянием между дренами 50 м;
- вертикальный дренаж, включающий 5 скважин с погружными насосами и 14 сифонных скважин.

За объект-аналог принят участок вертикального дренажа площадью 672 га на Полесской опытно-мелиоративной станции Лунинецкого района Брестской области. Расчеты выполнены в ценах 1991 года (1 USD = 1,7982 бел. руб. на 01.07.1991 г.).

Результаты расчета свидетельствуют о том, что в 1991 году стоимость строительства 1 га горизонтального и вертикального дренажа составляла 3575 и 3415 тыс. руб. соответственно, открытой сети – 3104, приведенные затраты составляли соответственно 0,61, 0,61 и 0,56 тыс. руб., т. е. затраты на горизонтальный и вертикальный дренажи практически одинаковы.

Эксплуатационные затраты на 1 га в 1991 г. составили, тыс. руб.:

- на вертикальный дренаж – 0,209;
- на горизонтальный – 0,176;
- на открытую сеть – 0,183.

Эксплуатационные затраты на вертикальном дренаже в 1991 году были на 19 % выше, чем на горизонтальном, что обусловлено нарушением паритета цен на материалы, оборудование и электроэнергию. Стоимость электроэнергии составляла около 7 % всех эксплуатационных затрат.

По многолетним данным фактический расход электроэнергии на системе вертикального дренажа ПОМС составил 45–50 кВт·ч на 1 га с учетом опытных работ, что практически равнялось рекорду полдерной насосной станции. Следует отметить, что в зависимости от места расположения мелиоративного объекта и наличия линий электропередач стоимость эксплуатации системы вертикального дренажа может быть значительно ниже. Если дренажные скважины планируется использовать для водообеспечения оросительной техники, забор воды может осуществляться центробежными насосами от трактора или бензиновым двигателем без электроснабжения.

Преимущество вертикального дренажа состоит в возможности осуществления осушения, орошения, водоснабжения пастбищ и обеспечения противопожарных мероприятий на торфяниках за счет восполняемого водоисточника (подземные воды), что отвечает требованиям рационального использования водных ресурсов, предотвращает излишний сброс воды.

2. КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

2.1. Осушительно-оросительные системы вертикального дренажа в гумидной зоне

В определенных гидрогеологических условиях одним из перспективных способов мелиорации земель в гумидной зоне рассматривается вертикальный дренаж. В 1971–1989 гг. на землях Полесской опытно-мелиоративной станции (ПОМС) под руководством академика ВАСХНИЛ А. И. Мурашко была построена первая в СССР осушительно-оросительная система вертикального дренажа. Его эффективность и работоспособность апробировались на опытно-производственных участках общей площадью 1 070 га.

Системы вертикального дренажа можно применять для осушения песчаных грунтов, торфяников с прослоями суглинков. Основными требованиями к системам вертикального дренажа являются надежность в работе, простота в эксплуатации, рациональное расходование водных ресурсов и минимальное влияние на экологию природно-территориального комплекса.

Вертикальный дренаж подразделяют на:

- осушительный, обеспечивающий сброс воды с мелиорируемой территории до требуемой нормы осушения;
- осушительно-оросительный, обеспечивающий сброс воды во влажные периоды и увлажнение путем орошения в засушливые периоды.

Вертикальный дренаж может быть систематическим и выборочным в зависимости от расположения скважин по площади:

- систематический – скважины размещают относительно равномерно по всей мелиорируемой площади;
- выборочный – скважины размещают на локальных переувлажненных участках.

Плановое расположение скважин принимают в увязке с гидрогеологическими и топографическими условиями. Наиболее рациональным является их размещение по квадратной и треугольной сетке.

Регулирование водного режима почвы в осушительных системах рекомендуется осуществлять путем периодической откачки воды из скважин и понижения уровня грунтовых вод до требуемой нормы осушения.

Увеличение осушительного действия вертикального дренажа, работающего в сложных природных условиях, достигается:

- организацией поверхностного стока;
- выравниванием и планировкой поверхности почвы.

Площади под вертикальный дренаж проектируют на основании имеющихся гидрогеологических карт района, данными по дебиту ближайших водозаборных скважин и других материалов инженерно-геологических изысканий.

При проектировании систем вертикального дренажа нужно предусматривать выполнение ими комплекса функций – осушение, орошение, водоснабжение, противопожарные мероприятия, при этом необходимо выполнять следующие требования:

- плановое расположение скважин следует принимать с учетом минимальной протяженности напорных трубопроводов, линий электропередачи, оптимального типа дождевальной техники;
- применять конструкции высокодебитных скважин с низконапорными насосами, использовать пластмассовые трубы;
- выбирать режимы работы скважин, позволяющие отводить только избыточные поверхностные и грунтовые воды.

Насосные станции на скважинах вертикального дренажа могут быть наземными, подземными и полуподземными. Конструкции станций выбирают по типовым проектам, которые предназначены для применения в системах хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения с забором подземных вод из скважин.

Технология строительства скважин вертикального дренажа.

При проходке скважин вертикального дренажа диаметр бурения должен быть не менее 600 мм. Глубина скважины, определяемая глубиной залегания и мощностью водосодержащих грунтов, не должна превышать 100 м. Длину отстойника следует принимать не более 1 м.

Длину фильтра необходимо принимать с учетом мощности водоносного пласта. Если мощность водоносного пласта меньше 10 м, то длину фильтра принимают равной его мощности. При мощности водоносного пласта более 10 м длину фильтра следует принимать 0,7–0,8 от мощности пласта, но не более 25 м. Сквозность фильтра должна составлять 25–30 %.

Диаметр фильтрового каркаса подбирают из условия пропуска максимального расхода и обеспечения свободного монтажа и де-

монтажа насосно-силового оборудования, размещения средств автоматики и телемеханики.

В прифилтровой зоне скважин необходимо предусматривать однослойную фильтровую обсыпку. В качестве обсыпки следует применять отсортированные гравийные смеси. Толщина обсыпки должна быть не менее 15 см.

При разработке проектной документации на устройство системы вертикального дренажа необходимо предусматривать, чтобы строительство линий электропередачи производилось одновременно или опережало устройство скважин.

Проектный режим работы системы вертикального дренажа следует разрабатывать на основании данных мелиоративного состояния осушаемых земель.

Работа насосных агрегатов на скважинах вертикального дренажа должна быть автоматизирована по уровню воды в скважинах.

Приведенные данные по вертикальному дренажу с дополнительными элементами позволяют констатировать, что вертикальный дренаж в гумидной зоне обладает рядом весьма существенных преимуществ по сравнению с другими способами мелиорации. Он позволяет оперативно регулировать водный режим мелиорируемых почв и в сочетании с использованием подземных вод на орошение практически дает возможность обеспечивать требуемую влажность корнеобитаемого слоя в любых погодных условиях. Интенсивность осушения его может достигать 10–15 см/сут, что намного выше, чем у горизонтального дренажа. Посредством работы отдельных скважин вертикальный дренаж может дискретно поддерживать оптимальный водный режим на конкретных участках, более экономно и рационально использовать водные ресурсы.

К недостаткам осушительно-оросительных систем вертикального дренажа относятся ограниченность его применения необходимыми гидрогеологическими условиями: мощность водоносного пласта должна быть не менее 15–20 м и водопроницаемость первого от поверхности водоносного горизонта не менее 150–200 м²/сут, а также необходимость устройства подземных трубопроводов, линий электропередач, применения насосов и затрат электроэнергии.

Следует отметить, что вертикальный дренаж в сочетании с использованием подземных вод на орошение – это наиболее прогрессивный способ, и он должен получить широкое распростране-

ние, особенно учитывая все прогрессирующие экстремальные погодные явления, особенно в Полесье.

Опытно-производственные системы вертикального дренажа.

В благоприятных природных условиях осушительно-оросительные системы на базе вертикального дренажа при соответствующих режимах эксплуатации надежно обеспечивают требуемый водный режим для основных сельскохозяйственных культур, о чем свидетельствует более чем двадцатилетний опыт эксплуатации такой системы на ПОМС в период с 1974 по 1996 год. [147, 148].

Система строилась в две очереди. На первой очереди строительства в 1971–1975 гг. возведена осушительно-оросительная система вертикального дренажа на площади 400 га (рис. 2.1). Она состояла из четырех основных дренажных (водозаборных) скважин, расположенных по углам квадрата с расстоянием 1 км. В центре участка была предусмотрена резервная скважина. В исследовательских целях построены четыре скважины по углам квадрата со стороной 500 м. Глубина скважин 32–40 м, диаметр 300–350 мм. Характеристики скважин приведены в табл. 2.1.

Скважины оборудованы погружными насосами ЭЦВ 16-120-60 и ЭЦВ 12-255-30. Дебит скважин – 170–250 м³/ч. Подвод электроэнергии осуществлялся по подземным кабелям от центральной трансформаторной подстанции мощностью 400 кВт, расположенной в центре участка.

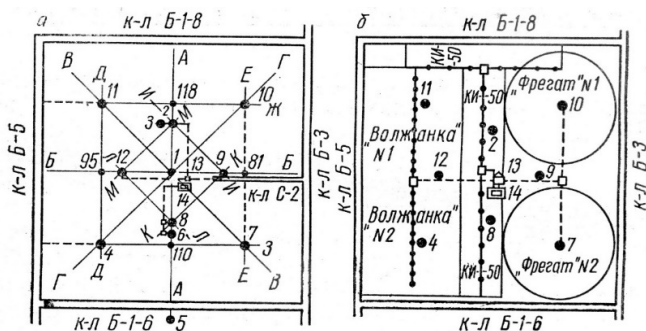


Рис. 2.1. Опытно-производственный участок вертикального дренажа на ПОМС: а – схема осушения; б – схема орошения; 1–12 – дренажные скважины; 13 – насосная станция; 14 – бассейн суточного регулирования; А-А – М-М – створы наблюдательных скважин; 81, 95, 110 и 118 – наблюдательные скважины

Таблица 2.1

Характеристики скважин вертикального дренажа на Полесской
опытно-мелиоративной станции (ПОМС, 1-ая очередь)

Номер скважины	Удельный дебит, м ³ /ч	Глубина скважин, м	Суммарная длина фильтра, м	Диаметр фильтра, мм	Тип фильтра и его длина (в скобках), м
1	18,3	47	31,7	300	П(21,5)+Щ(10,2)
2	14,3	30	21,2	350	П(12,2)+Щ(9,0)
3	9,5	36	27,5	300	П
4	15,0	32	21,8	350	П(11,2)+Щ(10,6)
5	13,8	30,5	21,8	300	Щ
6	24,5	25	15,7	350	П(9,7)+Щ(6,0)
7	20,6	30	24,4	350	Щ
8	8,0	30	20,8	350	П(15,0)+Щ(5,8)
9	5,4	27	15,5	350	П(14,0)+Щ(1,5)
10	7,8	44	24,5	300	П(17,4)+Щ(7,1)
11	19,1	37	27,8	300	П(20,8)+Щ(7,0)
12	11,8	30	18,0	350	П(12,0)+Щ(6,0)

Примечание: П – проволочный; Щ – щелевой.

Сброс воды из скважин в открытые каналы производился по подземным чугунным трубопроводам диаметром 200 мм. Устья дренажных скважин размещены в подземных колодцах. Распределительная арматура и измерительные приборы также расположены в подземных железобетонных колодцах.

Станции управления насосами располагались в павильонах и полузаглубленных колодцах, чтобы не препятствовать движению дождевальных машин. В центральной части участка находится бассейн суточного регулирования и подогрева воды объемом свыше 6 000 м³, а также стационарная оросительная насосная станция. В здании насосной станции (рис. 2.2) расположены центробежные насосы 6 НДВ, которые забирают воду из бассейна и подают ее к дождевальным агрегатам.

Орошение участка производилось двумя «Волжанками» ДКШ-54 (рис. 2.3), двумя «Фрегатами» ДМ-424-90 (рис. 2.4) и одной дождевальной установкой КИ-50 «Радуга». Вода к ним подавалась оросительной насосной станцией из бассейна по подземным трубопроводам, а также в исследовательских целях непосредственно из скважин.

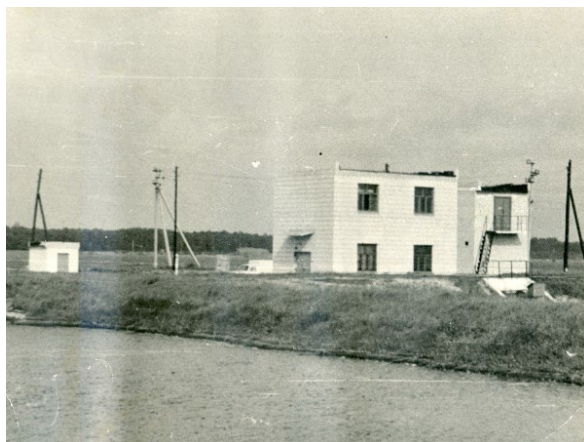


Рис. 2.2. Здание насосной станции

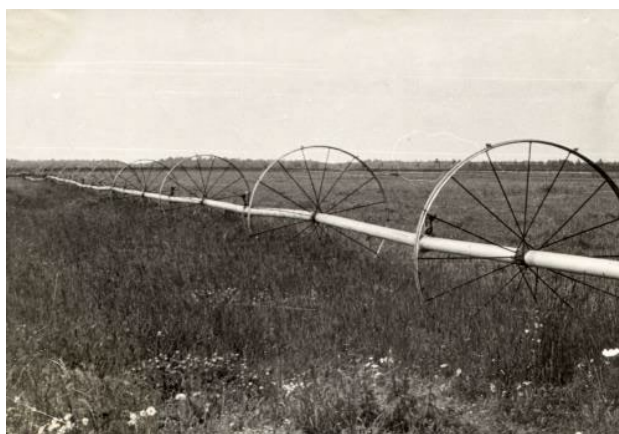


Рис. 2.3. Дождевальная установка ДКШ «Волжанка»

Здание насосной станции совмещено с диспетчерским пультом управления, который частично обеспечивал управление насосами, а также автоматическую работу погружных насосов в режиме осушения по уровню воды в наблюдательных скважинах. Непосредственно с пульта управления можно было производить пуск и остановку погружных и центробежных насосов. Принятое оборудование позволяло также производить и местное управление насосами.



Рис. 2.4. Орошение пастбищ дождевальной установкой «Фрегат», 1979 г.

Вторая очередь вертикального дренажа (рис. 2.5) построена в 1985–1989 гг. на площади 670 га, при этом ряд новых конструктивных решений принят с учетом опыта эксплуатации 1-ой очереди системы [103]. Система включала 19 дренажных скважин, расположенных относительно равномерно по площади. Пять из этих скважин расположены в линию с расстоянием между ними 700 м. Они оборудованы погружными насосами ЭЦВ 12-250-30, и к ним подсоединены остальные скважины с помощью сифонных трубопроводов. Следует отметить, что на этой системе впервые в Советском Союзе применены вакуумные системы такой конструкции. Длина сифонов достигала 1 050 м. Они выполнены из полиэтиленовых труб диаметром 150–200 мм. Зарядка их осуществлялась эжектирующим устройством, что исключало необходимость применения вакуумных насосов [135]. Часть площади участка (320 га) предназначалась для орошения дождевальной машиной «Кубань» (рис. 2.6), которая обеспечивалась водой из скважин, подававших ее в лоток. Для повышения интенсивности осушения понижений с глубоким торфяником в них были заложены локальные системы горизонтального дренажа с отводом воды в сифонные скважины.

Приемные скважины на сифонных водосборах выполнены с различным диаметром эксплуатационной колонны. Верхняя часть длиной до 16 м имеет диаметр 630 мм, в нее опущены нисходящие колонны сифонов, в нижней части расположен фильтр диаметром 430 мм. Фильтр выполнен с продольными отверстиями и проволоочной обмоткой с шагом 3–10 мм, поверх которой укладывалась волокнисто-пористая полиэтиленовая оболочка. Диаметр сифонных скважин 250–300 мм, глубина – 16–18 м. Дебит приемных скважин 350–400 м³/ч. Удельный дебит сифонных скважин 6–10 м³/(ч·м), приемных – 30–40 м³/(ч·м) [112].

Принцип действия этой системы заключался в регулировании уровня грунтовых вод путем изменения режима откачек из скважин и использования подземных вод в требуемый период на орошение.

Работа системы в режиме осушения: в весенний период, а также после затяжных дождей необходимая норма осушения достигалась путем откачки грунтовых вод дренажными скважинами. Откачиваемая вода сбрасывалась в каналы или аккумулировалась в бассейне.

В засушливый период влажность корнеобитаемого слоя почвы регулировалась орошением подземными водами. Вода подавалась к дождевальным установкам из бассейна или непосредственно из скважин погружными насосами. Дождевальная машина «Кубань» забирала воду из лотка [119]. Были проведены специальные исследования по установлению эффективности орошения луговых трав на мелкозалежных торфяниках низкотемпературной (8,0–8,5 °С) подземной водой при подаче ее в дождевальные машины (установки) через аккумулирующий бассейн и непосредственно из скважин.

По химическому составу вода из скважин является гидрокарбонатно-натриевой с общим количеством растворенных солей около 0,5 г/л, без агрессивных кислот. Эта вода пригодна для орошения сельскохозяйственных культур без ограничений.

Дождевание осуществлялось установкой КИ-50 «Радуга». Поливы проводились исходя из условий поддержания влажности почвы в оптимальных пределах, от 70 % наименьшей влагоемкости (НВ) до НВ. Норма полива обычно составляла 400–450 м³/га, а в неустойчивую погоду после стравливания снижалась до 200–250 м³/га.

При заборе воды из аккумулирующего бассейна температура ее на выходе из сопла дождевального аппарата «Роса-3» составляла 15–23 °С, а при заборе непосредственно из скважины – 8–10 °С.

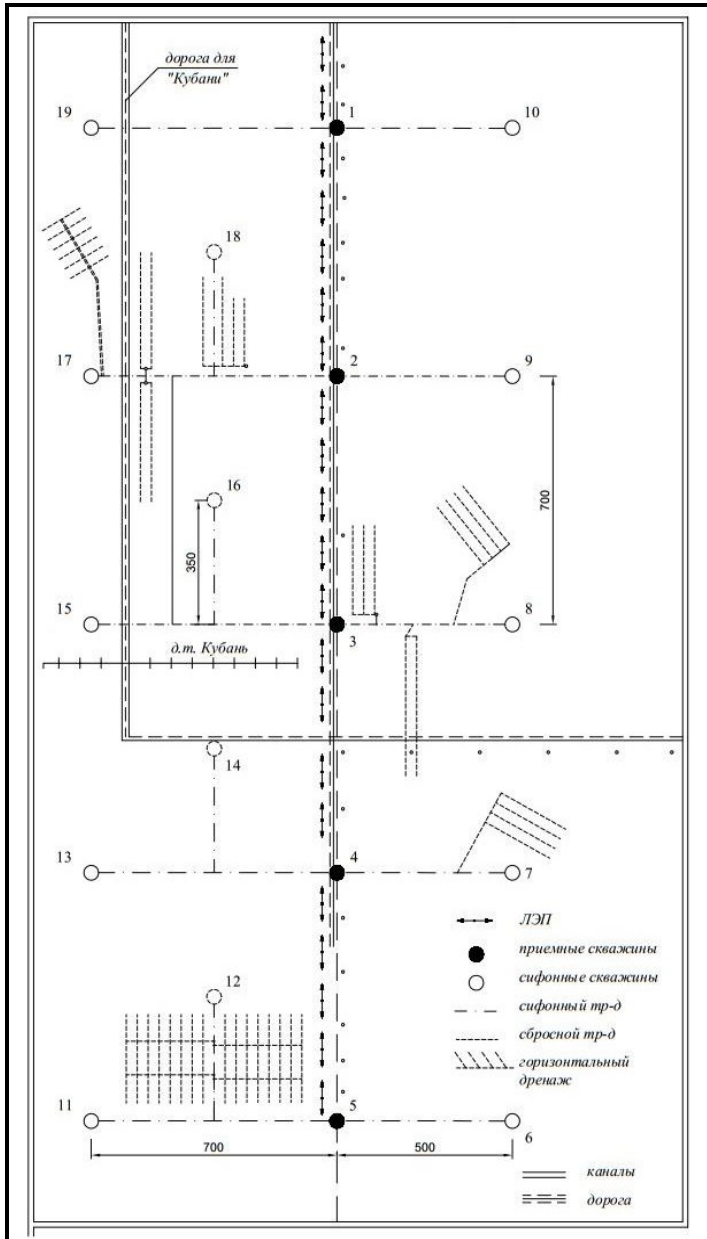


Рис. 2.5. Схема системы вертикального дренажа ПОМС (2-я очередь)



Рис. 2.6. Дождевальная установка «Кубань»

Наблюдения показали, что если температура воздуха ниже, чем температура воды на выходе из сопла дождевального аппарата, то капли воды в процессе дождевания охлаждаются; когда же температура воздуха выше, чем воды на выходе из сопла, то падающие капли нагреваются. В дневное время температура дождевальной воды, падающей на растения, составляет 14–22 °С при заборе ее из бассейна и 12–16 °С – при заборе из скважин, ночью соответственно – 9–16 и 5–11 °С. Максимальное повышение температуры капель во время их полета в воздухе (полив из скважины днем) составило 8 °С, а понижение (полив ночью из бассейна) – 8,6 °С.

Непосредственно после поливов водой из бассейна наблюдалось увеличение температуры пахотного слоя на 0,5–2,5 °С, а при поливе из скважины – снижение на 0,5–3,5 °С в сравнении с неорошаемым вариантом. Через 1–3 суток температура почвы по всем вариантам полива выравнивалась. В среднем за летний период она была примерно одинаковой.

Поливы холодной водой не сказались отрицательно на продуктивности пастбища. Дождевание подогретой подземной водой из аккумулирующего бассейна и холодной водой непосредственно из скважин обеспечивало практически одинаковую прибавку урожая: 25,2–27,8 ц сухой массы бобово-злаковой травосмеси и 19,2–20,5 ц злаковой культуры с гектара.

Данные исследований доказывают возможность орошения многолетних трав подземной водой путем подачи ее из скважин непосредственно к дождевальным установкам и машинам. Целесообразность устройства бассейна должна устанавливаться исходя из условий рационального использования дебита скважин и насосного оборудования системы [5].

Дебит скважин на Полесье часто достигает 50–80 л/с. Две такие скважины (а иногда даже одна) при соответствующем их насосно-силовом оборудовании могут обеспечить нормальную работу дождевальной машины «Фрегат» или «Волжанка» без аккумулирующего бассейна и насосной станции второго подъема при нем. Кроме того, при подаче воды в дождевальные системы непосредственно из скважинных насосов облегчаются условия автоматизации полива, снижается или же отпадает потребность в магистральных трубопроводах, уменьшаются затраты электроэнергии.

Результаты более чем 20-летних исследований на данной системе и опыта ее эксплуатации позволили сделать ряд выводов об эффективности и работоспособности вертикального дренажа.

Вертикальный дренаж может обеспечивать высокую интенсивность осушения. В первые трое суток работы скважин скорость понижения УГВ составляет 8–40 см в сутки в зависимости от дебита скважин и расстояния между ними. Например, при откачке из одиночной скважины с дебитом 150 м³/ч понижение УГВ на расстоянии 500 м от скважины составило за сутки 12 см, а на расстоянии 200 м – 40 см. В период откачек понижение УГВ до 3–5 м наблюдается в радиусе 5–10 м от скважины. В зависимости от интенсивности и длительности откачек влияние одиночной скважины может распространяться в радиусе 0,5–1,0 км.

Площадь осушения одной скважиной при откачке из нее работе в течение 4–7 суток составляет 35–45 га и может достигать 75 га. Например, при работе системы из четырех скважин, расположенных по квадрату с расстоянием между скважинами 1 км

с общим дебитом 560 м³/ч, за 5 суток среднее понижение по площади участка составило 45–55 см.

Практика показала, что эксплуатационный режим определяется конкретно складывающейся мелиоративной обстановкой и назначается по одному из следующих вариантов:

а) осушение всеми скважинами системы одновременно при необходимости значительного понижения уровня грунтовых вод по всей площади;

б) осушение локальных наиболее переувлажненных участков отдельными скважинами.

Максимальная продолжительность работы скважин в режиме осушения составляла 25 суток, а в среднем не превышала 12 суток. Объем сброшенной воды колебался от 54 до 450 тыс. м³ или от 0,05 до 0,5 л/с с гектара. В засушливый период система работала в режиме орошения, скважины при этом каптировали значительный объем воды. Так, в 1979 г. на орошение было подано 273, в 1984 г. – 125, в 1987 г. – 132 тыс. м³ воды.

Часть оросительной техники («Фрегат»; «Волжанка») снабжалась водой непосредственно из скважин. В скважине, которая обеспечивала работу «Волжанки», был установлен насос ЭЦВ-12-210-55, а на «Фрегате» работал насос ЭЦВ-12-16-65. На протяжении 1980–1982 гг. эти дождевальные машины работали стабильно. В общей сложности за 1981 год скважина с «Фрегатом» отработала на орошение 366 часов. Полив производился в одну смену, при этом поливная норма поддерживалась около 300 м³/га.

За период с 25 мая по 26 августа «Фрегат» сделал пять полных оборотов. Скважина с «Волжанкой» отработала на орошение 112 ч. Второй «Фрегат», работавший на воде из бассейна, отработал в том сезоне 102 часа.

Всего в 1984 году скважины работали в режиме орошения 695 ч, подав на полив около 120 тыс. м³ воды. Было установлено, что периодическая работа скважин на орошение незначительно сказывается на понижении УГВ в радиусе ее действия. Наблюдения показали, что сработка уровня грунтовых вод за один полив не превышает 10–15 см в радиусе 100–150 м от скважины и через 1–2 суток происходит почти полное его восстановление. Работа дождевальных машин непосредственно от скважин значительно уменьшала расход электроэнергии. Так, на один полив «Фрегатом» из скважины из-

расходовано 3 600 кВт·ч электроэнергии, а на полив «Фрегатом» от стационарной оросительной насосной станции с учетом подачи воды из скважин в бассейн – 9 800 кВт·ч. За оросительный период (5 поливов) экономия электроэнергии при работе одного «Фрегата» непосредственно из скважины минуя накопительный бассейн составила свыше 30 тыс. кВт·ч.

Работа системы вертикального дренажа весной не приводит к истощению водных ресурсов мелиорируемой территории. На данной площади ежегодно происходит восстановление уровней грунтовых вод.

Сравнивая осушительные действия вертикального дренажа с другими конструкциями – открытая сеть, горизонтальный дренаж, – можно отметить, что по режиму формирования УГВ и его величине, вертикальный дренаж практически аналогичен горизонтальному дренажу с расстоянием между дренами 50 м.

Система оказалась эффективной при организации противопожарных мероприятий и тушении пожаров на торфяниках, так как обладает гарантированным источником подземных вод, что подтверждено при ликвидации пожара на торфяниках ПОМС [83].

Одной из важных функций вертикального дренажа может быть предупреждение возгорания торфяников в засушливые периоды (в связи с дефицитом воды на этих территориях) и борьба с пожарами. В период пожаров отсутствует вода в мелиоративных каналах, а часто и в реках-водоприемниках. Значительное количество противопожарных водоемов в этот период также не функционируют. Площадь осушения торфяников с гарантированным источником увлажнения незначительна. Например, в Белорусском Полесье из 526,8 тыс. га осушенных площадей только 130 тыс. га – с двухсторонним регулированием. Пожары возникают как на осушенных, так и неосушенных торфяниках. Вместе с тем в регионах Полесья с основной массой торфяников имеются огромные запасы подземных вод на глубине 3–5 м, которые могут использоваться в противопожарных целях.

В БелНИИМиВХ имеется опыт использования подземных вод из скважин вертикального дренажа при тушении пожара на торфяниках объекта ПОСМЗиЛ Лунинецкого района. Когда возник пожар на осушенном торфянике, воды в осушительной сети не было. Для локализации пожара и его тушения пять скважин вертикального

дренажа в течение 11 суток подавали воду, общий объем которой составлял 200 тыс. м³, в канал, транспортирующий ее к месту пожара [83]. Из вышеизложенного следует, что в целях обеспечения противопожарных мероприятий целесообразно строить резервные высокодебитные скважины глубиной до 40 м, которые в обычных условиях могут использоваться для орошения или пастбищного водоснабжения. Стоимость электроэнергии для работы скважин не превышала 5–8 % от всех эксплуатационных затрат.

Оценивая надежность систем вертикального дренажа, можно констатировать, что она зависит в первую очередь от надежной работы скважин. Хорошо зарекомендовали себя скважины с фильтрами, водопримная поверхность которых выполнена их волокнисто-пористых полиэтиленовых оболочек.

Опыт эксплуатации показал значительное преимущество конструкций наземных насосных станций по сравнению со станциями подземного типа, камеры которых весной затапливались водой, что затрудняло их эксплуатацию.

Строить мелиоративные системы вертикального дренажа с использованием подземных вод на орошение можно только в определенных гидрогеологических и почвенных условиях осушаемых земель. Для вертикального дренажа подходят участки, на которых торфяники, легкие минеральные почвы подстилаются мощной водоносной толщей (не менее 15 м) песчаных отложений с коэффициентом фильтрации более 8 м/сут и водопроницаемостью не менее 100 м²/сут. К таким регионам относятся Припятское Полесье, Деснинское и Окско-Мещерское Полесья, республики Балтии, Западная Сибирь и другие [76, 115].

В современных условиях при проведении реконструкции мелиоративных систем в определенных гидрогеологических условиях вертикальный дренаж целесообразно рассматривать наравне с другими конструкциями. В принципе, при любом проектировании необходимо прорабатывать различные варианты систем, принимая во внимание не только затраты, но и их функциональные возможности.

Расчеты показывают, что по капитальным затратам система вертикального дренажа вполне конкурентоспособна с горизонтальным дренажем. Приведенные затраты на вертикальном дренаже лишь на 15–18 % больше, чем на горизонтальном. Эксплуатационные затра-

ты были почти на 40 % выше. Стоимость электроэнергии составляла около 5–8 % от всех эксплуатационных затрат [112].

Поскольку вертикальный дренаж – система многофункциональная и может выполнять осушение, орошение, водоснабжение пастбищ, обеспечивать противопожарные мероприятия, то в отдельных случаях ей следует отдавать предпочтение перед другими конструкциями.

Приведенные данные по вертикальному дренажу с дополнительными элементами позволяют констатировать, что вертикальный дренаж в гумидной зоне обладает рядом весьма существенных преимуществ по сравнению с другими способами мелиорации. Он позволяет оперативно регулировать водный режим мелиорируемых почв и в сочетании с использованием подземных вод на орошение практически дает возможность обеспечивать требуемую влажность корнеобитаемого слоя в любых погодных условиях. Интенсивность осушения его может достигать 10–15 см/сут, что намного выше, чем у горизонтального дренажа. Посредством работы отдельных скважин вертикальный дренаж может дискретно поддерживать оптимальный водный режим на конкретных участках, более экономно и рационально использовать водные ресурсы.

К недостаткам осушительно-оросительных систем вертикального дренажа относятся ограниченность его применения необходимыми гидрогеологическими условиями: мощность водоносного пласта должна быть не менее 15–20 м и водопроницаемость первого от поверхности водоносного горизонта не менее 150–200 м²/сут, а также необходимость устройства подземных трубопроводов, линий электропередач, применения насосов и затрат электроэнергии.

Следует отметить, что вертикальный дренаж в сочетании с использованием подземных вод на орошение – это наиболее прогрессивный способ, и он должен получить широкое распространение, особенно учитывая все прогрессирующие экстремальные погодные явления, особенно в Полесье.

2.2. Осушительно-оросительные системы вертикального дренажа в сложных гидрогеологических условиях

Эффективность работы систем вертикального дренажа в сложных гидрогеологических условиях гумидной зоны трудно оценить

из-за недостатка такой информации. Имеются данные испытаний опытно-производственной осушительно-оросительной системы дренажа, построенной на участке Осиповского болотного массива Малоритского района Брестской области на площади 320 га.

Участок отличается чрезвычайно сложными геоморфологическими, гидрогеологическими и почвенными условиями. До мелиорации это был заболоченный луг, покрытый кустарником, с сильно изрезанным рельефом и обилием микропонижений и разновеликих впадин глубиной до 1 м с тесной гидравлической связью. Коэффициенты фильтрации водоносной толщи, установленные по данным опытных откачек, были в пределах 20–25 м/сут, а рассчитанные по формуле А. Хазена – 11–14 м/сут.

Исходя из гидрогеологических условий объекта и планируемого использования земель (долголетнее культурное пастбище), мелиоративная сеть на опытно-производственном участке первоначально была запроектирована как осушительно-оросительная с использованием подземных вод из скважин на орошение. Она состояла из девяти дренажных скважин глубиной 27–40 м с диаметром фильтров 273, 325, и 426 мм и открытых ограждающих каналов по периметру участка. Расстояние между скважинами было в пределах 400–600 м, а их дебит составлял 90–200 м³/ч (удельный дебит 14–18 м³/ч). Насосные станции над скважинами были наземного типа.

Орошение участка осуществлялось дождевальными установками «Фрегат» ДМ-45-4, «Фрегат» ДМБУ-463-60, «Волжанка» ДКШ64-800 и аппаратом ДД-30 со стационарной оросительной сетью, при этом во «Фрегаты» вода подавалась непосредственно из скважин, а «Волжанка» работала как непосредственно из скважин, так и из бассейна суточного регулирования воды с помощью передвижной насосной станции СНП 75/100, которая обеспечивала водой и аппарат ДД-30. Аккумулирующий бассейн размером 65 × 65 м был выполнен в полувыемке-полунасыпи. Участок оборудован наблюдательной сетью, состоящей из скважин диаметром 110 мм, железобетонных колодцев диаметром 70 см и кустов пьезометров из трех скважин глубиной 2, 2,5 и 5 м, при этом фильтр глубокого пьезометра был расположен под глинистой прослойкой. Схема опытно-производственного участка приведена на рис. 2.7.

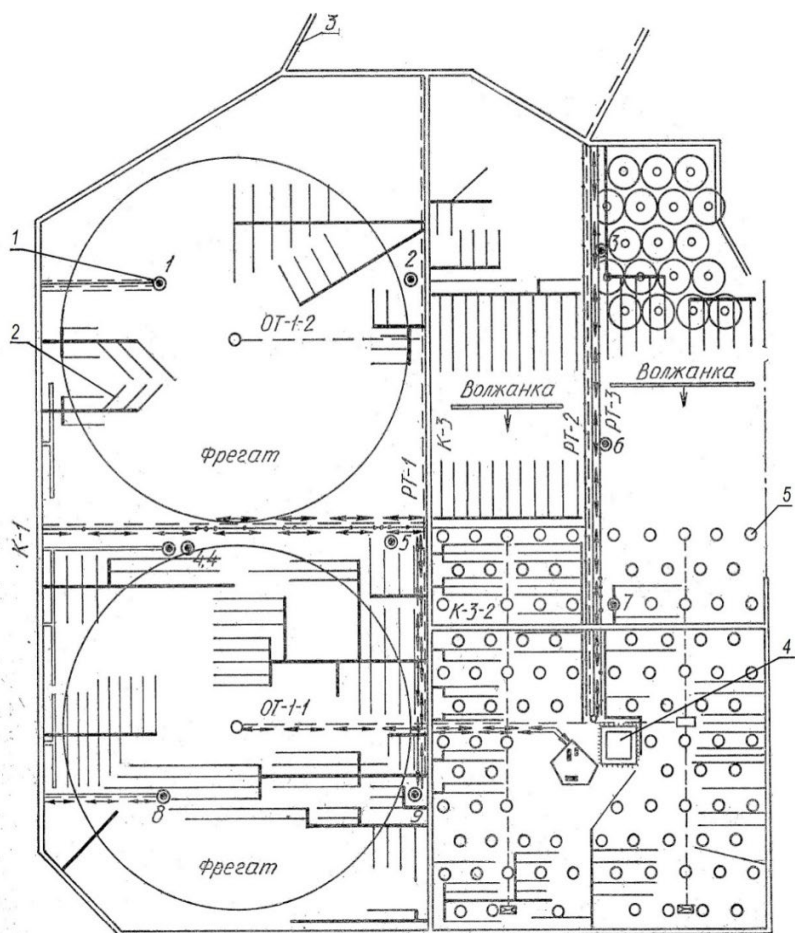


Рис. 2.7. Осушительно-оросительная система вертикального дренажа объекта «Осиповка» Брестской области:

- 1 – дренажная скважина; 2 – дренаж; 3 – открытая сеть;
4 – бассейн; 5 – аппарат ДД-30

Осушительное действие скважин изучалось как в процессе строительства системы в условиях неосушенного и неосвоенного болота, так и после сдачи ее в эксплуатацию. Первые опытные откачки проведены из скважины 5, расположенной в центре участка. Скважина работала в течение трех суток с дебитом около $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ при

начальном положении уровня грунтовых вод на глубине 40–50 см от поверхности. Откачка показала, что ее влияние на УГВ распространяется в радиусе 500 м и более. Однако интенсивность понижения уровня на расстоянии 250 м от скважины составляла всего 3 см/сут. При исследовании осушительного действия скважины 1 после окончания строительства объекта было установлено, что при откачке с дебитом 147 м³/ч за 4 суток УГВ снизился в радиусе 300 м на 40 см, а в радиусе 450 м – всего на 14 см. Возмущение пласта наблюдалось в радиусе более 800 м. Площадь осушения с понижением УГВ по контуру более 30 см составила более 30 га. Серия откачек с дебитами 70, 160 и 205 м³/ч была выполнена из скважины 4, результаты одной из них приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2
Динамика УГВ при откачке из скважины 4 ($Q = 160 \text{ м}^3/\text{ч}$)

Время	Понижение грунтовых вод от статического уровня по пьезометрам, см					
	3(50)	4(237)	2(396)	5(514)	6(600)	10(680)
Нач. УГВ	125	174	140	140	145	139
2 ч	12/151	2/10	–	–	–	–
3 ч	19/169	6/22	3/10	–	0/1	–
5 ч	23/197	14/30	8/15	0/7	0/3	–
23 ч	85/233	30/66	19/24	1/15	5/15	6/6
46 ч	133/252	33/76	26/29	1/24	9/17	7/10
166 ч	145/267	55/100	42/44	10/32	17/27	12/17

Примечания:

1. В скобках – расстояние от пьезометра до дренажной скважины, м.
2. В числителе – понижение по надпластовому пьезометру, в знаменателе – по подпластовому (под глинистой прослойкой).

Динамика УГВ при откачках в данных гидрогеологических условиях характеризуется большим различием в интенсивности понижения в надпластовых и подпластовых пьезометрах. Скорость снижения уровня грунтовых вод в первые сутки откачки в подпластовых пьезометрах в радиусе до 100 м намного больше, чем в надпластовых. Так, на расстоянии 50 м понижение за 2 часа в в надпластовом пьезометре составило 12 см, а в подпластовых – 151 см, за 23 часа – 85 и 233 см соответственно. Понижение на удалении 230 м от скважины за сутки составило 30 и 66 см, а за 7 суток – 55 и 100 см соответственно, при

этом при откачках образуются две кривые депрессии уровня грунтовых вод: в верхнем горизонте над слабопроницаемой прослойкой и под ней (рис. 2.8).

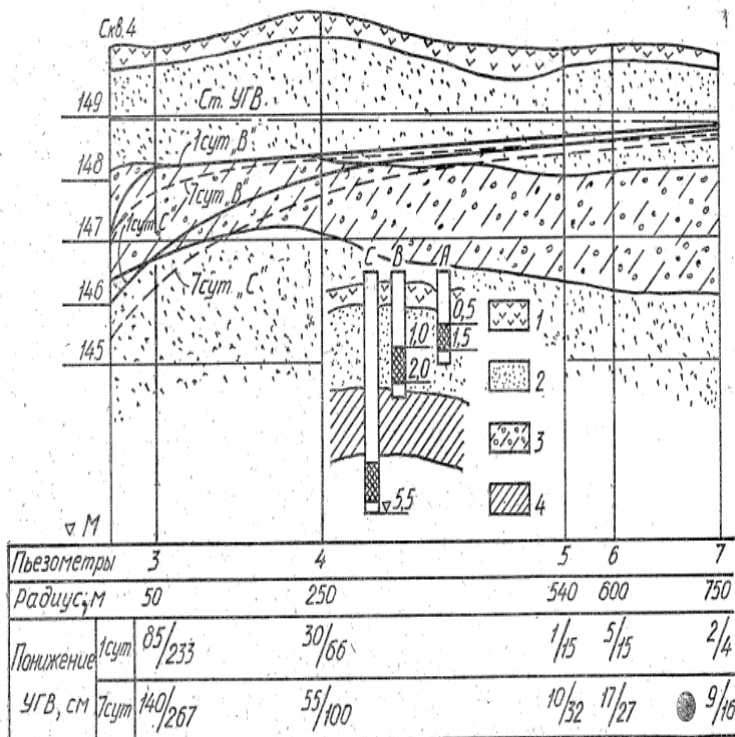


Рис. 2.8. Депрессионные кривые при работе скважины 4 объекта «Осиповка»: 1 – торф; 2 – песок; 3 – супесь; 4 – суглинок (в числителе – понижение по пьезометру «В»)

В таких гидрогеологических условиях скважина каптирует воду из водоносного горизонта, расположенного под слабопроницаемой прослойкой, вследствие чего перетекание воды из верхнего горизонта в нижний происходит с некоторым запаздыванием. Восстановление УГВ в этом горизонте проходило в течение 3–4 суток, и по всей площади устанавливался относительно одинаковый уровень грунтовых вод на 10–15 см ниже первоначального. С учетом

этого для поддержания необходимой нормы осушения на локальных участках следует назначать дискретный режим работы скважин.

Опытами установлено, что действие одной скважины за сутки распространялось на площади более 80 га, а за четверо суток – более чем на 120 га, но площадь с понижениями более 0,3–0,5 м составила всего 25–30 га за 4–7 суток. Установлено также, что с увеличением дебита скважины возрастает как интенсивность понижения УГВ, так и радиус влияния скважины (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Понижение грунтовых вод от статического уровня при откачках из скважины 4

Расход скважин Q , м ³ /ч	Время работы, ч	Понижение УГВ, см, на расстоянии, м			
		50	237	311	420
70	1	8	2	–	–
	3	12	–	2	–
	18	44	5	3	–
	24	47	8	3	–
	48	48	9	3	–
	67	48	11	3	–
205	1	7	–	–	–
	3	28	2	5	–
	18	82	8	16	13
	24	95	15	21	15
	52	135	25	25	22
	66	146	25	29	24
	89	155	33	34	30

Также установлено, что интенсивность снижения УГВ возрастает с увеличением дебита скважин. Так, если при дебите скважины 70 м³/ч УГВ в радиусе 50 и 240 м за двое суток понизился на 45 и 9 см соответственно, то при дебите 160 м³/ч – на 130 и 33 см. Следует отметить, что при откачках из скважин скорость снижения УГВ в радиусе 50–400 м изменялась от 90 до 4 см/сут.

Осушительное действие вертикального дренажа более эффективно при групповой работе скважин. В табл. 2.4 приведены данные по интенсивности понижения УГВ при групповой откачке из четырех и двух скважин [128].

Таблица 2.4

Понижение УГВ при групповой откачке

Показатель	Скважины 1, 2, 4, 5 $Q = 500 \text{ м}^3/\text{ч}, R = 500 \text{ м}$					Скважины 4, 9 $Q = 200 \text{ м}^3/\text{ч}, R = 400 \text{ м}$				
	Откачка, ч	2	5	10	21	48	24	48	96	144
Понижение УГВ, см	2	10	21	34	51	21	28	36	38	40

Откачка из четырех скважин (1, 2, 4, 5), расположенных по углам квадрата со стороной 550 м, в течение двух суток с дебитом $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ привела к понижению УГВ в центре участка на 50 см. Откачка из двух скважин (4 и 9) с дебитом $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ и расстоянием между скважинами 800 м за 6 суток понизила уровень грунтовых вод на 40 см.

В ходе строительства и испытания системы установлено, что из-за пестроты микрорельефа участка, наличия торфяников различной мощности, а в отдельных местах суглинистой прослойки на глубине 1,5–2,5 м, напорности грунтовых вод работа скважин в режиме осушения не дала ожидаемого эффекта, особенно в микропонижениях. Неблагоприятный водный режим в отдельных местах обусловлен не только наличием слабоводопроницаемых прослоек, но и фильтрационными свойствами грунтов зоны аэрации, определяющими характер распределения влаги по площади и инфильтрации атмосферных осадков. Верхние слои торфа и оторфованных грунтов задерживают в себе большую часть атмосферных осадков и талых вод, препятствуя поступлению их в нижние слои зоны аэрации и создавая условия для образования луж. В таких условиях для осушения почв требуется проведение дополнительных мероприятий.

Этим обстоятельства имели место на объекте «Осиповка», где в процессе испытаний системы были выявлены просчеты в ее проектировании, обусловленные недоучетом сложных гидрогеологических и рельефных условий. Работа скважин не дала ожидаемого осушительного эффекта в отдельных местах участка, особенно в понижениях, поэтому для усиления интенсивности осушения и организации поверхностного стока вертикальный дренаж был дополнен системой открытых каналов и горизонтальным гончарным дренажем, расположенным локально в наиболее пониженных и пе-

реувлажненных местах. Горизонтальный дренаж заложен в виде отдельных дрен и системы коллекторов с расстоянием между ними 25–30 м. Вдоль дороги и ограждающего канала К-1 проложены кюветы глубиной до 1 м.

Таким образом, вертикальный дренаж на участке был преобразован в систему комбинированного дренажа, которая в 1982–1984 гг. бесперебойно обеспечивала требуемый водный режим при осушении почв. Следует учитывать, что в зоне неустойчивого увлажнения в период с апреля по октябрь наблюдаются промежутки времени, когда почвы недостаточно увлажнены, причем не только в засушливые, но в средние и даже влажные годы, и в эти периоды требуется дополнительное увлажнение [96]. По результатам анализа производственных данных и результатов исследований лаборатории орошения БелНИИМиВХ, проведенных под руководством А. И. Михальцевича, установлено, что надежным средством повышения урожаев и их устойчивости по годам является орошение дождеванием на фоне высокой агротехники [144].

В режиме осушения работала эпизодически лишь часть скважин. Наиболее длительно и эффективно система работала на орошение земель. Так в 1984 г., начиная с 20 апреля, скважины 2, 3, 5, 6, 7 интенсивно работали на орошение с односменной работой поливного оборудования. Дождевальные машины (ДМ) обслуживали следующие площади: установкой ДМ-454-50 («Фрегат») – 72 га, ДМБУ-463-60 – 61 га, ДКШ64-800 («Волжанка») и ДД-30 – 72 га, итого орошаемая площадь участка составила 205 га. При поливе работу системы обеспечивало 5 человек обслуживающего персонала. Всего скважинами за год было каптировано 165 тыс. м³, в том числе на сброс 49 380 м³. Площадь участка использовалась следующим образом: сенокос – 83 га, трава на зеленую массу – 182 га, пастбища – 47 га. По данным Брестского межрайонного управления осушительных и оросительных систем (МУООС), за сезон 1984 г. было полито 484 га площади объекта «Осиповка», в том числе установкой ДМ-454-50 («Фрегат») – 204 га, ДМБУ-463-60 – 35 га, ДКШ64-800 («Волжанка») – 130 га и ДД-30 – 112 га. За апрель–октябрь на орошение было подано около 100 тыс. м³ воды в соответствии с нормой полива 250 м³/га на «Фрегат» и «Волжанку» и 200 м³/га – на ДД-30. Оросительная техника отработала на полив около 500 ч. За вегетационный период 1986 г. было полито 871 га, в том числе: в апреле – 9, в мае –

314, в июне – 245, в июле – 227 и в августе – 76 га. По дождевальным машинам и установкам эти площади составили: «Фрегат» – 336 га (южный участок); «Фрегат-2» – 170 га; «Волжанка» – 140 га и ДД-30 – 223 га. На полив работали скважины 2, 5, 7, 9. За вегетационный период ими было подано на орошение более 200 тыс. м³ воды, расход электроэнергии при этом составил 75 390 кВт·ч или 285 кВт·ч на 1 га орошаемой площади (265 га). Площадь участка использовалась под следующие культуры: картофель – 30 га, свекла – 19 га, лен (на волокно) – 54 га, рожь – 20 га, пастбище – 56 га и сенокос – 62 га. Режим работы скважин вертикального дренажа на объекте в 1984 г. представлен в табл. 2.5.

Таблица 2.5
Режим работы скважин на участке «Осиповка» (1984 г.)

Номер скважины	Время работы	Количество отработанных суток	Расход скважины, м ³ /ч	Подано воды из скважины, м ³	Использование воды
1	17.05–21.10	6	140	19 320	осушение
2	23.04–24.08	10	150	24 500	орошение, «Фрегат»
3	16.04–31.05	5	100	10 600	«Волжанка»
4	18.05–25.09	6	200	27 200	осушение, «Фрегат»
	23.04–16.05	3			
5	18.05–24.08	10	200	39 500	осушение
6	16.04–04.07	4	130	12 870	«Волжанка», бассейн
7	21.04–18.08	4	100	8 700	«Волжанка», бассейн
8	07.08	1	95	1 600	осушение
9	05.05–08.09	4	150	8 960	осушение
Итого:	–	53	–	153 250	–

Проведенные в 1984–1986 гг. исследования на системе вертикального дренажа объекта «Осиповка» на площади 320 га показали, что регулирование водного режима почв в сложных гидрогеологических и литологических условиях на площади с пестрым микрорельефом представляет весьма сложную задачу. Решение ее требует проектиро-

вания систем комбинированного дренажа, эффективность действия которого будет зависеть от эффективности взаимодействия всех элементов систем (скважин, горизонтального дренажа с водопоглощающими элементами и регулируемыми сооружениями).

Основное достоинство вертикального дренажа заключается в том, что в годы любой водности он своевременно (или заблаговременно) отводит с осушаемого массива только избыточные влагозапасы, что позволяет максимально беречь водные ресурсы осушаемых территорий. Объем среднегодового дренажного стока на таких системах на 30–80 % меньше, чем на самотечных системах непрерывного действия. Эта разница в объемах дренажного стока, равная в среднем 1 300–1 800 м³/га за сезон, и составляет тот запас ежегодно восполняемых грунтовых вод, который не отводится с осушаемого массива в виде безвозвратного стока и может быть использован на орошение в засушливые периоды [88].

Работа скважин при откачках обеспечивает относительно равномерное понижение уровней грунтовых вод по площади. Воронка депрессии с понижением до 2 м распространяется в радиусе 50 м.

Средние скорости понижения УГВ в радиусе 200–400 м при одиночной работе скважин с дебитом до 100 м³/ч колеблются в пределах 4–9 см/сут, а при групповой работе скважин достигают 20 см/сут. При автономной работе скважина с дебитом 140–200 м³/ч может обеспечить требуемое понижение на площади 35–45 га за 7–15 суток.

В условиях ярко выраженного микрорельефа поверхности, наличия грунтово-напорного питания или прослоек слабОВОДПРОНИЦАЕМЫХ грунтов вертикальный дренаж целесообразно дополнять горизонтальным с водопоглощающими элементами в понижениях или открытыми каналами.

При осушении площадей, включающих участки со слабОВОДПРОНИЦАЕМЫМИ прослойками мощностью 1,5–2,0 м, залегающими на глубине 2–3 м, применять вертикальный дренаж без дополнительных мероприятий не рекомендуется.

2.3. Дренажные скважины как источник водообеспечения оросительной техники в регионе Полесья

В неустойчивых погодных условиях с превалированием засушливых периодов орошение сельхозугодий в некоторых районах

республики следует рассматривать как один из способов уменьшения негативных последствий засухи в ряде отраслей сельскохозяйственного производства [108]. Одной из основных проблем орошения является обеспечение дождевальной техники водой. Гарантированным ее источником в условиях Полесья являются грунтовые и подземные воды с глубины 1,5–3 м от поверхности, которые каптируются (забираются) водозаборными дренажными скважинами.

Скважины являются основным элементом мелиоративной системы вертикального дренажа, эффективность действия которой установлена на опытно-производственных осушительно-оросительных системах Полесской опытно-мелиоративной станции (ПОМС) на площади 1000 га и на опытно-оросительной системе вертикального дренажа объекта «Осиповка» Малоритского района Брестской области на площади 320 га [88, 145].

Главным показателем эффективной работы скважины является ее дебит (расход), который зависит от гидрогеологических условий, способа бурения, конструкции фильтра, состава гравийной обсыпки и других факторов. По химическому составу вода из скважин опытных участков гидрокарбонатно-натриевая с общим количеством растворенных солей 0,5 г/л, без агрессивных кислот. Она пригодна для орошения сельскохозяйственных культур без ограничений.

Авробация работы скважин проведена на опытно-производственном участке вертикального дренажа Полесской опытно-мелиоративной станции. Гидрогеологические условия опытного участка на ПОМС являются типичными для многих районов Белорусского Полесья. С поверхности до глубины 0,9–1,2 м участок представлен мелкозернистыми торфяниками, подстилаемыми современными и древними аллювиальными образованиями мощностью 1–2 и 5–7 м соответственно.

Ниже залегают пески пылеватые, мелко- и среднезернистые с прослоями крупнозернистых песков. Встречаются также прослой глины и суглинка на глубине 50–53 м, повсеместно залегают меловые отложения. Средняя мощность водоносного горизонта – 45 м, средний коэффициент фильтрации – 15–17 м/сут, водопроницаемость – 570–800 м²/сут.

Орошение участка осуществлялось дождевальными машинами «Волжанка» и «Фрегат» модификации ДМ-424-90 по двум схемам: при подаче воды к дождевальным установкам непосредственно из скважин погружными насосами и подогретой водой из бассейна суточного регулирования центробежными насосами. Поливная норма при орошении поддерживалась около 300 м³/га. Скважины в режиме орошения работали в отдельные годы до 370 ч и расходовали до 120 тыс. м³ воды. Установлено, что подача воды из скважин на орошение незначительно сказывается на понижении уровня грунтовых вод: за один полив она не превышала 10–15 см в радиусе 100–150 м от скважины, и через 1–2 сут происходило практически полное его восстановление [5, 145].

Скважины второй очереди строительства на площади 670 га были иной конструкции, чем скважины первой, и бурение их велось как ударно-канатным способом станком УКС-22 диаметром 1000 мм, так и способом обратной промывки.

Характеристика дренажных скважин на второй очереди ПОМС приведены в табл. 2. 6.

Верхняя часть фильтровой колонны глубиной до 16 м выполнена из труб диаметром 630 мм, нижняя – из труб диаметром 430 мм, что обусловлено установкой сверху нисходящих колен сифонных трубопроводов. Фильтр скважин выполнен со щелевыми отверстиями и проволочной обмоткой, поверх которой уложена волокнисто-пористая полиэтиленовая оболочка, изготовленная в БелНИИ-МиВХ. Ее параметры: толщина – 6 мм, масса 1 м² – 2 кг, пористость – 67–70 %, коэффициент фильтрации – 400–600 м/сут. Строительство скважины глубиной 35–40 м бригадой из трех человек осуществлялось за 8–14 дней. Скважины устанавливались в мелко- и среднезернистых песках с коэффициентом неоднородности 1,5–3,2. Гравийная обсыпка выполнялась на всю глубину скважин, для чего применялся отмытый гравий с диаметром частиц от 0,25 до 7,0 мм и коэффициентом неоднородности 8,0. Наибольший удельный дебит 50 м³/ч был достигнут у скважины 1, имевшей наибольшую площадь фильтра (42,58 м²). При динамическом понижении уровня воды в скважине 10 м и более дебит скважины изменяется от 200 до 500 м³/ч.

Таблица 2.6

Основные характеристики дренажных скважин на ПОМС
(2-я очередь)

Номер скважины	Глубина, м		Длина фильтра, м		Диаметр фильтра, мм		Площадь фильтра, м ²		Удельный дебит, м ³ /(ч·м)
	скважины	установки фильтра	в интервале	общая	внутренний	наружный	в интервале	общая	
1	40	7,4–17,3	9,90	25,60	630	650	20,20	42,38	$\frac{50}{500}^*$
		18,8–28,2	9,40		430	450	13,28		
		32,2–38,5	6,30		430	450	8,90		
2	35	7,3–16,5	9,20	22,20	630	650	18,77	37,13	$\frac{35}{350}$
		20,3–33,3	13,00		430	450	18,36		
3	35	5,50–11,85	6,35	18,95	630	650	12,96	32,77	$\frac{40}{400}$
		13,8–17,0	3,20		630	650	6,53		
		24,4–33,8	9,40		430	450	13,28		
4	37	8,0–14,0	6,00	15,00	630	650	12,24	24,95	$\frac{30}{300}$
		26,0–35,0	9,00		430	450	12,71		
5	38	6,0–12,5	6,50	18,5	630	650	13,26	26,07	$\frac{20}{200}$
		25,0–37,0	12,00		325	340	12,81		

Примечание: в числителе удельный дебит при понижении уровня воды в скважине на один метр, знаменателе расход скважин при динамическом понижении уровня воды в скважине 10 м.

Сравнивая производительность скважин, построенных разными способами, можно отметить, что при строительстве способом обратной промывки удельный дебит скважин был значительно выше. По осушительному действию и возможности обеспечения водой оросительной техники одна скважина, построенная способом обратной промывки (скв. 3) может заменить две скважины с проволочным фильтром, построенные ударно-канатным способом (скв. 5).

Фильтры из волокнисто-пористых полиэтиленовых оболочек высокоэффективны и позволяют повысить долговечность и надежность работы скважин. Они могут применяться не только в мелиорации, но и водоснабжении, особенно в сочетании с каркасом из полиэтиленовых труб.

Характеристика дренажных скважин на системе вертикального дренажа объекта «Осиповка» приведена в табл. 2.7 [145].

Таблица 2.7

Характеристики дренажных скважин объекта «Осиповка»

Номер скважины	Глубина скважины, м	Диаметр фильтра, мм	Длина фильтра, м	Удельный дебит, м ³ /ч
1	27,0	325	24,5	15,0
2	39,5	426	33,6	18,5
3	38,5	273	20,3	17,5
4	39,0	325	24,5	15,0
4а	18,5	325	15,8	14,0
5	30,2	426	26,0	15,4
6	40,0	273	21,4	14,5
7	40,0	273	21,4	18,0
8	39,5	325	26,5	15,0
9	25,5	426	22,7	14,5

Строительство скважин производилось роторным способом с обратной промывкой, диаметр бурения – 1 м. Контур гравийной обсыпки составлял 35 см на всю глубину скважины. Скорость бурения таким способом значительно выше, чем ударно-канатным. Так, скважина глубиной 40 м была пробурена за 9 ч, тогда как при ударно-канатном способе – за 6–20 дней. Все скважины оборудованы проволочным фильтром на общей колонне. Дебит их достигал 200 м³/ч (удельный дебит – 14–18 м³/ч).

В результате проведенных откачек из одиночных скважин на объекте «Осиповка» было установлено, что по эффективности осушения в сложных гидрогеологических условиях они уступают действию скважин на ПОМС, но вполне способны поддерживать требуемую норму осушения на большей части участка. Действие одной скважины за сутки распространялось на площадь более 80 га, а за четверо суток более чем на 120 га.

Данные по дебиту (расходу) дренажных скважин в диапазоне от 100 до 400 м³/ч при динамическом понижении уровня воды в скважине 10 м и более показали, что дренажные скважины исследованных конструкций могут обеспечивать водой дождевальные установки такие, как ПДМ-2500 с расходом 60–80 м³/ч, дождевальные машины кругового действия 360А, 320А с расходом 126–170 м³/ч, а также некоторые типы дождевальных машин с расходом от 180 до 300 м³/ч и др.

Анализ динамики понижения воды в скважинах показал, что при удельном дебите скважин более $15 \text{ м}^3/\text{ч}$ оросительные установки с центробежным насосом высотой всасывания более 5 м и расходом $40\text{--}60 \text{ м}^3/\text{ч}$ могут работать с забором воды непосредственно из скважин. По данным ОАО «Барановичипромбурвод» стоимость строительства 1 м скважины диаметром 325 мм в настоящее время составляет ориентировочно 600–1000 руб., скважина глубиной 35 м будет стоить около 2 800 руб. При осушении скважиной площади 30 га стоимость 1 га составит ориентировочно 1 200–1 400 руб., что сопоставимо со стоимостью реконструкции 1 га дренажа.

Таким образом, в определенных гидрологических условиях строительство неглубоких высокодебитных скважин дает возможность расширить область применения оросительной техники за счет гарантированного в регионе Полесья источника их водообеспечения – подземных вод, а также позволяет повысить эффективность мелиоративных мероприятий в засушливые периоды и положительно отражается на увеличении продуктивности осушенных земель.

2.4. Сифонные водосборы на вертикальном дренаже

Вертикальный дренаж может устраиваться с вакуумными системами, наиболее приемлемыми из которых являются сифонные водосборы. При создании мелиоративных систем в гумидной зоне применение сифонных водосборов позволяет уменьшить строительные и эксплуатационные затраты.

Сифонные водосборы представляют собой систему трубопроводов, соединяющих между собой дренажные скважины. В одной из скважин установлен погружной насос, который забирает воду из других скважин за счет создания в соединительных трубопроводах вакуума. Необходимый для работы сифонного устройства вакуум создают за счет разности динамических уровней в скважинах, которую поддерживают откачкой воды погружным насосом из приемной скважины.

Трубопровод необходимо предварительно заполнить водой, что достигается либо отсасыванием воздуха, либо непосредственно заливкой сифона водой (в этом случае на всасывающих трубах предусматривают обратные клапаны). Режим работы сифонов регулируется изменением динамического уровня в приемной скважине. Изменение расхода сифона осуществляют регулированием задвижек на нем.

Средняя ветвь сифона может быть уложена горизонтально или с уклоном, как положительным, так и отрицательным в сторону приемной скважины. Предпочтителен последний случай.

Устройство сифонного водосбора особенно целесообразно в условиях, когда орошение площадей осуществляют водой непосредственно от скважин, а дебит их в отдельности не обеспечивает обслуживания дождевального агрегата. К приемной скважине посредством сифонных трубопроводов могут подключаться одна или несколько дренажных скважин, что может существенно увеличить расход и снизить затраты – таким образом, сифонные водосборы расширяют технические возможности вертикального дренажа. На практике они применялись в гидротехнических сооружениях, в водоснабжении, в промышленном и городском строительстве [2, 134]. Есть данные и об опыте 25-летней эксплуатации вертикального дренажа с сифонным береговым водоотводом, построенным для защиты городской территории от подтопления подземными водами существующего водохранилища [92]. В большинстве случаев это были довольно сложные дорогостоящие сооружения, поэтому для применения сифонов на мелиоративных системах вертикального дренажа были разработаны более упрощенные конструкции сифонов. Испытание их работоспособности и эффективности проводилось на участках опытно-производственной системы вертикального дренажа мелиоративного объекта Полесской опытной мелиоративной станции (ПОМС) в Лунинецком районе Брестской области. Это был осушенный участок, который представлял собой низинное болото с мелкозалежным торфяником глубиной 0,3–0,8 м, подстилаемым мощными водоносными песками со средним коэффициентом фильтрации 17,5 м/сут. и водопроницаемостью 570–700 м²/сут. На этом участке системы были построены три сифонных водосбора разной конструкции.

Сифонный водосбор 1. Принципиальная схема сифонного водосбора приведена на рис. 2.9. В его состав входят вертикальная всасывающая труба, обеспечивающая забор воды из скважины 1 без насоса, сифонный трубопровод (средняя ветвь), нисходящая вертикальная труба в приемной скважине 2, зарядное устройство (вакуумный насос или эжектор). В приемной скважине установлен погружной насос ЭЦВ 12-255-30. Средняя ветвь сифона, соединяющая скважины 1 и 2 с расстоянием между ними 135 м, выполнена из стальных труб диаметром 150 мм. Длина восходящей и нисходящей ветвей составляла 8 и 9,5 м соответственно. Средняя ветвь сифона

уложена с уклоном 0,004 в сторону скважины 2. На этом сифоне проводилось изучение режимов его работы при разных напорах и влияния длины нисходящей ветви на действие сифона. Одновременно определялась максимальная величина вакуума, которую можно создавать без применения зарядного устройства. Максимальный расход сифона составил $94 \text{ м}^3/\text{сут}$, а наибольшее понижение динамического уровня в приемной скважине – 11,9 м.

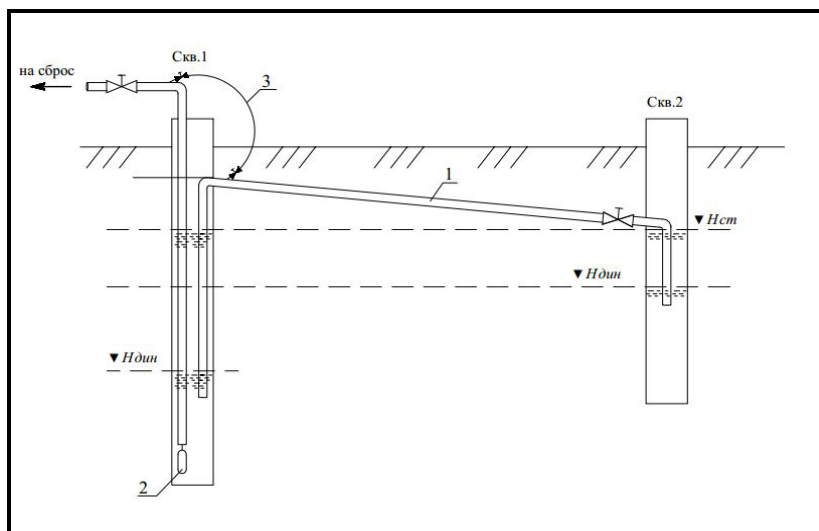


Рис. 2.9. Схема сифонного водосбора:

1 – сифонный трубопровод; 2 – насос; 3 – зарядное устройство

Сифонный водосбор 2 (рис. 2.10). Этот сифон соединяет три скважины (1, 2 и 3). Расстояние между скважинами 1 и 2 – 365 м, между скважинами 2 и 3 – 10 м. Скважина 3 глубиной 36 м и диаметром 300 мм дублирует скважину 2 глубиной 30 м и диаметром 350 мм. По конструкции сифон 2 представляет собой трубопровод переменного сечения. Средняя ветвь выполнена из чугунных труб диаметром 300 мм и уложена с переменным по длине уклоном. Горизонтальные участки, соединяющие скважины с чугунным трубопроводом, выполнены из стальных труб диаметром 150 мм. Общая длина средней ветви сифона составляет 470 м. Скважина 1 глуби-

ной 47 м диаметром 300 мм, оборудованная погружным насосом ЭЦВ 12-255-30, является приемной. Нисходящая ветвь сифона выполнена из стальной трубы диаметром 150 мм длиной 10,5 м.

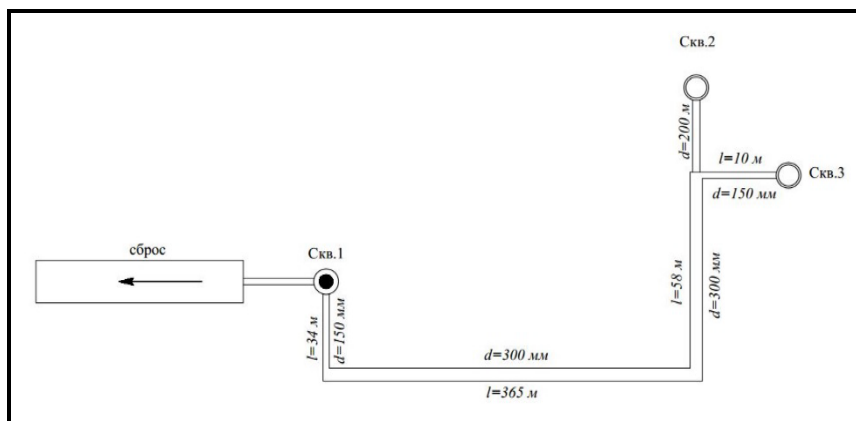


Рис. 2.10. Плановая схема расположения сифонного водосбора 2

Сифонные водосборы были построены и на втором участке вертикального дренажа ПОМС (рис. 2.5) на площади 670 га. Система состояла из 19 дренажных скважин, расположенных относительно равномерно по площади. Пять приемных скважин (1–5) были оборудованы погружными насосами и соединены с остальными скважинами сифонными трубопроводами. Длины сифонных трубопроводов между скважинами 1 и 10, 2 и 9, 3 и 8 составляли 500 м, между скважинами 1 и 19, 2 и 17, 2 и 18, 3 и 15, 3 и 16–700 м. Проектный уклон сифонов был в пределах 0,001–0,004. Сифоны были выполнены из полиэтиленовых труб диаметром 150–200 мм. Удельные дебиты скважин на данных сифонных водосборах приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Удельные дебиты скважин на данных сифонных водосборах

Номер скважины	1	2	3	4	9	15	16	17	18	19	10
Уд. дебит, м ³ /ч/м	50	35	40	4	10	9	4	3,5	5	6,5	7

Применение сифонов потребовало разработки новой конструкции приемных скважин. Для размещения трубопровода нисходящего колена сифона и водоподъемного трубопровода насоса верхняя часть скважины на глубину 16 м устраивалась из труб диаметром 630 мм, а диаметр фильтровой колонны был 426 мм. В качестве водоприемной поверхности фильтров применялись волокнисто-пористые полиэтиленовые пластины, изготовленные в БелНИИМиВХ.

Для приведения сифона в действие необходимо провести его зарядку, то есть предварительно удалить из трубопровода воздух и создать в нем разряжение, что достигалось отсасыванием воздуха вакуум-насосами или непосредственно заливкой водой [42]. Зарядка сифонов на опытных участках проводилась эжектирующим устройством, разработанным В. Н. Немиро и А. И. Митраховичем и не требующим применения вакуум-насосов. Работа сифонов осуществлялась поддержанием определенной разности между динамическими уровнями воды в приемной и водозаборной (сифонной) скважинах.

Расход сифона изменялся в зависимости от понижения динамического уровня в приемной скважине 1 (рис. 2.9) при работе насоса с различным расходом. При понижении динамического уровня на 11,9 м максимальный расход сифона составил 94 м³/ч. В таком режиме сифон работал нормально, без срывов. Это подтверждается и данными других исследователей о том, что длина нисходящей ветви сифона может превышать 10 м [147, 161]. С другой стороны, рекомендуется понижать динамический уровень в приемной скважине не более чем наполовину ее глубины [25]. В среднем динамический уровень в заборной (сифонной) скважине можно понизить на 6 м. Исходя из этого рассчитывается и дебит сифонных скважин.

Сифонный водосбор 2 (рис. 2.10) длиной 470 м испытывался при работе двух и трех скважин. Максимальный расход при работе трех скважин составил 97 м³/ч, минимальный (при котором сифон функционировал еще нормально) был равен 27 м³/ч. Скорость воды в трубопроводе диаметром 300 мм составила 0,11 м/с, а в нисходящем колене – 0,40 м/с. В случае работы сифона только из скважины 2 максимальный расход составил 68 м³/ч, понижение динамического уровня в приемной скважине – 10,5 м, в сифонной – 5,5 м. Во всех опытах сифон работал без отсасывания воздуха, но с водяным затвором (нисходящая труба сифона постоянно была заглублена под уровень воды). Данные опыта приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Режимы работы сифона 1 (ПОМС)

Вакуум, м вод. ст.	Динамическое понижение, м		Расход Q , м ³ /ч		Скорость V , м/с скв. 6 (сифон)	Напор H , м $H = S_1 - S_2$
	скв. 8 (насос) S_1	скв. 6 (сифон) S_2	скв. 8 (насос)	скв. 6 (сифон)		
7,55	8,24	5,31	158	73	1,20	2,93
9,25	10,97	6,24	197	94	1,55	4,73
9,25	11,00	6,26	195	92	1,50	4,85
9,25	11,52	5,48	184	76	1,25	6,06
9,25	11,96	5,01	176	62	1,02	6,95

Устойчивость работы сифонов проверялась при непрерывном действии сифона 2 в течение 1 и 7 суток с контролем вакуума самописцем. В течение всего времени сифон работал устойчиво. Основным условием такой работы является обеспечение скоростей движения воды в нисходящем колене не ниже 0,7 м/с при обязательном наличии водяного затвора.

При испытании сифонов изучалось осушительное действие вертикального дренажа в зоне действия приемной и сифонных скважин. Построенные по данным наблюдений за уровнем грунтовых вод при откачке кривые депрессии между скважинами 1–2 сифонного водосбора 1 имеют пологий характер, образовавшиеся вокруг скважин воронки депрессии невелики. Так, у скважины 2 в радиусе 2 м УГВ опустился на 2 м от начального. У приемной скважины такое понижение наблюдалось в радиусе 12 м. Уровень грунтовых вод посередине между скважинами 1–2 (расстояние между ними 365 м) за 6 часов работы трех скважин понизился на 0,3 м, за 24 часа – на 0,42 м. После выключения погружного насоса воронки депрессии исчезли за 1–2 часа и УГВ восстановился на всей площади участка. Влияние одной сифонной скважины 2 за 24 часа работы с дебитом 67 м³/ч распространилось в радиусе 350 м.

При работе сифонного водосбора с двумя водозаборными скважинами 2 и 3 и приемной скважиной 1 при общем дебите 97 м³/ч радиус их влияния увеличился до 520 м со скоростью понижения УГВ более 5 см за сутки. Неравномерности осушения участка за счет наличия воронок депрессии не наблюдалось.

Экономическая эффективность применения сифонных водосборов обуславливается снижением строительных и эксплуатационных затрат. Так, сифонный водосбор, состоящий из двух скважин, требует строительства лишь одной насосной станции над приемной скважиной и одной камеры из железобетонных колец для размещения оголовка скважины. Затраты на это значительно ниже, чем при оснащении насосным оборудованием двух скважин. Кроме того, за счет применения сифонной скважины существенно экономится электроэнергия. Если средняя продолжительность работы насосных станций на скважинах вертикального дренажа составляет 20 суток в году, то при мощности погружного насоса 22 кВт годовой расход электроэнергии составит 10 560 кВт. Такую экономию даст каждая сифонная скважина.

Результаты опытов по применению сифонных водосборов позволяют констатировать, что их можно использовать на осушительно-оросительных системах вертикального дренажа. Такие системы способны обеспечивать оросительную технику подземными водами в условиях острого дефицита воды в каналах в засушливые периоды, особенно в регионе Полесья. Эффективным будет также их применение и в противопожарных целях.

2.5. Расчет сифонного водосбора

Простейшая схема сифонного устройства приведена на рис. 2.11. В состав сифонного водосбора входят: вертикальная всасывающая труба, обеспечивающая забор воды из скважин, сифонный трубопровод (средняя ветвь), нисходящая вертикальная труба, которая входит в приемную дренажную скважину, и зарядное устройство (вакуум-насос, эжектор и т. п.).

Исходными данными к расчету являются: расстояние между скважинами и их дебиты, индикаторные кривые, $S = f(Q)$, требуемые понижения УГВ на участке. Расчеты сифонных систем состоят в определении диаметров трубопроводов, потерь напора в них, предельных понижений динамического уровня в приемной и дренажных скважинах (геодезической высоты всасывания), дебитов сифонных систем.

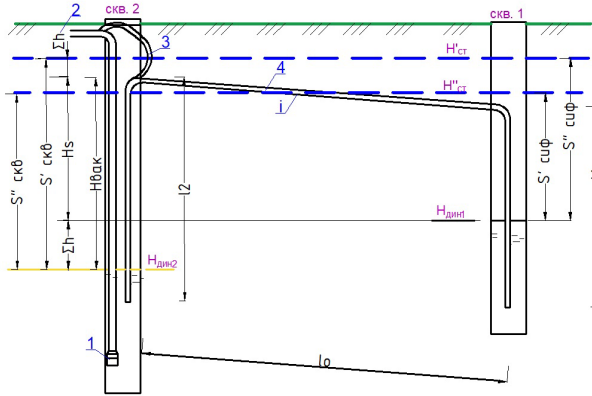


Рис. 2.11. Расчетная схема сифонного устройства:
 1 – погружной насос; 2 – задвижка; 3 – зарядное устройство;
 4 – сифонный трубопровод

Полные потери напора определяют как сумму потерь на трение по длине трубопровода и местных:

$$\sum h_{\text{сист}} = \sum h_l + \sum h_{\xi} = \left(\lambda \frac{l_c}{d} + \sum \xi \right) \frac{v^2}{2g}, \quad (2.1)$$

где ξ – коэффициент местных потерь: при входе в трубу и выходе из трубы в воду $\xi_{\text{вх}} = \xi_{\text{вых}} = 1$, в коленах $\xi_{\text{кол}} = 0,3-1,1$, на задвижке $\xi_{\text{задв}} = 0,12-0,3$;

$l_c = l_0 + l_1 + l_2$ – длина сифона от точки входа до точки выхода воды (рис. 2.11).

Наибольший вакуум, который может быть практически создан в системе, составляет $h_{\text{вак}} = 7-9,25$ м вод. ст.

Предельное превышение сифонного трубопровода над динамическим уровнем воды в дренажных скважинах:

$$H_s = h_{\text{вак}} - \sum h_{\text{сист}}, \quad (2.2)$$

где $\sum h_{\text{сист}}$ – общая сумма потерь напора в сифоне от точки входа воды в дренажной скважине до точки выхода в приемной.

Отметка шельги, высшей точки сифонного трубопровода (коллектора):

$$\nabla H_{\text{н}} = \nabla H'_{\text{дин}} + H_s = \nabla H'_{\text{дин}} + h_{\text{вак}} - \sum h_{\text{сист}}, \quad (2.3)$$

где $\nabla H'_{\text{дин}}$ – отметка динамического уровня воды в дренажной скважине.

Понижение в скважине (колодце):

$$S = \nabla H_{\text{сн}} - (h_{\text{вак}} \pm h), \quad (2.4)$$

где h – превышение статического уровня над шельгой сифона, м.

Скорость движения воды в сифонном трубопроводе, м/с:

$$v = \frac{4Q}{3600\pi D^2}. \quad (2.5)$$

При расчете сифонных трубопроводов необходимо учитывать увеличение объема движущейся в нем смеси вследствие выделения из воды пузырьков воздуха. Расчетный расход увеличивают на 5–10 % (первая цифра относится к сифонам с подъемом $H_s = 5$ –6 м, а вторая – $H_s = 6$ –9 м).

Для уменьшения потерь напора скорость движения воды в системе принимают не более 0,8–1,0 м/с. В сифонах постоянного сечения с водяным затвором (конец нисходящего колена опущен в воду) принимают скорость $v \geq 0,4$ м/с. В этом случае сифон работает без отсасывания воздуха. Для нормальной работы сифона без водяного затвора и отсасывания воздуха необходимо обеспечить $v \geq 0,55$ м/с.

Для обеспечения выноса воздуха из сифона при переменном сечении трубопровода скорость движения воды в нисходящем колене должна приниматься более 0,9 м/с.

2.6. Фильтрационные расчеты вертикального дренажа

Теоретические и практические основы расчетов и проектирования вертикального дренажа разработаны академиком ВАСХНИЛ

А. И. Мурашко, который обосновал необходимость его применения и внедрил в Белорусском Полесье автоматизированные осушительно-оросительные системы на базе вертикального дренажа.

На основании результатов испытаний систем вертикального дренажа на опытно-производственных участках объектов ПОМС и «Осиповка» были получены зависимости по фильтрационным расчетам вертикального дренажа. Обсуждение расчетов систем вертикального дренажа приведено на рис. 2.12.

Важнейшей составной частью фильтрационных расчетов скважин является оценка гидрогеологических параметров водоносных горизонтов. Схематизация гидрогеологических условий выполняется с учетом следующих допущений:

- объектом возмущения является безнапорный водоносный горизонт;
- по литологическому составу фильтрационная среда однородна или может быть приведена к однородной и изотропной по проницаемости;
- скважины работают в условиях неустановившегося режима (высота пьезометрических уровней переменна во времени);
- водоносный горизонт по характеру питания является бесконечным по протяженности.

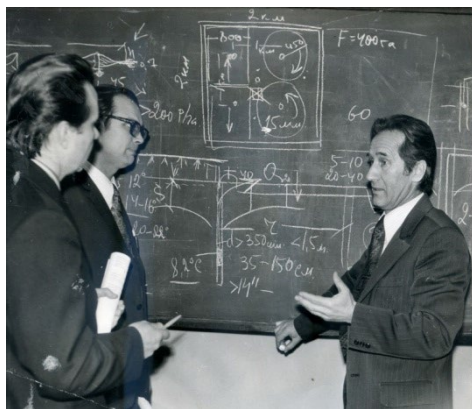


Рис. 2.12. Обсуждение результатов расчета параметров вертикального дренажа академиком Мурашко А. И. (справа) с сотрудниками к. т. н. А. И. Митраховичем, к. т. н. В. Т. Климовым (БелНИИМиВХ, 1982)

Для предварительной оценки возможности использования вертикального дренажа определяют удельный дебит скважины, и площадь осушения одной скважиной A_i , га.

Удельный дебит скважины q , м³/(ч·м), определяют:

$$q = 22 \cdot \lg(k \cdot A_\phi) - 39, \quad (2.6)$$

где k – коэффициент фильтрации водоносной толщи, м/сут;

A_ϕ – площадь водоприемной поверхности фильтра, м²;

Площадь A_i , га, осушения одной скважиной составит:

$$A_i = \frac{Q \cdot t}{10 \cdot X}, \quad (2.7)$$

где Q – дебит скважины, м³/сут;

t – продолжительность снижения уровня грунтовых вод, ч;

X – слой осадков необходимой обеспеченности, мм.

Формула, приведенная выше, применима при условии значений коэффициента фильтрации k в интервале от 9 до 22 м/сут, а площади водоприемной поверхности фильтра A_ϕ – в интервале от 12 до 30 м².

Проектирование водоподъемного оборудования заключается в выборе типа насоса, определении глубины его установки от поверхности земли и назначении оптимального режима работы в заданных условиях.

Производительность насоса принимают равной возможному дебиту скважины, установленному в результате опытных откачек или расчетным путем для заданного понижения. Для скважин вертикального дренажа следует предусматривать погружные насосные агрегаты.

Понижение уровня грунтовых вод S , м, в точке на расстоянии R_i , м, от одиночной скважины, работающей с постоянным дебитом Q , м³/сут, определяют по формуле:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} \cdot W(u), \quad (2.8)$$

где T – проводимость водоносного слоя, м²/сут;

$W(u)$ – интегральная функция Тейса (табл. 2.10), зависящая от параметра u :

$$u = \frac{R_i^2}{4at} \quad (2.9)$$

где t – продолжительность откачки, сут;
 a – коэффициент уровнепроводности, м²/сут.

Таблица 2.10

Значение интегральной функции Тейса функции $W(u)$

$$u = N \cdot 10^{-n}$$

Количество скважин, n	Значение N								
	$N=1$	$N=2$	$N=3$	$N=4$	$N=5$	$N=6$	$N=7$	$N=8$	$N=9$
0	0,219	0,049	0,013	0,0038	0,0011	0,00036	0,00012	0,000038	0,00
1	1,820	1,220	0,910	0,700	0,56	0,45	0,37	0,31	0,26
2	4,040	3,350	2,960	2,680	2,47	2,30	2,15	2,03	1,92
3	6,330	5,640	5,230	4,950	4,73	4,54	4,39	4,26	4,14
4	8,630	7,940	7,530	7,250	7,02	6,84	6,69	6,55	6,44
5	10,94	10,24	9,840	9,550	9,33	9,14	8,99	8,86	8,74
6	13,24	12,55	12,14	11,85	11,63	11,45	11,29	11,16	11,04
7	15,54	14,85	14,44	14,15	13,93	13,75	13,60	13,46	13,34
8	17,84	17,15	16,74	16,46	16,23	16,50	15,90	15,76	15,65
9	20,15	19,45	19,05	18,76	18,54	18,35	18,20	18,07	17,95
10	22,45	21,76	21,35	21,06	20,84	20,66	20,50	20,37	20,25
11	24,75	24,06	23,65	23,36	23,14	22,96	22,81	22,67	22,55
12	27,05	26,36	25,96	25,67	25,44	25,26	25,11	24,97	24,86
13	29,36	28,66	28,26	27,97	27,75	27,56	27,41	27,28	27,16
14	31,66	30,97	30,56	30,27	30,05	29,87	29,71	29,58	29,46
15	33,96	33,27	32,86	32,58	32,35	32,17	32,02	31,88	31,76

Расчеты систематического площадного дренажа следует производить по формуле:

$$S_p = \frac{Qt}{\mu\pi R_i^2}, \quad (2.10)$$

где S_p – расчетное понижение уровня грунтовых вод после восстановления депрессионной воронки, м;

μ – безразмерный коэффициент водоотдачи;

R_i – радиус влияния скважины, м.

Радиус влияния скважины:

$$R_i = \sqrt{\frac{Qt}{\mu\pi S_p}}. \quad (2.11)$$

Необходимое для осушения площади количество скважин n , шт.:

$$n = \mu \cdot \frac{A_i S_p}{Qt}. \quad (2.12)$$

Расстояние между скважинами систематического дренажа определяют в зависимости от радиуса влияния скважины R . При расположении скважин по квадратной сетке расстояние между скважинами $l_K = 1,77R$, по треугольной – $l_T = 1,90R$.

Правильность расчета определяют вычислением контрольного понижения уровня грунтовых вод на границе области питания:

$$S = \frac{Q}{2\pi T} \cdot \left(\frac{2at}{\mu R^2} - \frac{1}{4} \right). \quad (2.13)$$

Расчеты выполняют методом подбора.

3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

3.1. Принципы регулирования водного режима почв с учетом экстремальных погодных условий

Рациональное использование и сохранение запасов грунтовых и подземных вод имеет большое значение в народном хозяйстве. Для сельскохозяйственного производства продукции требуется огромное количество чистой природной воды, например, для получения урожая пшеницы свыше 60 ц с гектара требуется 9 тыс. тонн воды на каждый гектар [94]. В условиях нашей республики при среднегодовой норме осадков 600–700 мм в год на гектар выпадает 7–8 тыс. тонн воды, что недостаточно для гарантированного получения урожая пшеницы более 60 ц/га, тем более что основная часть осадков выпадает в невегетационный период. Следовательно, чтобы использовать воду для полива, ее надо накопить в весенний период, для чего мелиоративная система должна быть дополнена на ряде объектов водоемами-копанями [93].

Из агрофизики известно, что в самый важный период для зерновых культур (выход в трубку, цветение) за одну декаду формируется 30 % урожая, за две – до 50 % [94]. В этот период не обязательно должен проводиться полив с помощью оросительной техники, но надо обеспечить повышенную влажность воздуха за счет испарения с водной поверхности и тогда само растение сможет регулировать необходимое водопотребление путем конденсации влаги из воздуха в почву. Очень важно учитывать процессы, происходящие на поверхности почвы, где энергия солнца, запасы углекислого газа, вода и зольные элементы превращаются в биомассу урожая. Вода с растворенным в ней углекислым газом и комплексными удобрениями сбрасывается в мелиоративные каналы, ухудшая при этом экологию, а экологические и политические аспекты вопроса очень важны. В последние годы в Республике наблюдается прогрессирующее снижение годовой суммы осадков. Это значит, что если сегодня проблема недостатка воды явно не проявляется, то в перспективе проблема водообеспечения растений будет только возрастать. Если совсем недавно (лет 40–50 назад) урожай зерновых составлял 15–

25 ц/га при естественном росте и развитии растений и количество гумуса в почве было выше, то в настоящее время для получения урожая более 50 ц/га и при снижении гумуса в почве воды для растений требуется вдвое больше. Зерно становится стратегическим продуктом, поэтому будет требоваться обеспечение сельскохозяйственных культур водой из искусственных водоисточников. К ним относится и устройство водоемов-копаней.

В южных странах, на протяжении веков являвшихся мировой житницей, воды становится не просто мало, а катастрофически мало. Значит, центр земледелия перемещается в умеренную зону, в том числе и в нашу Республику, что необходимо учитывать.

Вышеизложенное еще раз указывает на важнейшую проблему сохранения запасов воды и их рациональное расходование [85].

3.2. Водоемы-копани как аккумуляторы воды на полях

При проведении реконструкции мелиоративных систем на антропогенно-преобразованных торфяных почвах с развитым мезорельефом в природно-климатических условиях Белорусского Полесья водоемы-копани должны занимать достойное место как элемент конструкции мелиоративной системы. Понижения мезорельефа замкнутые и имеют хаотическое расположение в плане. Копани должны устраиваться глубоких (свыше 0,7 м) бессточных понижениях, в которых постоянно скапливается поверхностный сток [124, 125]. По данным топографических съемок, на осушенных торфяных почвах длительного сельскохозяйственного использования установлено, что количество таких западин с замкнутым внутриводосбором площадью до 5 га составляет 2–3 % всей площади осушения. Применение водоемов-копаней поможет решить две важные проблемы. Первая – проведение мелиорации в бессточных понижениях, где осуществить это мероприятие посредством других мелиоративных приемов практически невозможно. К решению второй проблемы относится увеличение водообеспеченности мелиорированной территории. Накопленная в водоемах-копанях вода будет служить источником для пожаротушения, орошения, водопоя скота и улучшения температурного режима мелиорированной территории. Согласно рекомендациям Медведева Н. [109] для смягчения негативного влияния на растения воздушной засухи на мелиориро-

ванных сельскохозяйственных угодьях необходимо создать определенный резерв влаги в виде водоемов-копаней с удельной площадью открытой поверхности воды не менее 35–40 м²/га.

Участки с торфяно-глеевыми, торфянисто-глеевыми, органоминеральными и минеральными остаточными торфяными почвами характеризуются развитым мезорельефом. Мезорельеф образовался в результате неравномерности осадки торфа на осушенных участках, обусловленной первоначальной мощностью торфяной залежи. По результатам наблюдений за общей осадкой торфа на Полесской опытной станции (Брестская область, Лунинецкий район) установлено, что за 56 лет поверхность осушенных торфяников осела на 0,56–0,99 м при исходной глубине торфа 0,70–2,00 м [7]. На маломощных торфяниках с глубиной торфа около 0,5 м в результате перемешивания плугами осевшего торфа с подстилающим песком образовались почвы с совершенно новыми водно-физическими свойствами (органоминеральные), абсолютные отметки которых в дальнейшем существенно не изменяются, осадка торфа не происходит.

По метеорологическим данным гидрометеостанции БС «Полесская», расположенной на мелиоративной системе «ПОМС», за период с начала устойчивого потепления климата (1999 г.) по настоящее время следует, что в течение прошедших 20-ти лет наблюдалось 7 засушливых, 11 влажных и 2 средних вегетационных периода. Наиболее засушливыми на протяжении всего годового периода были 1999, 2003 и 2018 годы. К наиболее влажным в этом 20-летию относятся 2004, 2008, 2009, 2010, 2013 и 2017 годы.

За период 1999–2018 гг. среднесуточная годовая температура воздуха повысилась в среднем на 1,05 °С по сравнению с нормой, а среднесуточная температура воздуха вегетационного периода – в среднем на 1,14 °С. Из рассматриваемого периода наиболее теплыми были 1999, 2002, 2007, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 гг., в которые среднесуточная годовая температура воздуха превышала норму на 1,1–2,0 °С, а среднесуточная температура вегетационного периода – на 1,2–2,8 °С. Самыми жаркими из этих 9-ти лет были 2007 и 2018 годы, когда среднесуточная годовая температура воздуха на 1,8–2,0 °С была выше нормы. Среднесуточная температура воздуха вегетационного периода в эти годы на 2,3–2,8 °С превышала среднемноголетнюю величину (1947–2015 гг.).

Из анализа климатических изменений можно заключить, что в условиях потепления климата наблюдается паритет количества влажных и засушливых лет. Можно сделать и второй немаловажный вывод, что за 6 лет (2013–2018 гг.) постоянно наблюдалось превышение температуры воздуха над среднеголетними данными.

Климатические факторы наряду с изменившимися морфометрическими характеристиками осушенной территории являются определяющими при принятии решения о целесообразности устройства водоемов-копаней на антропогенно-преобразованных торфяных почвах. Следует заметить, что в условиях Полесья уровни грунтовых вод редко опускаются ниже 1,5 м от поверхности, поэтому построенные водоемы-копани с минимальной глубиной около 2,5 м никогда не пересохнут. Устойчивое питание грунтовыми водами заглубленных зон обеспечит необходимые условия для жизни ихтиофауны и земноводных обитателей в экстремальные острозасушливые периоды.

Размеры водоемов-копаней определяются после уточнения топографической ситуации и современных глубин торфа в местах строительства.

Требования к размерам и глубине водоемов-копаней следующие:

– размер и глубина должны быть такими, чтобы вынутым грунтом можно было поднять уровень поверхности окружающей западины до отметок, позволяющих вести интенсивное сельскохозяйственное производство [109];

– заглубление водоема-копани должно обеспечить бытовую глубину воды не менее 1 м, а объема вынутого песка должно быть достаточно для пескования торфяника слоем 4–6 см на площади равной, как минимум, десятикратной поверхности зеркала воды в копани.

Пескование прилегающей к копани территории предназначено для улучшения температурного режима торфяной почвы и приземного слоя воздуха, уменьшения амплитуды суточных колебаний температуры и исключения возможности появления радиационных заморозков. Постоянное наличие воды в копани смягчает действие всех типов заморозков в случае их возникновения.

Для обозначения на местности и создания условий для обитания мелких диких животных и птиц по периметру копани полосой 3–5 м можно высаживать древесную или кустарниковую растительность, например, использовать иву быстрорастущую (*Salix Viminalis*), ко-

торая из посаженного в землю черенка длиной 0,2 м вырастает в год посадки высотой до 1,5 м.

Многолетние наблюдения за водным режимом на мелиоративных системах с глубокими магистральными каналами и спрямленными водоприемниками на торфяниках показали эффективность работы осушительно-увлажнительной системы только во влажные и средние по осадкам периоды. В острозасушливые периоды объемов речного и местного стока при его перераспределении подпорными сооружениями обычно недостаточно для покрытия дефицита почвенной влаги. Чтобы расширить эффективность влияния водоемов-копаней на водно-воздушный режим корнеобитаемого слоя почвы и приземного слоя воздуха, водоемы можно устраивать не только в понижениях, но и на каналах в виде их уширения и углубления. Размеры копаней в каналах в каждом конкретном случае устанавливаются в зависимости от гидрогеологических условий, глубины торфа, месторасположения на канале, напорности грунтовых вод и могут иметь следующие размеры: в верховье канала – длина по верху 40–50 м, ширина по верху 25–30 м, заложение откосов 1:2,5 при глубине копаней 2,5–3,0 м; при расположении копаней в середине канала – длина по верху 40–50 м, ширина по верху 15–16 м, глубина 2,5 м, объем выемки 1 800 и 1 100 м³ соответственно. На объекте реконструкции мелиоративной системы ПОСМЗиЛ был запроектирован и построен в верховье канала Б-3-6 водоем-копань (рис. 3.1) размером 40×26 м, на котором с 2007 года ведутся наблюдения за водным режимом.

Многолетние инструментальные наблюдения показали, что заиление дна водоема-копаней в верховье канала Б-3-6 происходило в 3–5 раз медленнее, чем заиление дна водоема-копаней в середине канала Б-3-0-6-1.

Многолетние наблюдения за гидрологическим режимом в водоеме-копаней, расположенном в верховье канала Б-3-6, показали, что в условиях устойчивого потепления климата глубины воды в копаней в острозасушливые периоды 2016 и 2018 годов не опускались ниже 1,25–1,27 м при минимальном объеме воды 567–555 м³.

Максимальные глубины воды в копаней, равные 2,56 м при ее максимальных объемах 1561 м³, наблюдались во влажные периоды 2007 и 2013 годов. Уровни воды в водоеме-копаней в эти периоды были на 0,25 м ниже бровки копаней.

Гидрологический режим уровней воды в водоеме-копани приведен на рис. 3.2.



Рис. 3.1. Водоем-копань в верховье канала Б-3-6 (ПОСМЗиЛ)

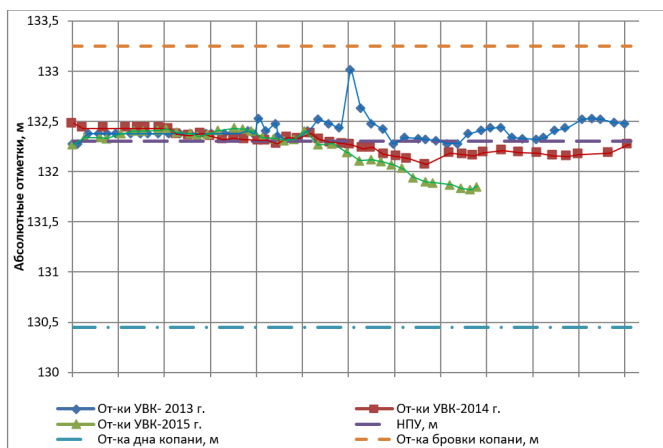


Рис. 3.2. Гидрологический режим уровней воды в водоеме-копани в верховье канала Б-3-6 на ПОСМЗиЛ

Анализируя формирование уровня воды в водоеме-копани за два года (2013 и 2014) следует отметить, что он не опускался ниже 1 м от бровки в копани на протяжении всего года и глубина воды в копани была больше 3 м. Этот объем может быть использован для орошения сельхозугодий.

Вопрос комплексного использования водоемов требует детальной проработки с учетом экологических и экономических факторов.

Водоемы-копани могут устраиваться в замкнутых понижениях как на торфяно-песчаных почвах в регионе Полесья, так и на землях со слабопроницаемыми почвами. В условиях холмистого рельефа на лессовидных почвах копани устраиваются обычно в «блюдцах-понижениях», и этот прием считается одним из способов осушения таких почв. На опытно-производственном объекте с западинным рельефом в СПК «Мазоловский» Мстиславского района Могилевской области мелиорация участка земель площадью 10,7 га осуществлена выборочным дренажем в сочетании с аккумуляцией поверхностного и дренажного стока водоемами-копанями (метод Ф. К. Куропатенко) (рис. 3.3 и 3.4) и устройством коллекторов. Мелиоративная система включала в себя две обширные западины площадью до 1,0 га, заросшие древесно-кустарниковой растительностью, и прилегающие к ним понижения площадью до 6,0 га.



Рис. 3.3. Водоем-копань в год строительства в СПК «Мазоловский»



Рис. 3.4. Водоем-копань после четырех лет эксплуатации в СПК «Мазоловский»

Объем водоемов-копаней составляет 9,16 тыс. м³. Для обеспечения бесподпорной работы впадающих в копани дренажных систем устроен сбросной коллектор длиной 0,5 км, отводящий воду из копаней в магистральный канал С-1. Длина закрытой регулирующей

сети, впадающей в водоемы, составляет 5,1 км, проводящей – 0,7 км. На участке проведены мероприятия по организации поверхностного стока [47]. Достоинство данного способа – аккумуляция воды для создания микроклимата прилегающей территории. Следует подчеркнуть, что за все время существования водоемов с 2006 года они никогда не пересыхали.

На торфяных почвах с глубокими (более 0,7 м) западинами, где в паводок скапливается поверхностный сток, проблему улучшения водного режима предлагается решать посредством устройства в понижениях многофункциональных копаней, вода из которых может использоваться и в противопожарных целях.

Постоянное наличие воды в копани смягчает действие всех типов заморозков и засух в случае их возникновения, т. к. вода, имея высокую удельную теплоемкость, уменьшает амплитуды суточных колебаний температуры, повышает влажность воздуха и обеспечивает устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды.. Для того чтобы смягчить негативное влияние природных явлений в экстремальных погодных условиях, необходимо создать определенный резерв влаги на сельскохозяйственных землях в виде водоемов с удельной площадью открытой поверхности воды не менее 35–40 м²/га [93]. Это должна быть сеть водоемов, обеспечивающая минимальный резервный запас воды, эквивалентный 100 мм осадков на гектар.

3.3. Повышение эффективности работы дренажа на базе новых конструктивных элементов

Исследования последних лет показывают, что горизонтальный дренаж при осушении слабоводопроницаемых почв не всегда может обеспечить водный режим, требуемый для ведения интенсивного сельскохозяйственного производства. Основными причинами переувлажнения мелкозалежных торфяников с наличием слабоводопроницаемых прослоек и низким коэффициентом фильтрации торфяников являются неблагоприятные водно-физические свойства почвенного профиля, наличие замкнутых микро- и макропонижений, в которых застаиваются атмосферные осадки и талые воды. В большинстве случаев дренаж не в состоянии обеспечить своевременный отвод поверхностных вод без дополнительных агрометеорологических, агротехнических и гидротехнических мероприятий [142], однако достоверно не установлено,

как влияет фильтрационная способность элементов закрытого дренажа на эффективность его работы. На слабоводопроницаемых почвах основная масса избыточной воды образуется на границе пахотного и подпахотного слоев и поступает в дрены преимущественно по стенкам дренажной траншеи (эффект пристенной боковой фильтрации). Полевыми исследованиями Густафсона [49] и опытами СевНИИГиМа установлено, что в слабоводопроницаемых грунтах вследствие низкой водопроницаемости подпахотного слоя с коэффициентом фильтрации порядка 0,005 м/сут основная масса избыточной воды – 43 % – поступает в дрены по пахотному слою, 28 % – по поверхности и 29 % – по подпахотному [77]. Таким образом, можно констатировать, что обеспечение истечения воды из пахотного слоя оказывает большое влияние на формирование дренажного стока. В таких грунтах имеет место и эффект пристенной боковой фильтрации вдоль стенок дренажной траншеи, поскольку они являются границей между нарушенным грунтом и грунтом, находящимся в естественном состоянии.

Большое влияние на дренажный сток имеет и глубина промерзания грунта. Чем меньше глубина промерзания, тем раньше начинается сток из дрен, тем быстрее достигается требуемый водный режим на осушаемой площади.

Конструкция «Дренажное устройство». Реконструкция осушительных систем требует тщательного учета опыта проектирования и эксплуатации мелиоративных объектов в предшествующий период и применения новых перспективных, экономически оправданных решений. Одним из конструктивных решений является «Дренажное устройство» (патент ВУ 15513) [51], предназначенное для повышения эффективности осушения за счет увеличения водопримной способности дрен. Достигается это путем устройства в дренажной траншее вертикально расположенного пристенного фильтра из геотекстильного материала на всю глубину траншеи, который усиливает самопроизвольно возникающий эффект пристенной боковой фильтрации в дренажной траншее. Такая конструкция создает искусственную гидравлическую связь подпахотного горизонта с дренажной трубой, обеспечивая увеличение притока поверхностной воды к дрене за счет продольной фильтрации по геотекстильному материалу при коэффициенте продольной фильтрации, как минимум в 10 раз превышающем коэффициент фильтрации грунта. Фильтрующее геотекстильное полотно устанавливается с одной или

двух сторон дренажной траншеи по всей ее длине или прерывисто. Схема конструкции приведена на рис. 3.5.

Дренажное устройство работает следующим образом: поверхностная вода поступает через пахотный горизонт 1 в засыпку 6 дренажной траншеи вынутым грунтом. Поскольку грунт слабопроницаемый, основное количество воды фильтрует через геотекстильное полотно 5, имеющее на дне дренажной траншеи горизонтальный участок 4, посредством которого вода попадает в пластмассовую дренажную трубу с защитно-фильтрующим материалом 3 и отводится в водоприемник. Устройство также служит для отвода излишков воды из дренажной засыпки 6. Высокий коэффициент продольной фильтрации элемента 5 обеспечивает быстрый отвод избыточных вод с поверхности и из корнеобитаемого слоя почвы.

а) Одностороннее расположение б) Двухстороннее расположение

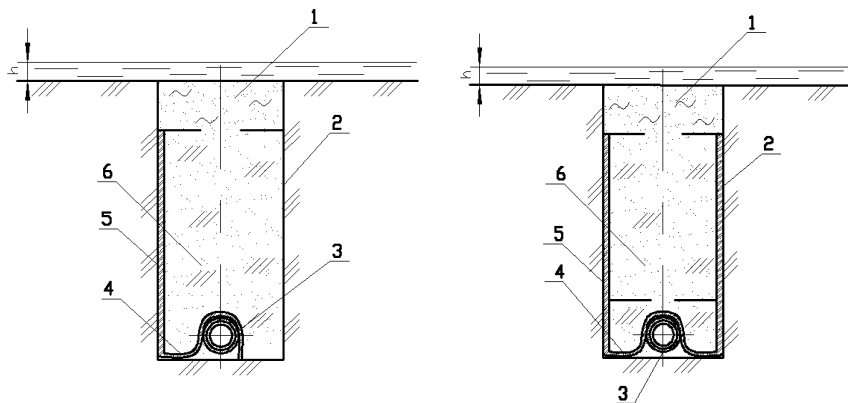


Рис. 3.5. Схема конструкции «Дренажное устройство»:

1 – пахотный горизонт; 2 – стенки дренажной траншеи; 3 – дренажная труба;
4 – горизонтальный участок; 5 – пристенный фильтр; 6 – траншейная засыпка

Применение данного устройства при осушении слабопроницаемых грунтов существенно усилит осушительное действие дренажа и уменьшит затраты на строительство, поскольку не потребуются строительства дорогостоящих водопоглощающих колонок или засыпок дренажных траншей фильтрующим материалом. Оно может быть использовано и в других грунтах, где требуется быстрый отвод поверхностной воды.

Конструкция «Дренажное устройство» с пристенным фильтром из геотекстиля АкваСпан Ф-И-120 была испытана в лабораторных условиях в грунтовом лотке с торфом. В результате определена водопримная способность дрены с пристенным фильтром и без него. На графике (рис. 3.6) приведены результаты испытаний. Водопримная способность дренажной трубы с пристенным фильтром на 20–30 % выше, чем без него. Так, при равном напоре воды над дренажной трубой в 28 см расход воды из дрены без пристенного фильтра составил 0,39 м³/сут, а с ним – 0,50 м³/сут, т. е. увеличение расхода составило 22 % [71].

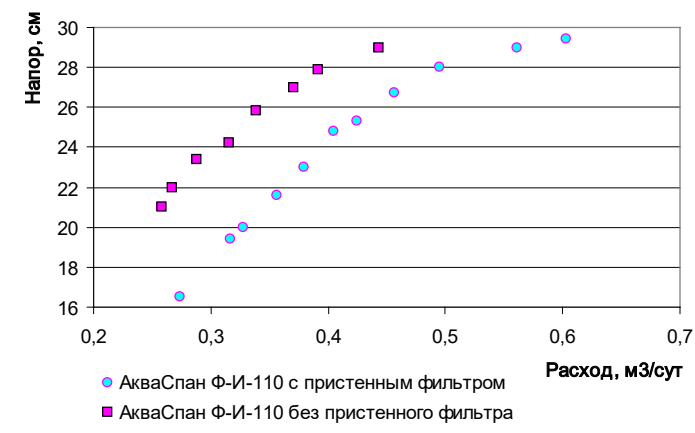


Рис. 3.6. Водопримная способность 1 м дренажной трубы в торфе с «Дренажным устройством»

Конструкция была апробирована на опытно-производственном участке «Волма» Минского района. Пристенный фильтр устраивался из геотекстильного материала Гронема И-150-С (дрена 33) и геотекстильного материала ПИНЕМА Т-150 (дрена 23). Полотно крепилось к стенке траншеи деревянными спицами. На рис. 3.7 приведены фрагменты строительства дрен с пристенным фильтром из геотекстильного материала.

На участке «Волма» в составе почвенного покрова ранее мелиорированных земель торфяно-болотные почвы низинного типа занимают большую часть осушаемой территории. Мощность торфяной залежи различная по участкам, максимальная – 1,5 м. Торф на объекте подстилается, в основном, мелкозернистыми песками, иногда супесью

сизой. Минеральные почвы распространены на повышенных элементах рельефа и представлены дерново-глееватыми, дерново-глеевыми супесчаными, дерново-подзолистыми глеевыми супесчаными и песчаными почвами различной степени заболоченности.

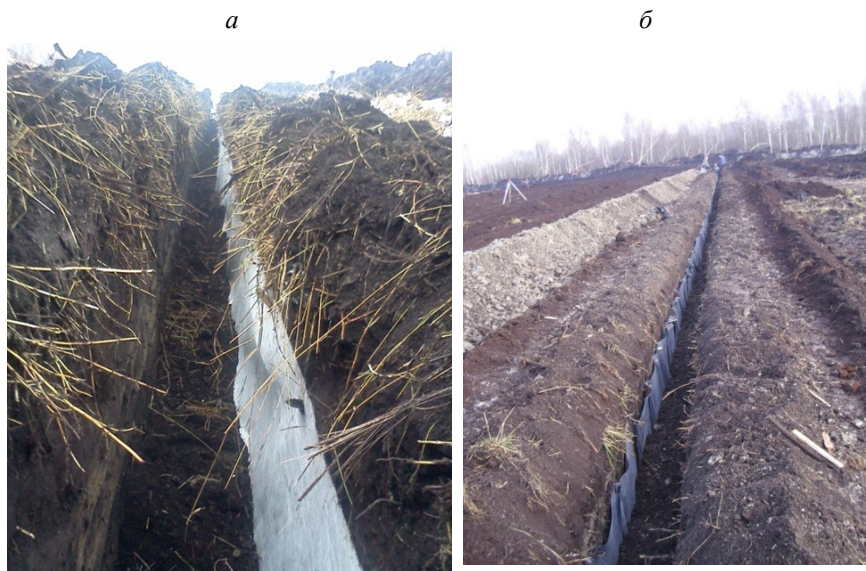


Рис. 3.7. Дрены с пристенным фильтром на объекте «Волма», 2011 год:
а – дрена 23, геотекстильное полотно ПИНЕМА Т-150;
б – дрена 33, геотекстильное полотно Гронема И-150-С

По завершении укладки в траншею дренажной трубы экскаватором-дреноукладчиком ЭТЦ 202 была проведена контрольная нивелировка дренажных траншей с указанием глубин торфа в каждой точке замеров (рис. 3.8, 3.9). Как видно из рисунков, одиночные дрены располагаются ниже торфяной залежи. Дрена 33 с защитно-фильтрующим материалом и пристенным полотном из геотекстиля Гронема И-150-С расположена в супеси сизой пылеватой, являющейся грунтом с низким коэффициентом фильтрации ($k_{\text{ф}} = 0,3-0,08$ м/сут), или в песке мелком ($k_{\text{ф}} = 0,5-1,0$ м/сут). Полотно укладывалось в дренажную траншею до присыпки трубы растительным грунтом (Гронема И-150-С) или раскатывалось в траншее сплошного рулона высотой 1,5 м (ПИНЕМА Т-

150). Полотно крепилось к стенке дренажной траншеи деревянными кольшками вверху через 1 метр, отступая ниже 30 см от бровки траншеи под вспашку. Крепление выполняли двое рабочих, из которых один держал полотно, а второй забивал кольшки. После выполнения крепления и укладки нижней части полотна поверх дренажной трубы с фильтром для создания гидравлической связи между полотном и трубой оно присыпалось растительным грунтом вручную на высоту 20–25 см над трубой. Обратная засыпка дренажной траншеи бульдозером марки ДЗ-28 на базе трактора Т-130 производилась подсушенным грунтом не ранее, чем через 3 дня при отсутствии осадков.

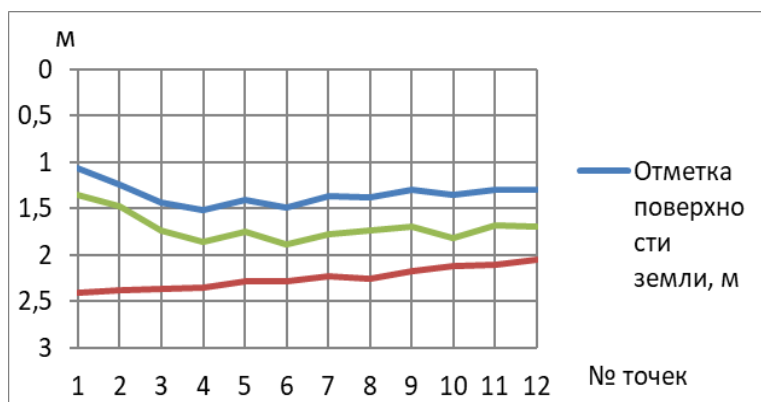


Рис. 3.8. Продольный профиль дрена 33 на объекте «Волма», 2011 год

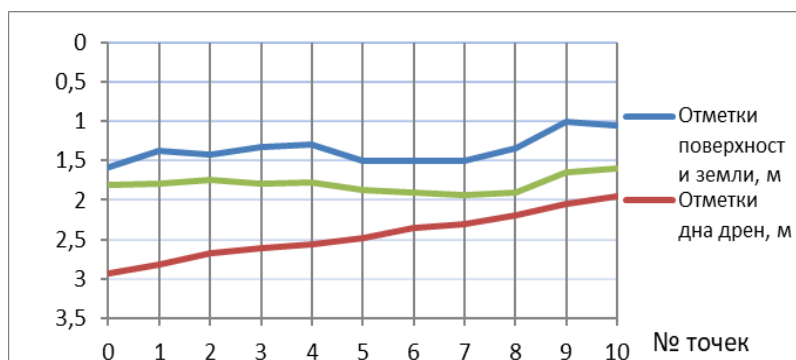


Рис. 3.9. Продольный профиль дрена 23 на объекте «Волма», 2011 год

После завершения процесса строительства, начиная с первого года эксплуатации, на участке велись наблюдения за величиной дренажного стока, по которому был рассчитан модуль дренажного стока. Максимальный модуль стока дрены 33 с пристенным фильтром Гронема И-150-С составил 0,24 л/(с·га), дрены 23 с пристенным фильтром ПИНЕМА Т-150 – 0,44 л/(с·га). Дрены с такой же маркой защитно-фильтрующего материала, но без пристенного фильтра имели максимальный модуль дренажного стока – 0,12 и 0,18 л/(с·га) соответственно, откуда следует, что при одинаковых природных условиях пристенный фильтр существенно повышает эффективность осушения, увеличивая более чем в два раза модуль дренажного стока [71].

Конструкция «Дренажное водопоглощающее устройство». Разработана конструкция «Дренажное водопоглощающее устройство» (патент 17924 ВУ) [50], предназначенное для отвода поверхностных и грунтовых вод из замкнутых бессточных понижений и осушения переувлажняемых почв полей.

Устройство состоит из перфорированных пластмассовых труб с защитно-фильтрующим материалом, расположенных на двух уровнях по высоте траншеи, геотекстильного полотна и терморегулирующего элемента. При этом на ряду с геотекстильным полотном могут применяться геокомпозитные дренажные маты, уложенные вертикально вдоль стенок дренажной траншеи. Расположенные в двух ярусах дренажные трубы соединены вертикальной вставкой, а терморегулирующее устройство соединяет дренажную трубу верхнего яруса с изотермическим слоем почвы ниже двух глубин ее промерзания.

На рис. 3.10 показано дренажное водопоглощающее устройство (вид А, план и разрез Б-Б). Устройство включает в себя перфорированную трубу 1 верхнего яруса, покрытую фильтрующим материалом 2, перфорированную трубу 7 с фильтрующим покрытием. Труба 7 соединена с дренажной трубой 8, отводящей поступающие в устройство поверхностно-грунтовые воды. Торцы трубы 1 верхнего яруса закрыты заглушкой 3. Для увеличения притока воды к дрене в пределах водопоглощающего устройства по стенкам дренажной траншеи укладывают геокомпозитный дренажный мат 5, который имеет ядро из полимерного материала и с двух его сторон фильтрующий нетканый материал из геотекстильного полотна. Вверху траншеи мат

укладывается в виде сплошной ленты 6 по дну ниши, представляющей собой выемку грунта определенного объема над дренажной траншеей. В нижней части траншеи дренажный мат 5 выводится на дренажную трубу 7. Терморегулирующий элемент состоит из трубы 9, которая присоединяется к трубе 1 вверху траншеи и опускается ниже дна траншеи в шурф 10 диаметром 30–35 см глубиной не менее двух глубин промерзания почвы в данном регионе. Для предотвращения обрушения стенок шурф заполняется фильтрующим материалом 12. Над траншеей устроена ниша 13 для сбора поверхностной воды 14, заполненная грунтом пахотного слоя.

Устройство работает следующим образом: весной во время снеготаяния и в вегетационный период летом после ливневых дождей в замкнутых понижениях на поверхности почвы скапливается вода 14, образуя лужи и переувлажненные участки. Водоприемная способность устройства обуславливается количеством воды, поступающей в перфорированные трубы двух горизонтов и вертикальную трубу, их соединяющую. Для увеличения водоприемной способности устраивается ниша 13 глубиной 0,3–0,4 м. Ниша засыпается пахотным грунтом или песком (песчано-гравийной смесью). Просачиваясь через пахотный слой или фильтрующую засыпку ниши в пределах водопоглощающего устройства, вода попадает через перфорационные отверстия в трубу 2 и сразу же отводится через вертикальную вставку в нижний ярус дренажных труб. Одновременно вода поступает из траншейной засыпки в трубу 4 и горизонтальную трубу 7 и дальше отводится в дренаж 8. Таким образом, труба 2 перехватывает в верхней части устройства просачивающийся поток воды, поступающий с поверхности, и повышает интенсивность ее удаления, увеличивает скорость осушения.

Укладка матов 5 по стенкам траншеи, которые имеют высокий коэффициент продольной фильтрации, способствует также интенсивному отводу поверхностных и грунтовых вод, поступающих по траншейной засыпки и путем пристенной фильтрации, особенно в слабопроницаемых минеральных почвах. Терморегулирующий элемент работает следующим образом. Зимой почва промерзает на определенную глубину. Тепло изотермического слоя почвы поступает в шурф 10 и поднимается вверх по трубе 9 в трубу 1, проникая в фильтрующий слой 13, и препятствует его промерзанию. Таким образом, скапливающаяся на поверхности талая вода 14 значитель-

но быстрее, чем на прилегающей территории, проникает через фильтрующую засыпку в горизонтальную трубу 1 и отводится в дрены 7 и 8 и сбрасывается в водоприемник.

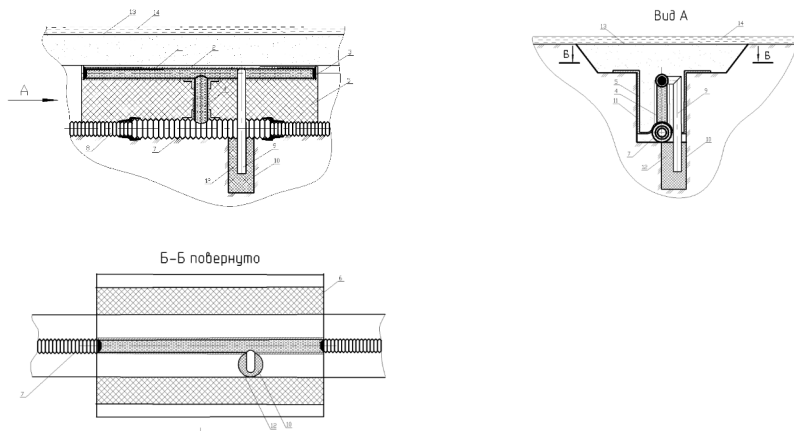


Рис. 3.10. Схема водопоглощающего дренажного устройства (патент ВУ17924)

За счет предотвращения промерзания грунта с поверхности почвы повышается интенсивность поступления поверхностных вод в дренаж, что способствует эффективности осушительного действия мелиоративной системы.

Конструкция «Устройство для осушения бессточного понижения». Увеличение объема сброса избыточных поверхностных и почвенно-грунтовых вод из замкнутых бессточных понижений может быть достигнута разработанным конструктивным решением, приведенным в патенте «Устройство для осушения бессточного понижения» (патент ВУ 20385) [179].

Сущность изобретения поясняется чертежом (рис. 3.11). Устройство включает колодец-поглотитель 1, выполненный из перфорированной трубы, обернутый двумя слоями фильтра 2 из волокнисто-пористого полиэтиленового материала различной пористости, с расположением крупнопористого фильтра на поверхности перфорированной трубы, толщина каждого слоя не менее 4–5 мм. Сверху ко-

лодец имеет перфорированную крышку с фильтром. На глубине от 0,5 до 0,6 м от поверхности к колодцу присоединены четыре лучевые дрены 3, которые устраиваются из пластмассовых гофрированных перфорированных труб с геотекстильным фильтром. Концы лучевых дрен присоединены к вертикальным трубам 6 терморегулирующего элемента с шурфом 5 диаметром 20–25 см. Шурф заполняется синтетическим фильтрующим материалом и расположен на глубине не менее двух глубин промерзания почвы. Дренажные траншеи лучевых дрен заполняются до поверхности фильтрующей засыпкой (песчаной, песчано-гравийной или смесью песка с синтетическими рассыпными материалами). Над колодцем устраивается ниша квадратной формы, центральная часть которой заполняется фильтрующей засыпкой 7 из крупнозернистой фракции (щебень, гравий) в виде усеченной призмы по всей глубине трубчатого колодца. По краям ниша заполняется фильтрующей засыпкой 8 из мелкозернистой фракции – песком. Сброс воды осуществляется по дренажному коллектору 4.

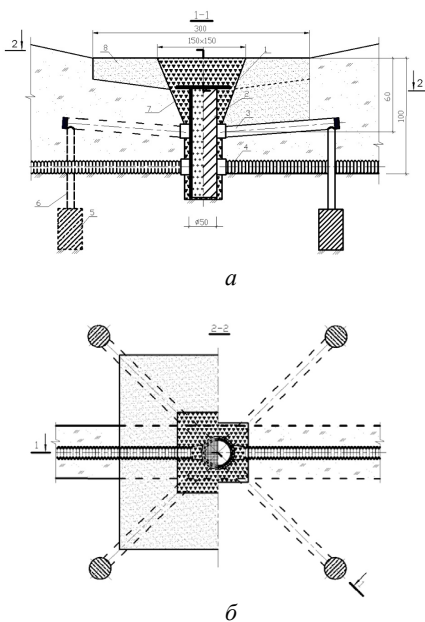


Рис. 3.11. Способ осушения бессточных понижений:
a – разрез 1-1; *б* – план, разрез 2-2

Устройство работает следующим образом. В период снеготаяния и выпадения осадков поверхностная вода скапливается в замкнутых понижениях. Затем она поступает через мелкозернистую и крупнозернистую фракции засыпки в вертикальную трубу колодца-поглотителя. Наличие мелкозернистой фракции в нише предотвращает поступление наносов из понижения в крупнозернистую засыпку и колодец, предотвращая их заиливание. Траншеи лучевых дрен заполнены фильтрующей засыпкой до поверхности почвы для повышения интенсивности осушения. Из колодца-поглотителя вода отводится дренажным коллектором. Работа устройства в значительной степени зависит от глубины промерзания почвы в понижении и времени ее оттаивания. Чем меньше глубина промерзания, тем быстрее начинает работать устройство по удалению воды из понижения. Уменьшению глубины промерзания почвы и повышению эффективности работы колодца-поглотителя способствует терморегулирующий элемент, состоящий из шурфа и вертикальной трубы, по которой тепло изотермического слоя почвы поднимается вверх в лучевые дрены и фильтрующие слои траншейной засыпки, способствуя ее более быстрому оттаиванию.

Скапливающаяся талая вода свободно проникает через фильтрующие засыпки в дрены и колодец-поглотитель. Протяженность дрен устанавливается расчетным путем с учетом фильтрационных свойств грунта, объема аккумуляции поверхностной воды в понижении и времени, необходимого для своевременного ее сброса. Применение лучевых дрен расширяет функциональные возможности устройства по повышению осушительного действия мелиоративной системы в различных природных условиях. Эффект от применения устройства заключается в увеличении интенсивности отвода поверхностных, почвенно-грунтовых вод и повышении осушительного действия мелиоративной системы, обеспечивающей условия для ведения высокоэффективного сельскохозяйственного производства и получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Две последние конструкции требуют разработки технологии их строительства, детальных исследований эффективности применения на дренаже. При проведении реконструкции мелиоративных систем следует учитывать передовой мировой и отечественный опыт, применять новые конструкции, повышающие эффективность действия дренажа.

3.4. Опыт применения выборочного горизонтального дренажа в условиях Полесья

Существенные изменения природно-климатических условий, особенно рельефа местности на торфяниках Полесья, физическое и моральное старение мелиоративных систем, строившихся в 70–90 годы и недостатки в эксплуатации систем, привели к тому, что значительная часть гидромелиоративных систем не отвечает требованиям и условиям для ведения полноценного сельскохозяйственного использования мелиоративных земель. Проблема регулирования водного режима становится все более сложной с учетом необходимого сохранения экологического равновесия природных комплексов, сохранения и восстановления малых рек.

Проблема улучшения водного может быть решена в определенной степени за счет совершенствования конструкций мелиоративных систем с учетом дополнительных расчетных нагрузок и приспособления их к изменившимся природным условиям.

Все эти моменты следует учитывать при реконструкции мелиоративных объектов, особенно в настоящее время, когда значительно увеличиваются объемы мелиоративных работ в Республике.

При разработке проектов реконструкции мелиоративных систем в регионе Полесья РУП «Полесьегипроводхоз» придерживается следующих основных направлений реконструкции: увеличение расстояний между открытыми осушителями с дополнительным устройством дренажа, устройство дополнительной закрытой сети, переустройство открытой сети на закрытую, углубление существующей проводящей сети, строительство дорог и проведение агро-мелиоративных мероприятий.

Анализ качества проектов, разрабатываемых РУП «Полесьегипроводхоз», позволяет сделать по ним ряд замечаний. Наблюдается однообразие предлагаемых проектных решений и направлений реконструкции. В проекты не внедряются новые оригинальные решения. Во многих случаях проектируются старые, малоэффективных конструктивные элементы, не прошедшие длительную апробацию в различных почвенно-гидрологических условиях. Например, в условиях Полесья превалирует способ осушения открытой сетью с расстоянием между осушителями 140–210 м, что не всегда обеспечивает требуемый водный режим на землях с изменившимся рельефом поверхности.

В проектах не приводится классификация и параметры используемых при строительстве материалов – дренажных труб, защитно-фильтрующих материалов, дренажных устьев, что затрудняет впоследствии объективную оценку причин неудовлетворительной работы мелиоративных систем, выявленных в процессе обследования технического состояния.

Мероприятия по организации поверхностного стока состоят в основном в устройстве открытых воронок, выводных борозд, выравнивании кавальеров и планировке территории. В данном случае по условиям большинства объектов хорошей альтернативой мог бы быть выборочный дренаж, дополненный по западинам колодцами и колонками-поглотителями.

Применение выборочного дренажа, закладываемого по понижениям, в значительной степени уменьшает переосушение повышенных элементов рельефа, позволяет создавать более равномерный по площади, чем с открытой регулирующей сетью, водный режим на осушаемой площади, если учесть, что разница во влагозапасах на элементах рельефа отмечается в 3–4 раза. Институтом предложена и апробирована на объекте Полесской опытно-мелиоративной станции техническая схема реконструкции мелиоративной системы на двух участках общей площадью 500 га на базе выборочного полиэтиленового дренажа с колонками-поглотителями и фильтрующей засыпкой синтетическим материалом кнопис из отходов легкой промышленности [25].

Системы с выборочным дренажем по своей конструкции можно приравнять к системам с одиночным дренажем, которые наиболее просты в эксплуатации, чем коллекторно-дренажные системы, в особенности по их промывке и обнаружении их местоположения [26].

Протяженность традиционного систематического дренажа принимается в проектах порядка 0,40 км/га, что на 0,20 км/га больше, чем рекомендуемого выборочного дренажа на системе ПОСМЗиЛ.

На основании фактических данных по проектированию и эксплуатации систем с выборочным пластмассовым дренажем с дополнительными элементами на участках площадью более 500 га на ПОСМЗиЛ предлагается расчет стоимости 100 га реконструкции открытой сети на дренаж (самотечная система) (табл. 3.1). Стоимость единицы показателей объемов работ принята по данным РУП «Полесьегипрводхоз».

Таблица 3.1

Реконструкция открытой сети на дренаж (самотечная система) – вариант РУП «Институт мелиорации», млн. руб. (цены 2006 г.)

Объемы работ	Количество	Стоимость единицы	Общая стоимость
1. Открытая сеть, км	2	18	36
2. Закрытая сеть (выборочный дренаж), км	20	5,5	110
3. Водоприемники с сооружениями, км	1,5	25	38
4. Сооружения – всего, шт.	2	20	40
5. Дороги ($B = 6,5$ м, без усовершенствованного покрытия), км	1	120	120
6. Культуртехнические работы с организацией поверхностного стока, га	96	1,1	106
Всего			450

Рекомендуемые объемы и виды работ приняты исходя из разрабатываемых принципиальных схем и данных проектов реконструкции мелиоративной системы ПОСМЗиЛ.

Протяженность закрытой сети, равная 20 км, принята с запасом на сложность природных условий объектов реконструкции.

Стоимость реконструкции мелиоративной системы на 100 га с заменой открытой сети на дренаж по варианту РУП «Полесьегипроводхоз» составит 5,43 млн. руб./га, т. е. на 20 % дороже. Протяженность вновь устраиваемой закрытой сети 30 км и открытой сети 3 км. Экономический эффект от применения выборочного дренажа составит 0,93 млн. руб./га в ценах 2006 года.

Для оценки эффективности работы выборочного дренажа на опытном участке ПОСМЗиЛ были организованы с 2006 года систематические наблюдения за формированием водного режима. Этот период характеризовался наличием ежегодных неблагоприятных периодов в вегетационный период.

Так, в 2006 году четыре месяца вегетационного периода были умеренно-засушливыми, а август – чрезмерно дождливым, в 2007 году также четыре месяца засуха, июль катастрофически дождливый, в 2009 году в июне осадков выпало 222 % от нормы. Таким образом, период наблюдений характеризовался повышенной неустойчивостью погодных условий. Системы работали в более напряженных условиях.

Величины максимальных значений модулей стока на опытных дренажных участках колебались в пределах 0,18–0,50 л/(с·га). В течение

периода активной вегетации уровни грунтовых вод на первом участке находились на глубине 50–100 см от поверхности земли, на втором – 116–140 см и были близкими к верхней границе величин наиболее без-опасного диапазона изменения УГВ (80–120 см) для возделываемых культур зернопропашного севооборота. На обоих участках в условиях влажного вегетационного периода влагозапасы в пахотном и корне-обитаемом слоях находились в оптимальных пределах 0,7–1,0 наименьшей влагоемкости (НВ). Наблюдения показали, что в периоды обильных дождей на площади участков в понижениях мезорельефа не наблюдалось образование луж и переувлажнения почвы.

Опыт эксплуатации системы показал, что применяемые на участке реконструкции элементы быстрого действия (выборочный дренаж и колонки-поглотители) зарекомендовали себя работоспо-собными и эффективными, обеспечивали своевременный отвод из-быточных вод из понижений без переосушения повышенных эле-ментов рельефа, создавая тем самым благоприятные условия для получения высокой урожайности сельскохозяйственных культур. Продуктивность земель на участках реконструкции была в 2–3 раза выше их продуктивности до реконструкции (табл. 3.2).

Исследования формирования водного режима на участках ре-конструкции мелиоративной системы ПОСМЗиЛ с выборочным горизонтальным дренажем, проведенные в различных погодных условиях, показали высокую эффективность и надежность систем выборочного дренажа с колонками-поглотителями. Эту конструк-цию следует рассматривать как одну из перспективных направле-ний реконструкции в регионе Полесья.

Таблица 3.2

Продуктивность земель на участках реконструкции мелиоративной системы ПОСМЗиЛ, ц/га к. ед.

Наименование участков	До рекон- струкции (2003 г.)	После реконструкции		
		2007 г.	2008 г.	2009 г.
Участок реконструкции № 1	31,7	67,8	70,5	63,7
Участок реконструкции № 2	28,6	57,3	88,1	83,4

4. РЕКОНСТРУКЦИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ

4.1. Основные направления и требования к проектированию реконструкции мелиоративных систем

Разрабатываемые в настоящее время схемы реконструкции мелиоративных систем в большинстве случаев слабо учитывают изменяющиеся природные условия, в том числе участвовавшие погодные катаклизмы. Необходима разработка схем реконструкции мелиоративных систем, в которых следует предусматривать такой технический уровень мелиоративной системы, который может обеспечивать нормативный срок окупаемости капитальных вложений в реконструкцию, гарантирует получение расчетной урожайности, несущественно зависимой от климатических условий.

На практике при реконструкции большинства объектов наиболее распространенными способами являются замена открытой сети на закрытую при одновременном углублении открытых проводящих каналов, замена существующих осушителей, планировка площадей, переустройство труб-переездов, магистральных каналов, дополнительного строительства дорог и проведение агро-мелиоративных мероприятий, при этом некоторые из них связаны с большими трудозатратами.

При разработке схем реконструкции в условиях Полесья необходимо учитывать требования надежности и эффективности конструктивных элементов мелиоративных систем и основные положения и направления по их проектированию.

Современные закрытые дренажные системы должны обеспечивать возможность проведения ремонта и эксплуатации, а также выполнение всех ремонтных работ при минимальных затратах ресурсов, наиболее полно использовать потенциал осушительного и увлажнительного действия каналов с целью создания более равномерного водного режима на системе.

При реконструкции мелиоративных систем с открытой осушительной сетью необходимо предусматривать мероприятия по отводу поверхностных вод, включающие:

- засыпку старых ликвидируемых каналов, староречий, ям и др.;
- выравнивание участков и планировку площадей длиннобазовым планировщиком;

– раскрытие «блюдец» с частичной их засыпкой до отметок, обеспечивающих самотечный сброс воды;

– разравнивание бERM до отметок на прилегающей к ним площади и устройство открытых воронок.

При осушении понижений глубиной до 50 см необходимо предусматривать устройство в них колонок и колодцев-поглотителей с горизонтальным дренажем.

На торфяниках с наличием слабоводопроницаемых прослоек на глубине 0,3–0,5 м с коэффициентом фильтрации $k_{\text{ф}} \leq 0,5$ м/сут следует предусматривать рыхление почвы в местах застаивания поверхностных вод.

Одним из эффективных способов при реконструкции систем на сработанных торфяниках является применение выборочного горизонтального дренажа, устраиваемого по наиболее переувлажненным, пониженным участкам площади (как правило, это торфяники) по всему объекту реконструкции с дополнительными водоотводящими устройствами (колонки и колодцы-поглотители) в замкнутых понижениях, которые подключаются к дренам.

При переустройстве дренажа необходимо применять только пластмассовые гофрированные дренажные трубы с высокой их водопримной способностью. Площадь входных отверстий труб должна составлять 25–40 см²/м в зависимости от диаметра труб. Для защиты дрен от заиливания могут использоваться синтетические и органические материалы, которые должны иметь коэффициент фильтрации материала под нагрузкой 20 кПа не менее 45 м/сут. Синтетические фильтры могут подвергаться механической и химической кольматации, существенно влияющей на водопримную способность дрен. Химическая кольматация не связана с видом защитного фильтра [137]. Ряд исследователей отмечают значительное уменьшение водопримной способности дрен с увеличением срока эксплуатации. Например, Э. Х. Эглий [163] установил, что холсты стекловолоконистые уменьшают в процессе эксплуатации пропускную способность в 5–30 раз. Сохранить работоспособность дренажа на длительное время можно путем правильного подбора материалов для соответствующих грунтовых условий. Во всех случаях рекомендуется сплошная обертка пластмассовых труб.

Наиболее распространенной на мелиоративных системах Польсы является регулирующая сеть из малоуклонного и безуклонного дренажа из керамических и полимерных труб.

Глубина закладки регулирующих дрен с уклоном меньше нормативного (0,002) назначается в пределах 0,8–1,2 м от поверхности почвы до верха трубы и выбирается из условия заложения дрены в хорошо проницаемом грунте. Не рекомендуется закладывать дрены в слабопроницаемых прослойках.

Как показала практика, при устройстве на объектах реконструкции выборочного дренажа, располагаемого между открытыми каналами, расстояние между ними следует назначать в пределах 450–500 м с уточнением по расчету.

Если недостаточна глубина коллектора, то следует проектировать новый коллектор, параллельный существующему на требуемой глубине, и к нему подключать как вновь устраиваемые, так и существующие дрены. Во избежание заиливания нового коллектора при подключении существующих дрен их подсоединяют не непосредственно к коллектору, а через фильтрующую засыпку.

Заиливание труб существенно уменьшает их пропускную способность и отражается на уменьшении площади осушения данным коллектором. Так, при заиливании труб на 30 % площади сечения пропускная способность их уменьшается на 45 %, при заиливании на 50 % – на 70–75 %. Заиливание диаметра на 70 % уменьшает пропускную способность труб на 90 %, т. е. система уже не работоспособна. Площадь осушения систем при данных величинах заиливания коллектора уменьшается на 50, 75 и 85 % соответственно.

Наиболее опасными в отношении механического заиливания дрен являются мелкозернистые и пылеватые песчаные грунты, а также легкие супеси, в которых в зависимости от насыщения водой существенно изменяются водно-физические и механические свойства. К этой категории относятся и сильноразложившиеся торфяники с наличием аморфного торфа (бузы). Способы защиты его от заиливания зависят от степени разложения торфа с учетом его ботанического состава, наличия в нем аморфного торфа и минеральных пылеватых частиц.

На практике, к сожалению, эти требования повсеместно не выполняются, что в конечном итоге сказывается на эффективности работы дренажа.

При устройстве дренажа в торфяниках кроме механического заиливания существует опасность его заохривания. При содержании закисного железа в грунтовых водах до 3 мг/л каких-либо дополни-

тельных мероприятий по предупреждению отрицательного влияния железистых соединений не требуется.

Если содержание закисного железа в грунтовых водах более 3 мг/л, необходимо предусматривать меры по предупреждению заиливания дренажа от заохривания – внесение ингибиторов в траншейную засыпку, увеличение уклонов дрен до 0,005–0,007, которые, однако, при длительной эксплуатации дренажа не дают должного эффекта.

Для предупреждения заохривания дренажа в этих условиях целесообразно проектировать и строить его безуклонным, чтобы он работал только в напорном режиме, что позволяет ограничить поступление воздуха в полости дрен и способствует выносу закисного железа из дрен в канал, где оно, соединяясь с воздухом, выпадает в осадок.

Необходимо предусматривать в этих же целях и устройство постоянно затопленных устьев коллекторов (можно рекомендовать устья конструкции П. И. Закржевского и Н. К. Вахонина).

Одним из условий предотвращения отложений охры на стенках трубопровода является устройство перфорационных устройств шириной не менее 2 мм.

Эффективным мероприятием по восстановлению работоспособности дренажа при его заохривании является механическая очистка устьев дрен после прохождения весеннего паводка, а также импульсная промывка дрен 2–3 раза за вегетационный период.

Выполнение рекомендуемых мероприятий и требований к проектированию позволит производить реконструкцию систем с наименьшими затратами и высокой эффективностью их осушительного действия.

4.2. Способы реконструкции мелиоративных систем в Белорусском Полесье

Реконструкция мелиоративной системы состоит в переустройстве осушительной сети или ее элементов на новую техническую основу, при которой выполняется комплекс мероприятий, направленных на изменение способа осушения, конструкции, основных параметров осушительной сети и других элементов осушительной системы.

Горизонтальный дренаж является одним из способов мелиорации на объектах реконструкции. Выборочный горизонтальный дренаж – это локально расположенные по пониженным, наиболее увлажненным участкам, одиночные дрены или отдельные дренажные системы.

Осушительная сеть подлежит реконструкции при ее физическом или моральном износе, изменении характера использования участка (например, вместо сенокоса участок планируется использовать под пашню), изменении элементов осушительной сети из-за природных условий или хозяйственной деятельности человека.

Закрытая осушительная сеть при замене ею открытой сети проектируется с учетом изменившихся природных условий на объекте с начала эксплуатации.

Существенное изменение рельефа поверхности с образованием многочисленных замкнутых понижений обусловлено осадками и сработкой торфа. При реконструкции объектов на антропогенно-преобразованных торфяниках основным направлением проектирования является применение выборочного дренажа в сочетании с дополнительными инженерными и агро-мелиоративными мероприятиями, обеспечивающими своевременное удаление поверхностных и грунтовых вод.

Одним из основных требований при проектировании реконструкции мелиоративных систем является обеспечение одинаковых условий для ведения сельскохозяйственного производства на поле (гомогенизация). Относительно одинаковый водный режим обеспечивается дифференциацией междренных расстояний соответственно степени переувлажнения и грунтовых условий. Наиболее полно этим требованиям отвечает выборочный горизонтальный дренаж с дополнительными водопоглощающими элементами и агро-мелиоративными мероприятиями.

Оценка мелиоративного состояния объектов реконструкции.

Качество осушения и мелиоративное состояние земель оценивается степенью соответствия нарушенного водного режима почв требуемому. Отклонения существующих характеристик водного режима почвы от нормативных могут быть вызваны несовершенством конструкций осушительной системы, ошибками, допущенными при ее проектировании и строительстве, недостатками в эксплуатации системы и при сельскохозяйственном использовании осушаемых земель.

Для оценки мелиоративного состояния земель можно выделить следующие показатели:

– *оптимальная влажность почвы*, которая для большинства культур колеблется в пределах 55–85 % наименьшей влагоемкости *НВ*;

– *норма осушения* – переменная во времени глубина залегания грунтовых вод, обеспечивающая создание требуемого водного режима, необходимого для ведения интенсивного сельскохозяйственного производства;

– *допустимое время отвода поверхностных вод* – основной показатель, характеризующий режим осушения. Весной не допускается затопление зерновых культур, луга могут быть затоплены на 5–10 суток в зависимости от вида трав, летом после ливневых дождей вода с поверхности должна быть отведена за время от 0,5 (для зерновых культур) до 1–1,5 сут (для многолетних трав). Слой почвы мощностью 50 см должен быть освобожден от гравитационной воды за 2–5 сут.

На основании вышеизложенного оценку мелиоративного состояния осушаемых земель рекомендуется проводить по двум критериям – норме осушения и допустимому времени отвода поверхностных вод.

В качестве показателя мелиоративного состояния осушаемых земель может служить урожай выращиваемых культур.

Простейшим методом оценки мелиоративного состояния земель является «экспресс-метод», включающий визуальный осмотр состояния растительности на осушаемой площади, состояния осушительной сети и застоя поверхностных вод.

Основными причинами необходимости проведения реконструкции мелиоративных систем являются:

– переувлажнение земель в предпосевной и посевной периоды, обуславливаемое высоким залеганием уровней грунтовых вод, невозможность своевременного проведения на них сельскохозяйственных работ;

– наличие вымочек площадью 10–15 % от всей осушенной территории.

Оценка технического состояния и работоспособности мелиоративных систем. Техническое состояние каналов считается нор-

мальным, когда обеспечивается водный режим на осушаемой территории, выдержаны проектные параметры, русло свободно от растительности и наносов, кавальеры разровнены, откосы выровнены и очищены от древесно-кустарниковой растительности, по бермам каналов устроены водосбросные воронки для отвода поверхностных вод с полей, на каналах имеются скотоперегоны, пешеходные мостики и другие сооружения.

Техническое состояние и работоспособность закрытых дренажных систем обуславливается их водоотводящей и водоприемной способностью. Водоотводящая (транспортирующая) способность характеризует способность дрен и коллекторов своевременно отводить поступающую в них почвенно-грунтовую воду, зависит от диаметра и конструкции труб, уклона дренажных линий, состояния внутренней поверхности, степени заиления, отсутствия поврежденных труб и подпора в устьях.

Показателем нормальной водоотводящей способности является безнапорный характер движения воды в дренах. Фонтанирование воды из дрен, коллекторов или выклинивание на поверхность указывает на неисправность, для чего необходимо установить состояние труб ниже места фонтанирования. Возможные причины неисправности: неправильное определение диаметра труб, местные заиления полости наносами, повреждения их (деформация, разрушение и другие дефекты).

При заилении коллектора следует производить его промывку, предварительно установив и ликвидировав причины, вызвавшие его заиление. При неэффективности промывки следует проводить переустройство всего коллектора.

Основные положения по проектированию объектов реконструкции. При реконструкции мелиоративных систем необходимо учитывать специфические рельефные, почвенно-геологические и экологические условия, наличие слабоводопроницаемых прослоек в понижениях, ограничение возможности углубления проводящей сети каналов в связи с необходимостью демонтажа и реконструкции русловых сооружений, насосных станций. Современные закрытые дренажные системы на объектах реконструкции должны удовлетворять следующим требованиям:

– ускоренного отвода поверхностных вод;

– максимального использования потенциала осушительного и увлажнительного действия каналов с целью создания равномерного по площади водного режима на системе;

– осушения понижений глубиной до 50 см путем устройства в них колонок и колодцев-поглотителей преимущественно в сочетании с горизонтальным дренажем;

– рыхления почвы в местах застаивания поверхностных вод на торфяниках при наличии на глубине 0,3–0,5 м слабоводопроницаемых прослоек с коэффициентом фильтрации $k_f \leq 0,5$ м/сут м;

– устройства регулирующей сети преимущественно из малоуклонного и безуклонного дренажа с полимерными трубами в условиях Полесья;

– обеспечения глубины закладки регулирующих дрен в пределах 0,8–1,2 м от поверхности почвы, а в понижениях глубиной более 0,3 м – 0,6–0,7 м;

– назначения расстояния между каналами в пределах 450–500 м с уточнением по расчету при устройстве выборочного дренажа на объектах реконструкции, располагаемого между открытыми каналами;

– устройства в них водоемов-копаней, которые будут использоваться как источники воды для пожаротушения, орошения, водопоя скота и улучшения температурного режима мелиорированной территории при наличии бессточных понижений глубиной более 0,8 м, в которых постоянно застаивается вода;

– устройства водоемов-копаней с объемом воды 600–1000 м³ на проводящих каналах путем их уширения и углубления. Параметры их устанавливаются в зависимости от назначения.

Способы реконструкции мелиоративных систем в различных природных условиях. Способы реконструкции мелиоративных систем зависят от их существующего технического состояния, природных условий, продуктивности мелиорированных земель и необходимости создания условий для использования прогрессивных технологий сельскохозяйственного производства.

Реконструкция осушительных систем в различных природных условиях предполагает восстановление работоспособности открытой сети путем изменения ее параметров (углубление, уширение и др.) или переустройство открытой регулирующей сети на дренаж (систематический, выборочный, в особых случаях вертикальный).

В случае невозможности обеспечения водоприемником самотечного сброса воды из системы для достижения требуемой нормы осушения, постоянного на протяжении вегетационного периода подпора воды в нем, необходимо переходить на другие способы осушения с применением механического водоподъема – самотечно-насосные системы, польдеры или вертикальный дренаж.

При замене открытой сети на дренаж необходимо руководствоваться нормативами, применяемыми для нового осушения, с учетом измененных природных условий.

При выборе способов реконструкции мелиоративных систем необходимо учитывать, что участки с повышенным содержанием двухвалентного железа в грунтовых водах (более 3 мг/л) следует осушать открытыми каналами или закрытой сетью с затопленными устьями. Обязательным условием при строительстве является обратная засыпка траншей подсушенным на воздухе грунтом. На участках с наличием в грунтовых водах закисного железа рекомендуется применять дренажные системы площадью не более 3 га и устья устанавливать ниже среднего летнего горизонта (подтопленные). Для улучшения отвода воды за полосой разравнивания кавальеров целесообразно устраивать примыкающие к каналу дрены параллельно каналу на расстоянии не далее полосы разравнивания грунта кавальера или на 50 % более расчетного междренного.

Реконструкция дренажных систем производится в зависимости от причин, обуславливающих неудовлетворительный водный режим. Так, при недостаточной водоприемной способности дрен из-за кольматажа отверстий или ЗФМ необходимо устраивать дополнительные дрены и предусматривать другие мероприятия (колонки и колодцы-поглотители), усиливающие их осушительный эффект.

В случаях неудовлетворительной работы дренажа из-за малой глубины дрен, обратных уклонов дренажных линий, большими зазорами между дренажными трубками, кольматации защитно-фильтрующих материалов восстановление работоспособности достигается перекладкой нарушенных участков или устройством новых дрен.

Одним из способов восстановления работоспособности дренажа при его заилении и заохривании является промывка.

Условия применения выборочного горизонтального дренажа. При проектировании дренажа параметры закрытой осушитель-

ной сети определяются необходимостью обеспечения заданной нормы осушения в расчетные периоды, при этом в зависимости от рельефа поверхности назначается конструкция дренажа.

На участках со спокойным рельефом без замкнутых понижений с уклоном поверхности более 0,005 проектируется, как правило, систематический дренаж крупными дренажными системами.

На торфяниках и минеральных пойменных землях при ровной малоуклонной поверхности осушаемых земель с коэффициентом фильтрации $k_{\text{тр}} > 0,1$ м/сут и хорошо водопроницаемыми подстилаемыми грунтами рекомендуется проектировать безуклонный ($i = 0$) и малоуклонный дренаж ($i < 0,002$).

Коллекторная сеть трассируется по направлению большего уклона по понижениям и ложбинам, при этом строго не регламентируется плановое расположение дрен. Наиболее предпочтительна поперечная схема дренажа, которая рекомендуется при уклонах поверхности земли более 0,005; при уклонах менее 0,005 и отсутствии заметного уклона зеркала грунтовых вод возможно продольное и поперечное расположение дрен. Продольный дренаж проектируется, когда уклон поверхности менее 0,005, при этом часть коллекторов прокладывается по направлению минимального уклона поверхности. Расстояние между коллекторами назначается с учетом рельефа поверхности так, чтобы длина дрен не превышала 150 м. Длина одиночных дрен может быть до 200 м.

Диаметр трубчатого дренажа и длина дрен. Для регулирующей сети, как правило, применяются пластмассовые дренажные трубы диаметром 63 и 75 мм по ТКП 45-3.04-8-2005 «Мелиоративные системы и сооружения» [146].

В условиях смешанного питания (при притоке напорно-грунтовых и поверхностных вод) рекомендуется увеличение диаметра осушительных дрен на один типоразмер.

Уклоны дренажных линий. Минимальные уклоны коллекторов дренажных систем назначают исходя из минимально допустимой скорости потока в трубах 0,15–0,2 м/с, при которой наблюдается движение мелкозернистых частиц грунта.

При вероятности заиления дренажа минимальные уклоны следует увеличивать.

Расчетную степень заиления дренажа можно принимать $0,05d$ (d – диаметр трубы) в нормальных условиях; в сложных условиях (высота изменения продольного профиля дренажной линии не более 5 см) – $0,1d$.

В нормальных условиях уклон дрен принимается, как правило, 0,003 и более. При больших длинах дрен и малых уклонах необходимо увеличивать диаметр дрен. Уклон коллекторно-дренажной сети по длине от истока к устью не допускается уменьшать, так как изменение уклона с большего на меньший способствует заилению полости дренажных труб.

Глубина заложения дренажа. Минимальная глубина заложения дрен в минеральных грунтах 1,1 м и торфах после осадки – 1,3 м; в отдельных микропонижениях допускается уменьшение глубины дрен в минеральных грунтах до 0,9 м, а в торфах – до 1,0 м.

Одиночные безуклонные и малоуклонные дренажи проектируют глубиной 0,9–1,1 м соответственно в минеральных грунтах и торфе с впуском в открытые каналы и устройством устья.

Максимальная глубина дрен – не более 1,5 м. При подключении к коллектору, уложенному на большей глубине, применяются гибкие вставки.

4.3. Эффективность реконструкции мелиоративных систем в Полесье

Одним из вариантов улучшения водного режима на мелиорированных землях может быть изменение принципа действия систем и совершенствование их конструкций, основанных на дифференцированном подборе элементов мелиоративной системы с учетом региональных и ландшафтных природных условий переувлажняемых площадей. Относительная однородность водного режима может обеспечиваться дифференциацией междренних расстояний или расположением одиночных дрен в соответствии с гидрогеологией, почвенными и топографическими условиями. Большое влияние на проектные решения могут оказывать специфические особенности экономических условий ведения сельскохозяйственной деятельности землепользователями, наличие слабопроницаемых прослоек (часто имеющих очень незначительную толщину и выявляемых только при детальном почвенном изыскании), ограничение возможности углубления проводящей сети каналов в связи с необходимостью монтажа и реконструкции гидротехнических сооружений, насосных станций и др.

Современные дренажные системы должны удовлетворять повышенным требованиям к организации ускоренного отвода поверхностных вод, максимально использовать потенциал осушительного и увлажнительного действия каналов. В достаточной степени этим требованиям отвечает выборочный горизонтальный дренаж с дополнительными водопоглощающими элементами и агромелиоративными мероприятиями.

На практике при реконструкции большинства объектов наиболее распространенным способом является замена открытой сети на закрытую при одновременном углублении проводящих каналов, замена существующих осушителей, планировка площадей, переустройство труб-переездов, магистральных каналов, проведение агромелиоративных мероприятий и др., при этом некоторые мероприятия (строительство дорог, замена осушителей) связаны с большими трудозатратами. Следует отметить, что по-прежнему проектировщики стремятся задействовать в сельхозпроизводстве всю площадь объекта, хотя некоторые зоны целесообразнее было бы вывести из сельскохозяйственного использования из-за дороговизны и трудности их осушения или увлажнения до требуемого уровня. На объектах очень редко устраиваются экологические зоны (водоемы-копани, заросшие кустарниками понижения и др.).

В свою очередь, возрастающие объемы реконструкции и повышенные требования к интенсификации сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях требуют повышения технического уровня систем на объектах реконструкции.

Обоснование конструктивных решений схем реконструкций и их эффективность. Изменяющиеся природные и экономические условия требуют повышения надежности действия мелиоративных систем при проектировании объектов реконструкции с учетом сохранения малых рек, запасов подземных вод и уменьшения темпов сработки торфяных почв. Следует искать компромиссные технические решения, которые позволили бы обеспечивать необходимый водный режим на обрабатываемых полях и по возможности сохранять в естественном состоянии малые реки или магистральные каналы без их дальнейшего углубления.

Однако, не снижая уровней воды в нижерасположенной мелиоративной сети, невозможно избежать подпора в регулирующей сети. Проблема может быть решена за счет коренного изменения

принципа действия мелиоративных систем, одним из вариантов которого являются самотечно-насосные системы с частичным механическим сбросом воды с осушаемой площади, которые способны производить дискретный режим дренирования с регулируемым сбросом излишней воды [8]. Такими системами можно регулировать водный режим на отдельных площадях, автономно поддерживая на них заданный уровень грунтовых вод. При их проектировании следует учитывать рельеф поверхности, сформировавшуюся глубину каналов и водоприемника. Система может сочетать самотечный сброс воды до определенной отметки, которая будет определяться горизонтом воды в магистральном канале, а далее, исходя из требований сельскохозяйственного производства, понижать уровень воды в регулирующей сети откачкой воды в водоприемник.

Механический сброс воды низконапорными насосами осуществляется с использованием подпорных сооружений на канале. В зависимости от площади участка и длины канала на нем может устраиваться каскад насосных установок, которые способны перераспределять дренажные воды на осушительной системе. В засушливый период подача воды возможна и в обратном направлении. В настоящее время имеются малогабаритные экономичные насосные установки с расходом более $250 \text{ м}^3/\text{ч}$ при напоре 3–5 м и мощностью 3 кВт, способные работать в автоматическом режиме. Они могут стать основным элементом рассматриваемой конструкции системы. В мировой практике (Швеция) имеются примеры высокоэффективного применения таких установок, однако нет примеров использования конструкций систем и технологий дискретного управления водным режимом, сочетающего самотечный сброс и механический водоподъем. При таком принципе работы мелиоративных систем потребуется значительно реже и в меньших объемах производить периодическое регулирование водоприемников (малых рек), которые в настоящее время постоянно подчищаются от наносов и углубляются. Реализация подходов, обеспечивающих гибкое управление водным режимом на отдельных полях севооборотов, позволит вести интенсивное сельскохозяйственное производство, при котором дополнительные затраты, связанные с машинным водоподъемом, будут оправданы.

Системы такого принципа действия следует рассматривать как одно из перспективных направлений с учетом минимального воздействия на водные ресурсы при проведении осушения.

Разработаны и реализуются на объектах Белорусского Полесья другие схемы и конструктивные решения, базирующиеся на научно и экономически обоснованном дифференцированном подборе и размещении элементов мелиоративной сети с учетом природных особенностей переувлажненных площадей. Системы могут быть осушительные, осушительно-увлажнительные и осушительно-оросительные.

Наиболее перспективными и экономически целесообразными при реконструкции мелиоративных систем являются системы, базирующиеся на применении выборочного горизонтального пластмассового дренажа с водопоглощающими элементами, который позволяет уменьшить затраты на реконструкцию до 20 % и более за счет снижения расходов материалов и энергозатрат. Протяженность дрен на нем на 100 га в 2–3 раза (на 10–20 км) меньше по сравнению с систематическим дренажем, эксплуатационные затраты почти в 3 раза ниже, чем на открытой сети. Технико-экономические показатели различных вариантов реконструкции приведены в табл. 4.1.

Одна из принципиальных схем реконструкции с выборочным пластмассовым дренажем и колонками-поглотителями новой конструкции прошла производственную проверку в 2006–2010 гг. на объекте Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства на участке площадью 500 га (рис. 4.1) [36] и показала высокую эксплуатационную надежность, обеспечив требуемый водный режим для различных сельхозкультур в условиях избытка и недостатка влаги, в периоды выпадения экстремальных осадков с обеспеченностью месячной суммы их 1,5 %.

Сравнение результатов работы реконструированного объекта с выборочным дренажем и существующим систематическим на ПОСМЗиЛ за 2008–2010 годы представлен на рис. 4.2–4.4.

На рисунках 4.2–4.4 участок реконструкции 1 характеризуется более низкими отметками поверхности, чем участок реконструкции 2. Таким образом, диапазон УГВ между средними УГВ по участкам реконструкции характеризует водный режим всего объекта реконструированной мелиоративной системы. В качестве эталона для сравнения эффективности выборочного дренажа по формирова-

нию водного режима приведены максимальные и минимальные УГВ на участке систематического дренажа (наблюдательный створ 18). Уровни грунтовых вод приведены на фоне изменения во времени рассчитанных для каждого года оптимальных диапазонов УГВ для зерновых культур.

Таблица 4.1

Технико-экономические показатели различных вариантов
реконструкции мелиоративных объектов

Показатели		Единицы измерения	Варианты осушения (реконструкции)		
			Предлагаемая схема	Базовые способы осушения, «Полесьегипроводхоз»	
			Выборочный пластмассовый дренаж с колонками-поглотителями (проект ПОСМЗиЛ) в ценах 1991 г в ценах 2010 г	Систематический дренаж в ценах 1991 г в ценах 2010 г	Открытые сети в ценах 1991 г в ценах 2010 г
из проектов	1. Удельные капвложения в водохозяйственное строительство	руб./га	<u>1 600</u> 5 074 008	<u>2 400</u> 7 611 120	<u>1 750</u> 549 775
	в т. ч. затраты на строительство элементов мелиоративной системы	руб./га	<u>1 100</u> 3 488 430	<u>1 600</u> 5 074 080	<u>1 200</u> 3 805 560
2. Ежегодные эксплуатационные расходы		руб./га	<u>11</u> 34 880	<u>20</u> 6 3426	<u>36</u> 114 167
3. Протяженность дренажных труб на 100 га площади		км/100 га	10	30–40	–

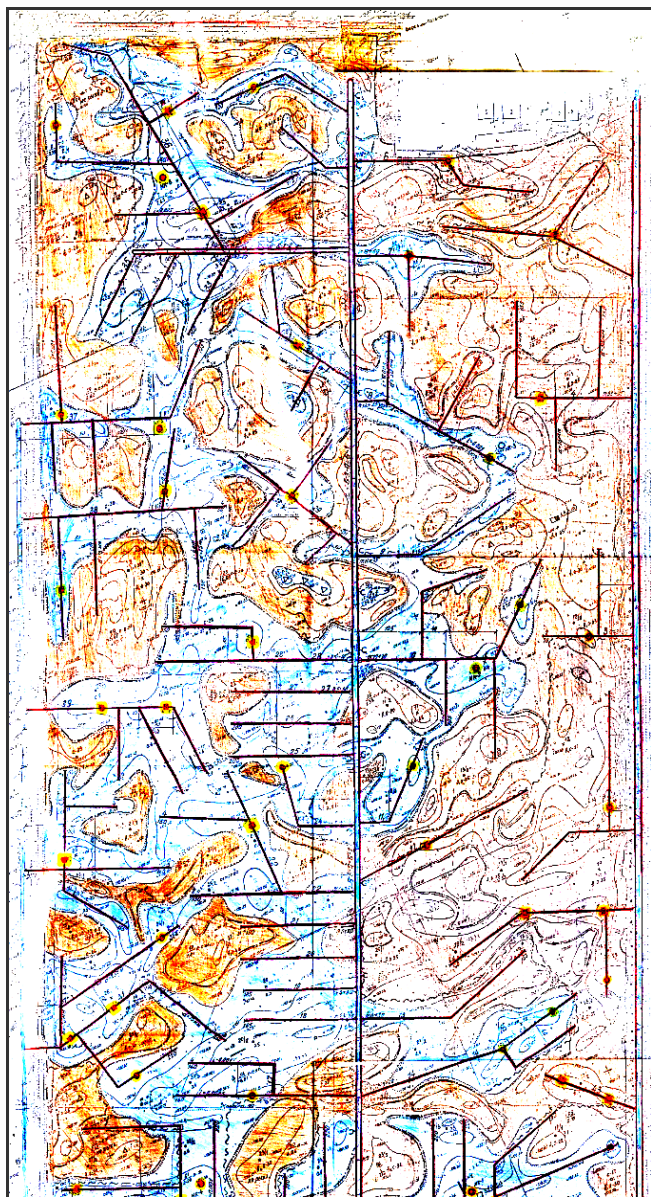


Рис. 4.1. План участка реконструкции мелиоративной системы ПОМСЗиЛ (первая очередь)

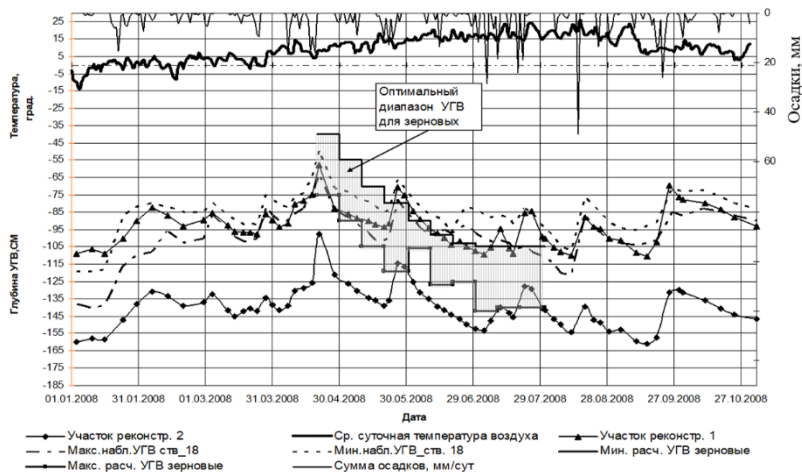


Рис. 4.2. Динамика средних по створам УГВ на участках реконструкции и систематического дренажа системы ПОСМЗиЛ в погодных условиях 2008 г.

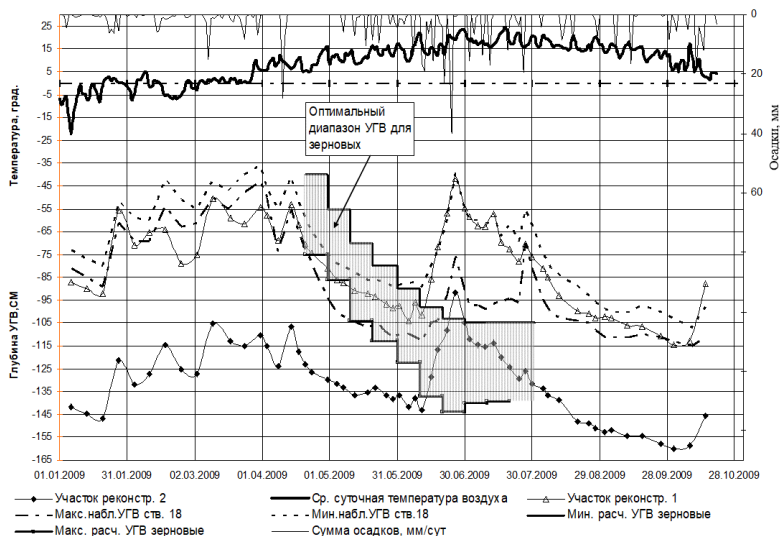


Рис. 4.3. Динамика средних по створам УГВ на участках реконструкции и систематического дренажа системы ПОСМЗиЛ в погодных условиях 2009 г.

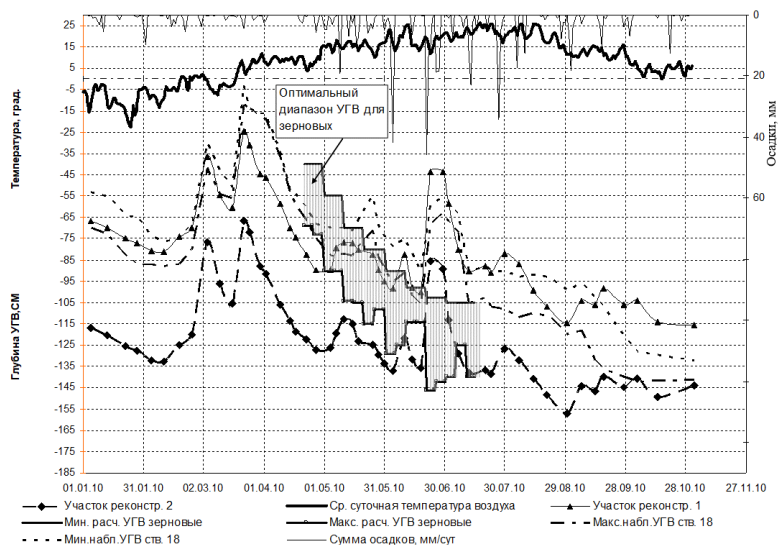


Рис. 4.4. Динамика средних по створам УГВ на участках реконструкции и систематического дренажа системы ПОСМЗиЛ в погодных условиях 2010 г.

Погодные условия вегетационного периода 2008 года можно охарактеризовать как не имеющие существенных отклонений от среднемноголетней климатической нормы. Температурный режим и величина испарения практически совпадают со среднемноголетними, обеспеченность месячных сумм осадков колеблется от 11 % в сентябре до 90 % в июле. Экстремальная (2 %) обеспеченность суммы осадков в апреле не вызвала нарушений водного режима, а лишь приблизила к оптимальному диапазону УГВ на пониженных элементах реконструированного участка и систематического дренажа. В дальнейшем выборочный дренаж обеспечил практически оптимальные УГВ, в то время как систематический дренаж несколько повышенные.

В 2009 г. температурный режим был близок к среднемноголетнему, осадки в июне составили 161, 5 мм (1,5 % обеспеченности) при норме 75 мм, что вызвало повышенную влажность почвы и подъем УГВ на обоих вариантах дренажа. В экстремальных (катастрофических) погодных условиях выборочный и систематический

дренаж сработали примерно одинаково. Урожай не погиб, но уровень грунтовых вод был не в оптимальных пределах.

В июне 2010 г. осадки составили 161,2 мм (1,5 % обеспеченность), но и в июле также выпало 113,6 мм при норме 79 мм, однако предыдущий сухой период позволил создать значительную аккумуляющую емкость в зоне аэрации, которая сдмпфировала воздействие экстремальных осадков. Сравнимые системы допустили отклонение УГВ от оптимальных, но на значительной площади вернули ее в оптимальный диапазон быстрее, чем в 2009 г., при этом выборочный дренаж, дополненный мероприятиями по организации поверхностного стока, обеспечил сезонное колебание УГВ ближе к оптимальному диапазону, чем систематический дренаж.

Таким образом, реконструированная система показала себя вполне работоспособной, обеспечивающей в расчетных условиях оптимальные УГВ. В условиях экстремальных осадков, превышающих расчетные, она допустила отклонения от оптимума, но сохранила урожай и сработала заведомо не хуже более дорогостоящего систематического дренажа.

Продуктивность земель после реконструкции увеличилась в 2007–2010 г. в 2–3 и более раза по сравнению с продуктивностью до реконструкции и составила 60–88 ц/га кормовых единиц. На основании исследований по эффективности и работоспособности опытных систем с выборочным дренажем и ранее проведенных исследований осушительно-оросительных систем с вертикальным дренажем предлагаются конструктивные решения наиболее типичных схем реконструкции в условиях Полесья и аналогичных условиях других регионов.

4.4. Фильтрационные расчеты выборочного дренажа

Параметры дренажных систем (глубина закладки дрен, расстояние между дренами, уклон дрен и коллекторов, диаметр трубок, модуль дренажного стока и др.) рассчитывают или принимают конструктивно (например, диаметр трубок дрен).

Фильтрационные расчеты основаны на методах установившейся и неустановившейся фильтрации и заключаются в определении расхода дрен и коллекторов, времени понижения УГВ на заданную глубину и расстояний между дренами. Они выполняются исходя из

условия обеспечения требуемой интенсивности спада УГВ. Действительный характер работы дренажа описывается условиями неустановившегося режима грунтовых вод, однако в большинстве случаев используют метод установившейся фильтрации, который дает запас в расчетах. Расчетными периодами являются весенний и летне-осенний, первый длительностью 10–15 сут. Расчет на предпосевной период для понижения УГВ на 0,5 м от поверхности земли за 5–7 суток дает расстояние между дренами, которое удовлетворяет требованиям всех других периодов [131]. В обобщенной форме методика и последовательность фильтрационных расчетов дренажа изложена в РПИ-82, часть II, книга 1, раздел 3, приложение 3.9; 3.10 [137] и состоит в следующем:

- составляют расчетную фильтрационную схему;
- принимают расчетные периоды и сроки, вычисляют расчетные напоры и величины водного питания;
- исходя из параметров труб и фильтров вычисляют безразмерные фильтрационные сопротивления дрен по характеру вскрытия пласта (табл. 3.9.2) [137];

- в грунтах с коэффициентом фильтрации $k_{\text{тр}} > 0,2$ м/сут, проводимостью зоны фильтрации $T > 0,5$ м²/сут при атмосферном, грунтовом, безнапорном, склоновом, намывном типах водного питания расстояние между дренами рассчитывают по методике А. И. Мурашко [147] для двухслойной толщи или однослойной при установившейся фильтрации.

В хорошо водопроницаемых грунтах (коэффициент фильтрации подпочвенного слоя более 2,0 м/сут) при безнапорном грунтовом и атмосферном типах водного питания расстояние между дренами рассчитывается с учетом осушительного действия проводящей сети (РПИ-82, часть II, книга I, раздел 3, прил. 3.10).

Расстояние между дренами и глубина их заложения при реконструкции открытой сети (заменой ее на закрытую) определяется так же, как и при новом строительстве.

Приточность воды к дренам, определяющая расчетное расстояние между дренажными линиями, зависит от начальных и граничных условий фильтрации, литологии грунтов, их водопроницаемости и водоотдачи, климатических условий, конструктивных особенностей дренажных труб (диаметра, длины, размера, формы и расположения водоприемных отверстий) и параметров защитных фильтров.

В общем случае приток воды к несовершенной по характеру вскрытия пласта дрене Q_l на единицу длины при круговом контуре питания составляет:

$$Q_l = \frac{2\pi k_{\text{гр}} H}{\Phi_0 + \Phi_i}, \quad (4.1)$$

где $k_{\text{гр}}$ – коэффициент фильтрации осушаемого грунта, м/сут;

H – действующий напор, равный разности напоров на границе контура питания и внутри дрены, м;

Φ_0 – фильтрационное сопротивление «идеальной дрены» (полости в грунте), определяемое граничными условиями фильтрации (сопротивлениями на несовершенство дренажа по характеру вскрытия пласта) [35]:

$$\Phi_0 = \ln \left(\operatorname{tg} \frac{\pi(4t-D)}{8T_i} \operatorname{ctg} \frac{\pi D}{8T_i} \right), \quad (4.2)$$

где t – глубина заложения дрен, м;

D – диаметр дрены (наружный), м;

T_i – мощность водоносного слоя, м;

Φ_i – безразмерные фильтрационные сопротивления, обусловленные несовершенством дренажа по степени вскрытия пласта.

$$\Phi_i = \psi + C_i, \quad (4.3)$$

где ψ – приращение фильтрационных сопротивлений, обусловленное наличием фильтра;

C_i – приращение фильтрационных сопротивлений, обусловленное несовершенством конструкции дренажных труб.

Для пластмассовых труб фильтрационное сопротивление дрен по характеру вскрытия пласта составляет [148, стр. 255]:

$$\Phi_i = 2,3 \left(\frac{k_{\text{гр}}}{k_{\text{ф}}} - 1 \right) \lg \frac{D + 2\delta}{D} + \frac{k_{\text{гр}}}{k_{\text{ф}}} C_i. \quad (4.4)$$

При наличии продольно-щелевой перфорации с фильтром:

$$\Phi_i = 2,3 \left(\frac{k_{\text{гр}}}{k_{\text{ф}}} - 1 \right) \lg \frac{D + 2\delta}{D} + 2 \frac{k_{\text{гр}}}{k_{\text{ф}}} \cdot \frac{S}{nl} \cdot \ln \frac{1}{\sin \frac{nl}{2S} \theta}, \quad (4.5)$$

где $k_{\text{гр}}$ – коэффициент фильтрации грунта, м/сут;
 $k_{\text{ф}}$ – коэффициент фильтрации фильтра, м/сут;
 δ – толщина фильтра, м;
 S – шаг перфорационных отверстий (щелей), м;
 n – число рядов перфорационных отверстий;
 l – длина щели, м.

$$\theta = \arcsin \frac{\tau}{D},$$

где τ – ширина щелей, м.

В наиболее типичных случаях расстояние между дренами B , м, определяется по формуле [148]:

$$B = \sqrt{B_0^2 + (a(B_2 + 4f_0))} - a(B_2 + 4f_0), \quad (4.6)$$

$$B_0 = 2h \sqrt{\frac{k_{\text{гр}}}{q_{\text{пр}}} \cdot \left(1 + \frac{2a}{h} \right)},$$

$$B_2 = \frac{A}{\pi} \ln \frac{1}{\sin \frac{\pi d}{2a}},$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi} \Phi_0,$$

где a – расстояние от дрены до водоупора, м;
 f_0 – безразмерное сопротивление по характеру вскрытия пласта;
 h – превышение уровней воды в междренье, м;
 $q_{\text{пр}}$ – интенсивность притока воды к дрене, м/сут.

Принципы проектирования параметров выборочного дренажа. На план наносится схема расположения осушительной сети. Схема может быть составлена для всего массива или для выделенных характерных участков площади.

При составлении схем осушения следует исходить из необходимости прокладки дрен по выраженным пониженным элементам рельефа поверхности, не соблюдая при этом параллельности и равномерности расположения дрен по площади с различными при необходимости расстояниями между дренами.

Определяются площади водосбора наиболее характерных участков понижений с неудовлетворительным водным режимом.

По площади водосбора и модулю дренажного стока вычисляется сток с участка Q_v :

$$Q_v = F \cdot q, \quad (4.7)$$

где F – площадь водосбора, га;

q – модуль дренажного стока, л/(с·га).

При отсутствии материалов балансовых исследований дренажный модуль стока для различных грунтов можно принимать ориентировочно следующим [144]:

- глины, суглинки тяжелые и средние – 0,4–0,5 л/(с·га);
- суглинки легкие, супеси – 0,6 л/(с·га);
- пески, торфяники низинные – 0,7–0,8 л/(с·га).

Зная сток с участка Q_v и приток на единицу длины дрены Q_l можно найти длину дрен, необходимую для осушения рассматриваемой площади:

$$L = \frac{Q_v}{Q_l}. \quad (4.8)$$

Проектирование дрен в плане выполняется относительно равномерно, с одинаковым расстоянием между ними.

Гидравлический расчет коллектора из полиэтиленовых гофрированных труб выполняется по формулам [148]:

$$q = 22,79\eta \cdot D^{2,645} \cdot i^{0,503}, \text{ л/с}, \quad (4.9)$$

где $\eta = 0,93-0,98$ – коэффициент, учитывающий влияние перфорации и стыковых соединений; большие значения берутся для труб с круглой перфорацией, меньшие – с продольными щелями.

D_p – внутренний диаметр перфорированных труб (расчетный):

$$D_p = D - 2(h + t_c), \quad (4.10)$$

где h – высота гофр;

t_c – толщина стенки трубы.

Из формулы (4.9) при известном q определяют диаметр коллектора. Места смены диаметров коллекторов труб определяют исходя из пропускной способности коллекторной трубы в i -ом сечении q_i :

$$q_i = nq_0LB, \quad (4.11)$$

где n – число дрен-осушителей, расположенных выше рассматриваемого сечения коллектора;

q_0 – модуль дренажного стока, л/(с·га).

Пример: Определить предельную длину дрен-осушителей из гофрированных пластмассовых труб $D = 50$ мм, укладываемых с уклоном $i = 0,005$. Число дрен-осушителей, расположенных выше рассматриваемого сечения коллектора, $n = 1$. Расчетный модуль дренажного стока $q_0 = 0,6$ л/(с·га), расстояние между дренажными линиями $B = 20$ м.

По СТБ 2119-2010. Трубы полиэтиленовые гофрированные дренажные. Технические условия $D = 50$ мм, $h = 3$ мм, $t_c = 0,8$ мм, тогда внутренний диаметр дренажи $D_p = 50 - 2(3 + 0,8) = 42,4$ мм, длина дренажи:

$$L = \frac{q_1}{nq_0B} = \frac{24,54\eta_0 \cdot D_p^{2,667} \cdot i^{0,52}}{1 \cdot \frac{0,6}{1000} \cdot \frac{20}{10000}} =$$

$$= \frac{24,5 \cdot 0,98 \cdot 0,0424^{2,667} \cdot 0,005^{0,52} \cdot 10^7}{12} = 278 \text{ м.}$$

Гидравлический расчет малоуклонных и безуклонных дрен производится на основании следующей формулы:

$$L = \left[\frac{\Delta h(1+m)}{m} \cdot \left(\frac{10^7 \omega a}{qB} \right)^{\frac{1}{m}} \right]^{1+m}, \quad (4.12)$$

где Δh – действующий напор в дрене, м (определяется по формулам гидравлики): для одиночных дрен $\Delta h = 0,05–0,10$ м, для дренажных систем с коллекторами – $0,10–0,15$ м

10^7 – переводной коэффициент для q из л/(с·га) в м³/(с·м²);
 a и m – коэффициенты, определяемые по табл. 4.2.

Таблица 4.2

Значения коэффициентов a и m

Коэффициенты	Диаметры труб, мм				
	50	75	100	125	150
a	5,065	6,395	10,676	12,301	15,413
m	0,539	0,555	0,565	0,566	0,560

4.5. Принципиальные схемы реконструкции мелиоративных систем

В зависимости от природных условий и сельскохозяйственного использования мелиорированных земель при разработке проектов реконструкции рекомендуется использовать следующие схемы мелиоративных систем с применением выборочного дренажа.

Схема № 1. Реконструкция системы с открытой осушительной сетью с расстоянием между каналами более 450 м на мелкозалежных и сработанных торфяниках (рис. 4.5).

Неудовлетворительный водный режим на участке обуславливается несоответствием существующей конструкции системы изме-

нившись природным условиям – образованием большого количества понижений и оглеенного водонепроницаемого слоя мощностью 0,1–0,3 м, препятствующего отводу избыточных поверхностных вод. Почвенный покров участка – остаточные торфяные, органоминеральные и минеральные почвы, подстилаемые мелкозернистыми и пылеватыми песками с коэффициентом фильтрации более 2,5 м/сут.

Планируемые мероприятия:

- по пониженным элементам рельефа на всей площади устраивается выборочный дренаж;
- в замкнутых понижениях (западинах) дренаж дополняется колонками-поглотителями;
- предусматривается дополнение системы агроメリоративными мероприятиями: для повышения интенсивности осушения на почвах с наличием слабопроницаемой прослойки проводят рыхление на глубину 60 см;
- подпочвенное увлажнение предусматривается предупредительным шлюзованием при помощи трубы-регулятора.

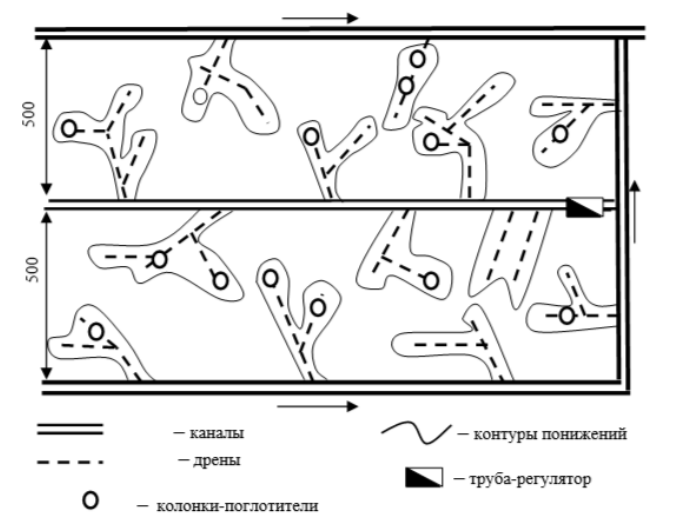


Рис. 4.5. Реконструкция системы с открытой осушительной сетью

Условия применения:

Почвы: торфяники мелкозалежные, сработанные на песках; песчаные и органоминеральные почвы; проводимость фильтрующего слоя $T \geq 5 \text{ м}^2/\text{сут}$; коэффициент фильтрации $k_{\text{гр}} \geq 2 \text{ м/сут}$.

Угодья: полевые севообороты, сенокосы и пастбища.

Схема № 2. Реконструкция мелиоративной системы с открытой сетью (рис. 4.6). Неудовлетворительный водный режим отмечается на площадях с бессточными понижениями (западинами) глубиной до 0,5 м.

Проектируемые мероприятия:

- устройство в понижениях локального дренажа с колонками и колодцами-поглотителями;
- раскрытие понижений вблизи каналов.

Условия применения:

Почвы: торфяники мелкозалежные и сработанные на песках, песчаные, легкие супесчаные, коэффициент фильтрации осушаемого слоя $k_{\text{гр}} \geq 0,2 \text{ м/сут}$, уклон поверхности $i \leq 0,001$.

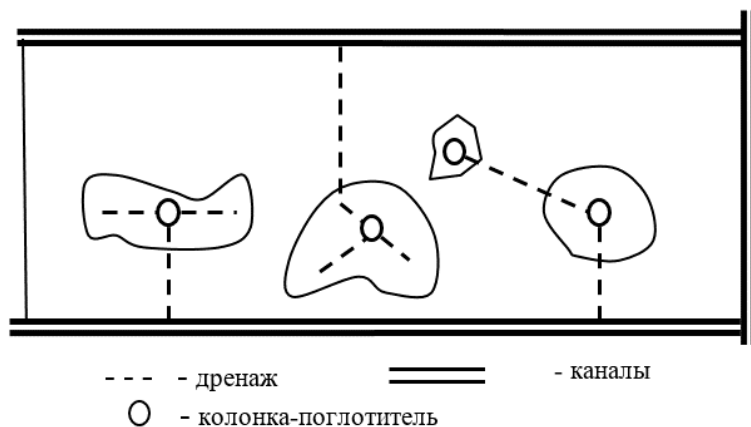


Рис. 4.6. Реконструкция мелиоративной системы с открытой сетью

Схема № 3. Реконструкция мелиоративной системы с открытой сетью каналов с расстоянием между осушителями более 400 м имеются западины глубиной более 0,7 м с водосборной площадью более 1 га. Параметры осушителей не обеспечивают требуемый водный режим (рис. 4.7). Западины постоянно затапливаются водой.

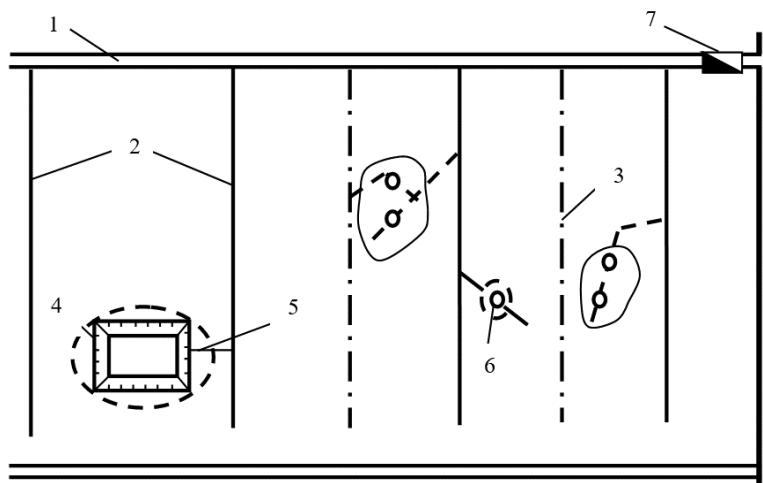
Проектируемые мероприятия:

– устраиваются дополнительные осушители между существующими (сгущение сети) с мероприятиями по отведению поверхностного стока из понижений отдельными дренами с колонками-поглотителями;

– в западинах устраивают водоемы-копани с подсыпкой вынутым грунтом прилегающей к ним территории. Копани соединяют сбросным трубопроводом с осушителем. Предусматривается предупредительное шлюзование посредством трубы-регулятора.

Условия применения:

Почвы: песчаные, перегнойно-глиевые и торфяные с мелкозернистым и пылеватым песком и среднеразложившимся торфом. Коэффициент фильтрации грунтов 0,5–2,5 м/сут.



- | | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| 1- магистральный канал | 5 - сбросной трубопровод |
| 2- существующие осушители | 6 - дренаж с колонкой-поглотителем |
| 3- дополнительные осушители | 7 - труба-регулятор |
| 4- водоем-копань | |

Рис. 4.7. Реконструкция мелиоративной системы, имеющей западины:

- 1 – магистральный канал; 2 – существующие осушители; 3 – дополнительные осушители; 4 – водоем-копань; 5 – сбросной трубопровод; 6 – дренаж с колонкой-поглотителем; 7 – труба-регулятор

Схема № 4. Реконструкция системы дренажа (рис. 4.8).

Неудовлетворительный водный режим наблюдается по всей площади, в том числе в понижениях.

Проектируемые мероприятия:

устанавливаются дополнительные дрены на переувлажненных участках с колонками-поглотителями в понижениях при достаточной существующей глубине дрен.

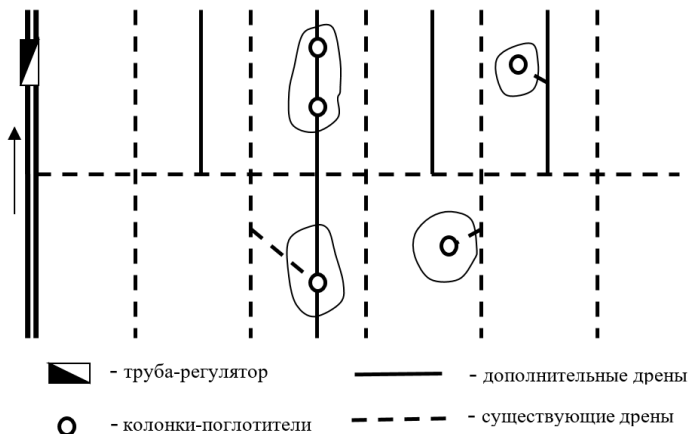


Рис. 4.8. Реконструкция системы дренажа

Схема № 5. Реконструкция мелиоративной системы с открытой сетью и расстоянием между осушителями 200 м (рис. 4.9).

Усиливается осушительное действие на площади посередине между коллекторами.

Проектируемые мероприятия:

– замена открытой осушительной сети на закрытую с расстоянием между каналами проводящей сети 350–400 м в сочетании с горизонтальным малоуклонным и безуклонным дренажем;

– посередине межканального пространства дренаж сгущен посредством захождения дрен одной систем в междреннее пространство других на 0,3–0,5 их длины;

– в замкнутых понижениях устанавливаются колонки-поглотители.

Увлажнение: предупредительное шлюзование.

Условия применения:

Почвы участка: торфяники различной мощности, супеси легкие, пески пылеватые. $k_{\phi} = 0,5-2,5$ м/сут, уклоны поверхности $i \leq 0,001$.

Угодья: полевые севообороты, сенокосы, пастбища.



Рис. 4.9. Реконструкция мелиоративной системы с расстоянием между осушителями 200 м

Схема № 6 (рис. 4.10). Реконструкция мелиоративной системы с открытой или закрытой осушительной сетью и с самотечным сбросом воды на систему самотечно-насосную (сочетание самотечного сброса с механическим водоподъемом). Применяется при наличии подпора от водоприемника и необходимости производить дискретное управление водного режима по полям.

Проектируемые мероприятия:

1. на магистральных или проводящих каналах устраиваются трубы-регуляторы и насосные низконапорные установки;

2. на регулирующей сети в зависимости от состояния мелиорированных земель устраивается:

– открытая сеть с выборочным дренажем в сочетании с колонками и колодцами-поглотителями;

– закрытая сеть (систематический или выборочный дренаж) с дополнительными элементами быстрого действия.

Технология регулирования водного режима: система работает в самотечном режиме при определенных отметках УГВ в водопри-

емнике. При подпоре от водоприемника закрывают трубы-регуляторы и включают насосные установки, которые понижают уровень на полях до требуемой величины.

Увлажнение: предупредительное шлюзование.

Условия применения:

Торфяники различной мощности, органоминеральные и минеральные почвы, подстилаемые мелкозернистыми и пылеватыми песками с коэффициентом фильтрации более 2,0 м/сут.

Угодья: полевые севообороты, сенокосы, пастбища.

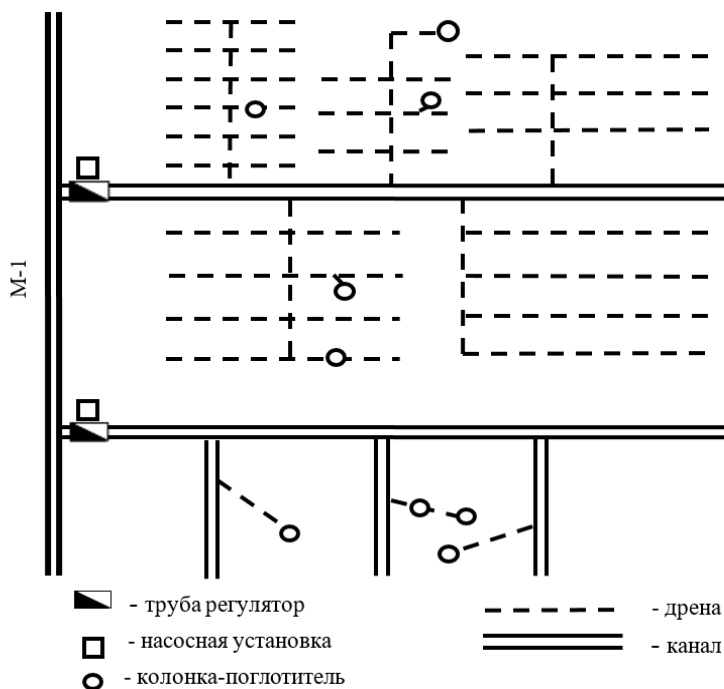


Рис. 4.10. Самотечно-насосная мелиоративная система

Схема № 7. Реконструкция системы горизонтального дренажа при малой его глубине (рис. 4.11).

Неудовлетворительный водный режим обуславливается высоким залеганием УГВ.

Проектируемые мероприятия:

- прокладывается параллельно существующему новый коллектор на необходимой глубине;
- новые дрены устраиваются также параллельно существующим;
- существующие работоспособные дрены подключаются к новому коллектору через песчано-гравийную засыпку высотой 30–40 см на коллекторе в месте впадения дрен;
- при двустороннем впадении дрен в коллектор необходимо параллельно существующему отрыть траншею по другую его сторону, определить положение существующих дрен и отрезками дренажных труб подсоединить дрены к песчано-гравийной засыпке на новом коллекторе.



Рис. 4.11. Реконструкция мелиоративной системы с малой глубиной дренажа

Условия применения:

Почвы: торфяники различной мощности, органоминеральные и минеральные почвы, подстилаемые мелкозернистыми и пылеватыми песками с коэффициентом фильтрации $k_f > 1$ м/сут.

Угодья: полевые севообороты, сенокосы и пастбища.

Схема № 8. Реконструкция мелиоративной системы с открытой осушительной сетью с расстоянием между осушителями 500 м комбинированным дренажем (вертикальный в сочетании

с выборочным горизонтальным) с использованием подземных вод на орошение (рис. 4.12).

Проектируемые мероприятия:

– устраиваются дренажные скважины с целью осушения и подачи подземных вод на орошение;

– для интенсификации осушения в понижениях вертикальный дренаж дополняется выборочным горизонтальным дренажем с колонками-поглотителями;

– используются шланговые барабанные дождеватели (типа «Харвест»).

Из скважин вода подается в канал с трубой-регулятором и водоемом-копанью.

К оросительным установкам вода подается из водоема, зашлюзованного канала или непосредственно из скважин.

Условия применения:

Почвы: торфяники различной мощности, подстилаемые песками, мощность водоносного горизонта более 20 м, коэффициент фильтрации водоносного горизонта $k_{тр} > 10$ м/сут, водопроводимость $T \geq 150$ м²/сут.

Угодья: полевые севообороты, овощи, сенокосы и пастбища.

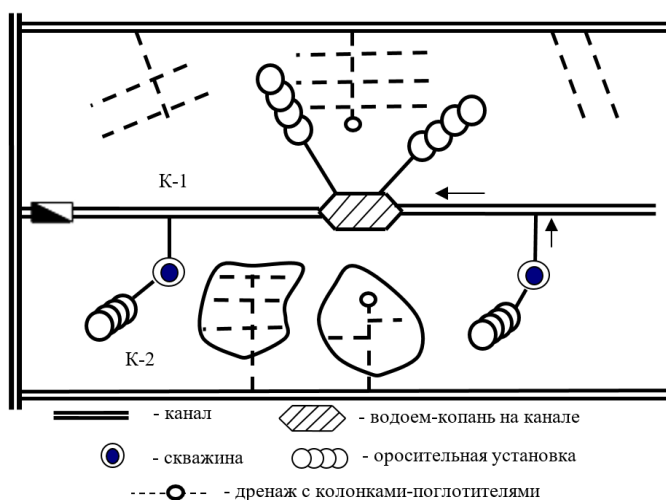


Рис. 4.12. Осушительно-орошительная система с комбинированным дренажем

Схема № 9. Реконструкция осушительно-увлажнительной мелиоративной системы с открытой сетью и расстоянием между осушителями 200 м на осушительно-увлажнительную с разреженным дренажем (рис. 4.13).

Проектируемые мероприятия:

- один из осушителей ликвидируется, параллельно ему закладывается закрытый коллектор, на котором устанавливаются смотровые колодцы;

- в смотровые колодцы впадают коллекторы разреженного дренажа с частичным перекрытием дрен посередине расстояния между ними;

- смотровые колодцы позволяют делать дифференцированную промывку дренажа по системам (К-1, К-2, К-3, К-4);

- увлажнение осуществляется из канала М-1 с трубой-регулятором;

- увлажнение можно осуществлять дифференцировано по полям, регулируя подачу воды в коллекторах, впадающих в колодец путем перекрытия их выходов в колодец с помощью вставных заглушек.

Условия применения: торфяники мелкозалежные на песках, песчаные почвы, коэффициент фильтрации $k_{тр} \geq 2$ м/сут, уклоны поверхности $i \leq 0,001$.

Угодья: полевые севообороты, сенокосы, пастбища.

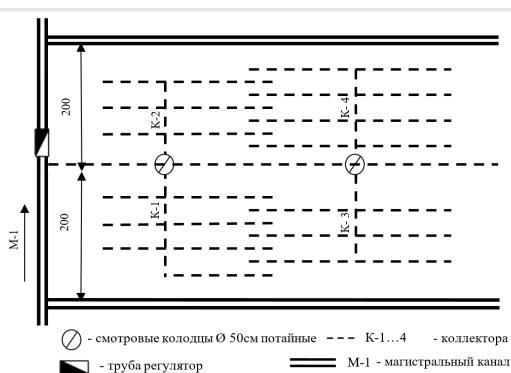


Рис. 4.13. Осушительно-увлажнительная система с разреженным дренажем

Материалы для устройства дренажно-коллекторной сети. Для дренажно-коллекторной сети используются пластмассовые трубы.

В условиях Полесья дренаж рекомендуется устраивать из пластмассовых гофрированных труб. Площадь входных отверстий труб должна составлять 25–40 см²/м в зависимости от их диаметра.

При использовании пластмассовых гофрированных дренажных труб из поливинилхлорида (ПВХ) применяется следующий ряд условных диаметров: 50, 65, 80, 100, 125, 160 и 200 мм, а для труб из полиэтилена – 50, 63, 75, 90, 110, 125, 160 и 200 мм.

Диаметр перфорационных круглых отверстий не должен превышать 3 мм, ширина щелей не менее 2 мм.

В Беларуси выпускаются в большом объеме полиэтиленовые гладкостенные водопроводные и гофрированные трубы большого диаметра (160–500 мм), которые по своим характеристикам могут применяться в мелиоративном строительстве. Из номенклатуры пластмассовых труб наиболее целесообразно применение полиэтиленовых гофрированных двухслойных труб «КОРСИС» с внутренней гладкой поверхностью. Трубы выпускаются различных классов кольцевой жесткости, которая характеризует максимальную допустимую нагрузку на единицу площади поверхности трубы при четырехпроцентной деформации ее вертикального диаметра без учета бокового отпора.

В таблице 4.3 приведены технические характеристики и стоимости труб «КОРСИС». Полиэтиленовые гладкостенные водопроводные трубы (табл. 4.4) как по стоимости, так и по массе превышают гофрированные «КОРСИС» почти в два раза.

В России производятся полиэтиленовые трубы по ТУ 2248-002-394585-98 диаметром 63 и 110 мм. За рубежом в ряде стран выпускаются трубы ПВХ внутренним диаметром 40, 50, 65, 80, 100, 130 и 160 мм.

Требуется тщательный контроль соответствия щелевой перфорации техническим условиям из-за возможного наличия облоев щелей и смыкания отверстий.

Все вышеназванные сортаменты могут использоваться при строительстве дренажа.

Таблица 4.3

Технические параметры труб «КОРСИС»

DN/OD	SN4		SN8	
	Стоимость 1 м, руб., в ценах 2022 г.	Масса, кг/м	Стоимость 1 м, руб., в ценах 2022 г.	Масса, кг/м
Труба «КОРСИС»				
110/91	–	–	3,93	1,0
160/140	5,68	1,3	7,42	1,7
Труба «КОРСИС» с раструбом				
200/176	10,63	2,2	12,27	2,6
250/216	16,57	3,4	19,37	3,8
315/271	25,60	4,8	28,33	5,1
400/346	39,75	6,7	43,70	7,9
500/427	63,43	11,4	66,24	13,2
630/535	–	–	105,6	20,3

Примечание: DN – номинальный диаметр, мм; OD –внутренний диаметр, мм.

Защитно-фильтрующие материалы. Для защиты дрен от заиливания могут использоваться синтетические и органические материалы, которые удовлетворяют следующим требованиям: коэффициент фильтрации материала под нагрузкой 20 кПа должен быть не менее 45 м/сут, через материал допускается прохождение частиц грунта диаметром не более 0,05 мм. При использовании в качестве защитно-фильтрующих материалов геотекстильного полотна оно должно соответствовать требованиям СТБ 1980-2009 «Полотно нетканое мелиоративное. Технические условия».

4.6. Колонки-поглотители на осушительных мелиоративных системах

Для улучшения гидравлической связи пахотного горизонта с закрытой осушительной сетью и ускорения отвода поверхностных вод из замкнутых понижений и ложбин применялись колонки-поглотители. Для их устройства используется хорошо фильтрую-

ший материал. На практике могут применяться колонки в соответствии с альбомом [8], а также колонки КК(А), КК(Б), КБ, основанные на применении фильтрующего заполнителя из кнопса (синтетический материал отходов легкой промышленности) (рис. 4.14–4.16), и колонка-поглотитель КВ с вертикальной трубой-вставкой и фильтрующей песчаной засыпкой (рис. 4.17).

Таблица 4.4

Технические параметры полиэтиленовых гладкостенных труб
ПЭ100 SDR26, 6,3 атм.

Наружный диаметр D , мм	Толщина стенки, мм	Масса, кг/м	Стоимость 1 м, руб, в ценах 2022 г.
110	4,2	1,4	6,68
125	4,8	1,8	8,60
140	5,4	2,3	10,89
160	6,2	3,1	14,26
200	7,7	4,7	22,07
225	8,6	5,9	27,72
250	9,6	7,4	34,37
280	10,7	9,2	42,83
315	12,1	11,7	54,65
355	13,6	14,7	68,82
400	15,3	18,8	87,65
450	17,2	23,7	110,75
500	19,1	29,2	136,65
560	21,4	36,6	171,06

Примечание: трубы диаметром от 125 мм изготавливаются в отрезках длиной 6 и 12 м.

Колонки устраиваются непосредственно на дренажной или коллекторной линии, так и при отсутствии закрытого дренажа.

Конструктивно колонки-поглотители типа КК(А), КК(Б) и КВ представляют собой участок коллектора или дрены с горизонтальной полиэтиленовой гофрированной трубой-вставкой, диаметр которой на один размер больше диаметра дрены или коллектора. Колонка типа КВ дополнена вертикальной перфорированной трубой диаметром 63–75 мм.

Площадь водоприемных отверстий горизонтальной и вертикальной труб-вставок должна быть не меньше 35–40 см² на 1 м трубы. Отверстия располагаются во впадинах гофра.

Трубы-вставки покрываются защитно-фильтрующим материалом (полотно нетканое полипропиленовое – «ПИНЕМА» г. Пинск, ОАО «БЕЛФА» г. Жлобин, стеклохолст и другие, разрешенные для защиты дренажа). Защита соединения дрены со вставкой производится путем обмотки места соединения фильтрующим материалом.

Внутри фильтрующей колонки перед засыпкой устанавливают отрезок перфорированной трубы, располагая ее верхний конец закрытый заглушкой (желательно фильтрующей) в подпахотный горизонт. Соединение вертикальной трубы с горизонтальной целесообразно производить с помощью соединительных деталей.

В качестве фильтрующей засыпки колонки рекомендуется использовать гравийно-песчаную смесь и синтетические стойкие к разложению отходы легкой промышленности, например, knobс (ОАО «БЕЛФА» г. Жлобин) с коэффициентом фильтрации не менее 5 м/сут.

Организация и технология производства работ. До начала работ по устройству колонок-поглотителей к месту их устройства должны быть подвезены необходимые материалы и комплектующие изделия, указанные в таблицах на рабочих чертежах.

Устройство колонок-поглотителей выполняет звено, состоящее из двух человек. В случае, когда дренажные траншеи завалены грунтом, в помощь к ним придается экскаватор ЮМЗ-82.

Последовательность выполнения операций по устройству колонок-поглотителей следующая:

- срезка растительного грунта;
- устройство котлована;
- укладка отрезка полиэтиленовой трубы $D = 110$ мм со скважностью 3–4 %;

- установка муфт (переходников) в местах соединения отрезка трубы с дренажной линией;
- обертывание поверхности отрезка трубы стеклохолстом;
- укладка тюков кнопса согласно рабочим чертежам. После их укладки тюковочная проволока раскусывается плоскогубцами;
- засыпка пазух и верха колонки природным песком до поверхности земли;
- разравнивание остатков грунта.

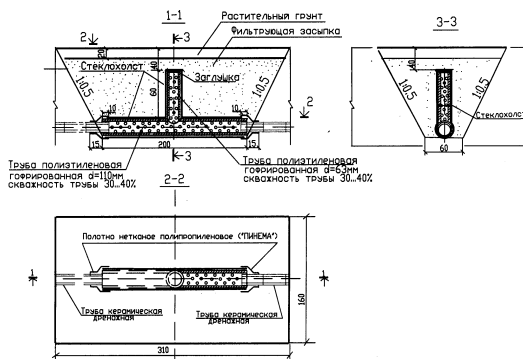


Рис. 4.16. Конструкция колонки с вертикальной вставкой

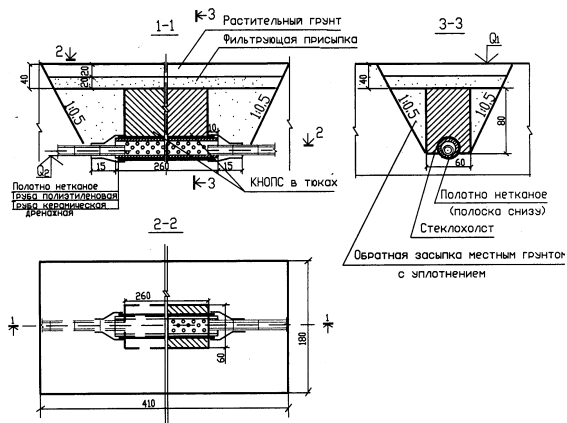


Рис. 4.17. Конструкция колонки КБ

Как показывает практика эксплуатации колонок-поглотителей, последнюю операцию лучше заменить увеличением толщины фильтрующей присыпки до уровня поверхности земли.

В качестве фильтрующего материала колонки рекомендуется также использовать смесь кнопса с местным песком в пропорции 1:1 или 1:2. Смесь приготавливается на поверхности земли, а затем укладывается в траншею.

Технико-экономические показатели. Затраты труда на устройство одной колонки-поглотителя типа КВ, КК(А) и КК(Б) составляют 15–19 чел.·часов. Стоимость устройства этих колонок составляет 64–90 руб. в базовых ценах 1991 года, нормах 2006 года. На устройство колонки-поглотителя типа КБ затрачивается 25 чел. часов. Ее стоимость в базовых ценах составляет 124 рубля (табл. 4.5).

Для увеличения производительности колонок и предотвращения кольматажа фильтрующего материала площадь засыпки водоприемной поверхности колонки принимают не менее 6 м². С этой площади снимают верхний слабофильтрующий слой грунта на глубину 40 см и засыпают эту выемку местным или привозным песком, песчано-гравийной смесью слоем 30 см.

4.7. Технология строительства пластмассового дренажа

Технология строительства горизонтального дренажа из пластмассовых труб. Требования по технологии строительства выборочного дренажа аналогичны требованиям по устройству систематического дренажа.

Строительство закрытого дренажа на землях сельскохозяйственного назначения осуществляется в теплый период года при глубоком залегании грунтовых вод и допустимой влажности грунта, когда при прохождении техники и разработке траншей не нарушается естественная структура почвы и грунта.

Устройство закрытого дренажа производится в соответствии с требованиями раздела 5 ТКП 45-3.04-8-2005 (02250) «Мелиоративные системы и сооружения» [146] и инструкции по строительству закрытого горизонтального дренажа при осушении земель сельскохозяйственного назначения ВСН-С-4-79 [145].

Закрытые коллекторы устраивают из пластмассовых труб диаметром 75–200 мм одновременно с разработкой траншеи с исполь-

зованием дренажированных ЭТЦ-202А (рис. 4.18). Дрены регулирующей сети выполняются из пластмассовых труб диаметром 63 и 90 мм.

Таблица 4.5

Технико-экономические характеристики колонок-поглотителей

Тип колонок	Характеристики							
	S водопримемой поверхности, м ²	Объем фильтрующего заполнителя (засыпки), м ³	Коэффициент фильтрации фильтрующего заполнителя, м/сут.	Площадь перфорации вертикальных и горизонтальных труб-вставок, см ² /п.м	Расход воды, л/с	Объем земляных работ, м ³	Загратагы труда, чел.-ч.	Всего затрат на строительство по ПТМ, руб (в баз. ценах 1991 г., нормах 2006 г.)
Колонка-поглотитель с фильтрующим заполнителем из кнопса без отводящей дрены, тип КБ	8,16	1,8	15–18	–	0,2	5,2	25	124
Колонка-поглотитель на дрене с фильтрующим заполнителем из кнопса, тип КК (А)	8,12	1,2	15–18	30–40	0,2	3,7	19	89
Колонка-поглотитель на дрене с фильтрующим заполнителем из кнопса, тип КК (Б)	8,20	1,2	15–18	30–40	0,4–0,5	3,6	18	90
Колонка-поглотитель с вертикальной трубой-вставкой и фильтрующей засыпкой из песка, тип КВ	4,96	3,0	5–6	30–40	0,2	2,1	15	64



Рис. 4.18. Строительство пластмассового дренажа на объекте Волма, 2011 г.

До начала укладки дренажа должны быть выполнены работы по выносу в натуру планового положения закрытой осушительной сети, расчистке трасс, развозка материалов.

Основой для выноса проекта в натуру служит схема дренажной сети генплана с геодезическими знаками и необходимой для горизонтальной привязки ситуацией. Геодезическая привязка системы выполняется от постоянного репера. При его отсутствии вблизи системы устанавливается временный репер, отметки которого передаются замкнутым нивелирным ходом от ближайшего постоянного.

Первоначально находят местоположение коллектора и одиночных дрен, для чего определяют расстояние от углов поворота открытого канала до устья коллектора и одиночных дрен. Затем по теодолиту определяют осевую линию коллектора, отмеряют его длину с разбивкой пикетажа.

После выноса проекта в натуру и заполнения журнала технического нивелирования составляют продольные профили коллекторов и дрен, а также уточняют план разбивки сети, необходимый при ремонте или реконструкции дренажа. На план наносят положения коллекторов и дрен с учетом изменений, допущенных при выносе проекта на местность.

Точность переноса в натуру оси коллекторно-дренажной сети будет обуславливаться истинным состоянием рельефа поверхности. Допускается отклонение от проектного расположения дрен и коллекторов с учетом необходимости их устройства по существующим понижениям и не обязательным устройством параллельных дрен. Дрены следует прокладывать по каждому выраженному понижению рельефа, изменяя при необходимости принятое расстояние между ними и отступая от принципа их параллельности.

После разбивки пикетажа производится нивелировка трассы коллекторов и дрен. По ее результатам составляют продольные профили и наносят (при необходимости) на генплан изменения в плановом положении дренажных линий, сделанных при выносе проекта в натуру.

При строительстве дренажа обеспечивается следующая последовательность технологических операций:

- разбивка трасс;
- планировка трасс;
- вынос трасс коллекторов и дрен в натуру;
- доставка материалов с приобъектного склада на строящуюся дренажную систему;
- установка и настройка лазерного указателя уклона;
- комплекс работ по устройству коллектора;
- укладка дрены;
- строительство дренажных сооружений (устья, смотровые колодцы, колонки и колодцы-поглотители и др.);
- расчистка вручную места подключения к коллектору и устройство соединения дрены к коллектору;
- исполнительная контрольная нивелировка верха трубы по длине дрены;
- присыпка вручную дрен и коллектора подсушенным растительным грунтом на высоту 20 см;

– засыпка бульдозером траншей коллекторов и дрен.

Укладку дренажных труб начинают от коллектора. Одновременно с укладкой дренажной трубы на дно траншеи производится присыпка ее сыпучими фильтрующими материалами.

В песчаных грунтах возможна присыпка труб местным растительным грунтом при подрезке верхнего слоя стенок траншеи подрезающими скобами дреноукладчика.

При укладке дренажа в мелкозалежных торфяниках, подстилаемых мелкозернистыми и пылеватыми песками, рекомендуется присыпка дрен сухим слоем растительного грунта или дерниной. В пlyingнах обязательна присыпка растительным грунтом или торфом.

Обратная засыпка траншей коллекторов и дрен осуществляется после предварительной присыпки труб, контрольной нивелировки и составления акта на скрытые работы. Засыпку траншей начинают с верхней части (истока) коллектора и дрен. Над засыпанной траншеей необходимо оставлять валик высотой 0,2 м с учетом осадки грунта. Обратная засыпка траншей должна производиться не позднее трех дней со дня их присыпки.

Организационные и конструктивно-технологические решения. Укладка пластмассовых труб в бухтах производится с барабана бухтодержателя либо через трубоукладчик после предварительной развертки бухты вдоль трассы. В местах присоединения дрены к коллектору траншею разрабатывают с недобором грунта над трубами коллектора на 5–15 см. Присоединение трубы к коллектору производится с помощью тройников. Пластмассовые трубы соединяются с коллектором после укладки и присыпки 4–5 м дренажной линии.

Оформление конца дренажной линии выполняют после выглубления рабочего органа экскаватора: пластмассовую трубу обрезают, закрывают заглушкой и изолируют фильтрующим материалом.

Присыпка дрен в минеральных грунтах с коэффициентом фильтрации подпахотного слоя более 0,3 м/сут выполняется растительным грунтом.

В минеральных грунтах с коэффициентом фильтрации подпахотного слоя (горизонта) менее 0,3 м/сут присыпку дренажа производят хорошо фильтрующими материалами (крупный песок, ПГС, торфяная крошка и т. д.) с коэффициентом фильтрации не менее 5 м/сут. [111].

Условия строительства дренажа приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Характеристики условий строительства дренажа

Увлажнение почвы, % от полной влагоемкости	Состояние почвы	Характеристика условий строительства дренажа
Избыточное увлажнение (более 90 %)	текущее	Условия неудовлетворительные. Устройство дренажа запрещено.
Сильно увлажненная (75–90 %)	липкое	Условия неудовлетворительные. Устройство дренажа запрещено.
Хорошо увлажненная (65–75 %)	мягкопластичное	Условия удовлетворительные. Устройство дренажа разрешено.
Слабо увлажненная и сухая (менее 65 %)	твёрдопластичное	Условия хорошие. Устройство дренажа разрешено.

Контроль качества во время строительства. Качество укладки дренажа контролируется в процессе строительства мастером и бригаиром. Основные требования к качеству дренажных линий:

- обратный уклон не допускается;
- дренажные коллекторы, проходящие под дорогой с большим грузопотоком, прокладываются из железобетонных или асбестоцементных труб;
- запрещается укладка труб в траншею в условиях непрерывного притока плавунного грунта. В этом случае следует проводить предварительное осушение участка;
- плано-высотные отметки дренажной линии проверяются контрольным нивелированием через 2–3 м при уклонах до 0,005 и через 5 м при уклонах более 0,005.

На 1000 м выборочного пластмассового дренажа требуется 750 м труб $D = 63$ мм и 270 м труб $D = 90$ мм, 3 тройника 90×63 мм, 1 тройник 63×63 мм, 3 заглушки $D = 63$ мм, 1 заглушка $D = 90$ мм, 1 переходник 90×63 мм.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ОСУШЕНИЯ ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКОВ

5.1. Особенности осушения слабоводопроницаемых почв

Минеральные суглинистые почвы находятся на севере, северо-востоке и востоке Беларуси. Почвы, развитые на лессовидных суглинках, распространены на платообразных равнинах центральной водораздельной части Беларуси. Лессовидные суглинки, рассматриваемые в данной книге, относятся к Оршанско-Могилевской равнине, которая представлена волнообразной поверхностью. Суглинки имеют неоднородный водно-воздушный режим. В отличие от больших болотных массивов, которые постоянно находятся в переувлажненном состоянии, на слабоводопроницаемых почвах избыток влаги испытывают только почвы западин, седловин и тальвегов, разбросанные по всему массиву. Основными причинами переувлажнения минеральных почв являются неблагоприятные водно-физические свойства почвенного профиля, наличие замкнутых микро- и макропонижений, в которых застаиваются атмосферные осадки и талые воды [27]. Около 70 % этих почв относится к автоморфным (почвы нормального увлажнения), 15–20 % – к дерново-подзолистым (временно избыточно увлажненные почвы), 10–15 % – к глеевым и глееватым (переувлажненные почвы). Автоморфные и временно избыточно увлажненные почвы расположены на повышенных элементах рельефа и склонах, а на пониженных элементах (западинах) сформировались глеевые и глееватые разновидности лессовых почв с затрудненным доступом кислорода или без доступа. Наиболее длительное переувлажнение испытывают почвы замкнутых понижений. Т. А. Романова считает значение воды как фактора образования почв Беларуси на столько большим, что некоторые классификации почв страны строились ей именно на гидрологической основе. Водный режим на слабоводопроницаемых суглинистых почвах формируется преимущественно под воздействием атмосферных осадков, а избыточное увлажнение на них возникает из-за замедленного поверхностного стока и низкой инфильтрационной способности суглинков.

Слабоводопроницаемые почвы ($k_{\text{ф}} < 0,1$ м/сут) характеризуются высокой влагоемкостью и малой влагоотдачей. Водоудерживающая

способность и сопротивление почвы проникновению воды у них очень высокая. Отмечается циклическое изменение водопроницаемости тяжелых по механическому составу почв: уменьшение ее в осенне-зимний и увеличение в весенне-летний периоды [193]. При увлажнении слабопроницаемые почвы еще больше снижают свои фильтрационные свойства. Одновременно с этим в корнеобитаемом слое протекают сложные биологические процессы. Н. П. Юрченков [193] указывает на неординарные причины снижения водопроницаемости грунтов: в местах застоя избыточных вод на пожнивных и поукосных остатках поселяются грибы и водоросли, которые образуют желеобразные тела, обволакивающие растительные остатки. При контакте с водой они осаждаются, покрывают поверхность почвы, закупоривают поры и тем самым уменьшают водопроницаемость корнеобитаемого слоя в десятки, а пророй и в сотни раз. Имея микроскопические размеры, низшие водоросли могут мигрировать в грунтах с фильтрующимся поровым раствором [44]. При промерзании почвы или ее высушении клетки водорослей сжимаются без необратимого изменения ультраструктуры и, следовательно, не теряют жизнеспособности, при увлажнении они восстанавливаются. С оттаиванием почвы в ней активизируется процесс коагуляции и, соответственно, увеличивается водопроницаемость [188].

Повышения эффективности использования почв, развитых на лессовидных суглинках, можно достичь с помощью мелиоративных мероприятий, направленных на улучшение водо-воздушного режима. Для осушения западин, заболоченных седловин и тальвегов применяют закрытый дренаж в сочетании с комплексом дополнительных мероприятий по организации поверхностного стока и сбросом воды в водоемы-копани или гидрографическую сеть. Способы мелиорации минеральных почв отличаются от мелиорации торфяников, но при этом мелиоративные сети могут включать некоторые одинаковые конструкции.

Систематический дренаж не всегда эффективен на участках волнистой поверхности, так как при осушении почв, характеризующихся низкой водопроницаемостью, возникают определенные сложности. При заполнении дренажной траншеи грунтом обратной засыпки со временем восстанавливаются исходные свойства почвы. Применение дополнительных мероприятий (водопоглотительные колонки, засыпки дренажной траншеи материалами с вы-

соким коэффициентом фильтрации) дают положительный эффект при условии отсутствия кольматации их верхней водоприемной части.

Организация поверхностного стока на слабоводопроницаемых почвах, особенно в глубоких западинах, не всегда решает проблему ликвидации переувлажнения, и оптимизация водного режима корнеобитаемого слоя почвы достигается редко. При мелиорации земель с холмисто-западинным рельефом особое внимание уделяется осушению западин. Скопление воды происходит в различного уровня вложенности бессточных западинах на фрактальной поверхности. При этом глубина наполнения западины, остающаяся после прекращения поверхностного стока (бессточный объем), определяется наиболее высокой отметкой дна, раскрывающей их, наиболее заглубленной естественной или искусственной трассы стока (талвега, лощины, воронки, борозды и т. п.), а соответствующая величина бессточного объема западины определяется морфометрической характеристикой дна нижней остающейся затопленной ее части [33]. Факторами, лимитирующими плодородие, являются неблагоприятные водно-физические свойства большей части почвенного профиля, обуславливающие плохую аэрацию, низкую водопроницаемость, ограниченную аккумуляцию влаги, преобладание анаэробных процессов [18].

Развитию процессов заболачивания на платообразных равнинах, сложенных лессовидными суглинками, способствуют западинный рельеф, тяжелый механический состав и высокая влагоемкость лессовидных пород. Лессам свойственна значительная просадочность, вследствие чего верхний слой имеет волнистую поверхность – такой рельеф называют холмисто-западинным. Пониженные элементы рельефа зарастают кустарником. Типичная поверхность представлена на рис. 5.1.

В практике осушения лессовидных суглинков Беларуси применялись различные способы мелиорации, работа которых исследовалась такими специалистами как А. У. Рудой [157–160], Г. И. Михайлов [143] и др. В связи с появлением современных материалов, ранее недоступных мелиораторам, и применение их в новых конструкциях мелиоративной сети возникла необходимость исследований осушительного действия этих конструкций для обоснованного применения при реконструкции мелиоративных систем.



Рис. 5.1. Типичный рельеф поверхности почвы, сложенной лессовидными суглинками

5.2. Характеристика опытно-производственного участка «Мазоловский»

Для рекомендации производству наиболее оптимальных способов мелиорации РУП «БЕЛГИПРОВОДХОЗ» при участии РУП «Институт мелиорации» был разработан проект, в котором применены как традиционные, наиболее известные, апробированные на практике способы мелиорации, так и новые конструктивные решения. Чтобы исключить влияние существовавших ранее мелиоративных систем и получить достоверные данные о способах осушения, был выбран опытно-производственный объект нового осушения в СПК «Мазоловский» Мстиславского района Могилевской области Беларуси.

Объект имеет преимущественно атмосферное водное питание, частично – склоновое (делювиальное) и грунтово-напорное в пойме реки Суточка (рис. 5.2), о чем свидетельствует излив напорных вод под уровень воды в реке (грифоны) с выносом глеевых пород. Объект мелиорации расположен в водосборе реки Суточка, относящейся к малым рекам. Площадь опытной системы составляла 95 га, в том числе требовало осушения – 60 га (63 %), площадь западин – 5,1 га (5,3 %) или 90 шт. на 100 га, было закустарено 12,95 га (13,6 %). Количество контуров до мелиорации – 190, после мелиорации – 3. Объект ранее не осушался, за исключением участка пло-

щадью 10 га, осушенного гончарным дренажем в 1964 г., который ко времени проведения осушительных мелиораций (2006 г.) полностью вышел из строя. Рельеф участка, подлежащего мелиорации, представлял собой платообразную волнистую равнину с уклоном к р. Суточка, осложненную западинами площадью 0,04–1,0 га, глубиной 0,2–0,8 м, частично заросшими кустарником. Замкнутые понижения расчленили пашню на участки неправильной конфигурации и вокруг них образовывались огрехи и необработанные участки. Основное количество западин (свыше 60 %) имело площадь до 0,2 га, что обуславливало неоднородный водно-воздушный режим.



Рис. 5.2. Места выхода напорных вод (грифоны) в русле р. Суточка

До 2–3 месяцев и более за вегетационный период в западинах застаивалась поверхностная вода. Западины, как правило, зарастали древесно-кустарниковой растительностью (рис. 5.3).



Рис. 5.3. Закустаренное немелиорированное понижение (экологическая ниша)

Мелкоконтурность земель и западинный рельеф местности являлись основными препятствиями для применения широкозахватной сельскохозяйственной техники, производительность которой снижалась при подготовке почвы к посеву на 12–38, при посеве – на 15–20 и уборке – на 9–14 %. Исходя из анализа рельефа, степени заболачивания западин, их параметров (глубина, площадь), ликвидации мелкоконтурности и в целях эффективности использования земель, проектом были предусмотрены различные способы мелиорации, которые тесно связаны с будущим сельскохозяйственным использованием земель (рис. 5.4).

В структуре почвенного покрова объекта были выявлены следующие почвенные разновидности: дерново-подзолистые суглинистые на площади 41,8 га, дерново-подзолистые слабogleеватые суглинистые – 37,3 га, дерново-подзолистые-глееватые суглинистые – 14,9 га, дерново-подзолистые-глеевые – 4,1 га, дерново-глеевые – 3,2 га, пойменные торфяно-болотные – 8,4 га.

В геологическом строении преимущественное развитие получили лессовидные образования, представленные супесями и суглинками пылеватыми вскрытой мощностью до 8 м. Залегают они с поверхности, а в пойме р. Суточка – под современными болотными образованиями, представленными торфом и торфотуфом мощностью от 0,6 до 3,6 м. В грунтовых водах отмечалось содержание закисного железа в пределах 1,0–2,0 мг/л. Балл бонитета почв – 24,8–27,2.

До проведения осушения из-за постоянного переувлажнения земель в радиусе 50–200 м от западин, а также в отдельных замкнутых понижениях запаздывание с началом ведения весенних полевых работ составляло 15–20 суток. Западины практически не использовались в сельскохозяйственном производстве. До осушения площадь, не используемая в сельскохозяйственном производстве, составляла 47,1 га (рис. 5.5) из 95,5 га, планируемых под осушение, соответственно процент использования земель составлял 52,9 %.

Характеристика качества воды в водоприемнике приведена в табл. 5.1. Анализ данных таблицы показывает, что имеет место превышение норм СанПин 10-124 РБ 99 по цветности и содержанию железа. По другим показателям пробы воды соответствуют требованиям.

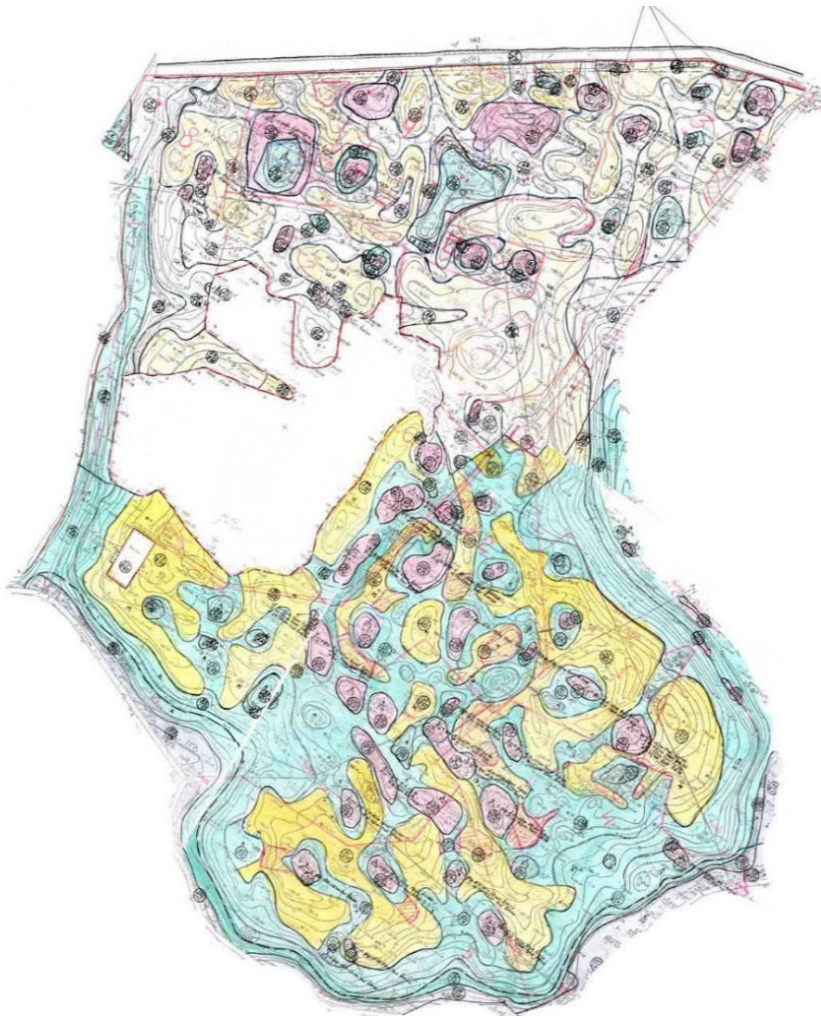


Схема использования земель М1:10000



Рис. 5.4. Схема использования земель в СПК «Мазоловский» после осушения

Для создания условий эффективного сельскохозяйственного использования слабоводопроницаемых почв на объекте запроектированы мелиоративные мероприятия с девятью способами осушения, в соответствии с которыми объект разделен на 9 участков (рис. 5.6).



- Пахотные земли на минеральных почвах
- Суходольные луговые земли на минеральных почвах
- Луговые земли заболоченные
- Кустарник
- Кустарник на торфяных почвах

Рис. 5.5. Ботанико-культуртехническая карта объекта мелиорации в СПК «Мазоловский» Мстиславского р-на Могилевской обл.

Таблица 5.1

Качество воды в р. Суточка, 2007 г.

Наименование загрязняющих веществ и показателей	Ед. изм.	Количество	Норма СанПин 10-124 РБ 99
Запах при 20 °С	балл	0	2
Запах при 60 °С	балл	0	2
Цветность по шкале	град.	30	20
Мутность по стандартной шкале	мг/дм ³	0	1,5
Водородный показатель	рН	7,9	6,0–9,0
Железо (Fe)	мг/дм ³	1,37	0,3
Марганец (Mn)	мг/дм ³	0,04	0,1
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	мг/дм ³	< 33,0	500
Сухой остаток	мг/дм ³	357,0	1000
Хлориды (Cl ⁻)	мг/дм ³	17,4	350
Общая жесткость	экв/дм ³	6,7	7
Нитраты (по NO ₃ ⁻)	мг/дм ³	10,5	40
Фтор (F ⁻)	мг/дм ³	0,19	1,5

При осушении слабоводопроницаемых почв все мелиоративные мероприятия по назначению можно разделить на две группы: отвод поверхностных вод путем ускорения стока воды по поверхности почвы в каналы и перевод поверхностного стока во внутрпочвенный (дренажный) через водопоглотители различных конструкций.

Участок 1 площадью 5 га представлен пятью глубокими понижениями на склоне тальвега. Здесь апробировался один из распространенных способов мелиорации: отвод поверхностных вод колодцами-поглотителями (рис. 5.7). Колодцы располагались по одному в каждом понижении.

При осушении участка были применены конструкции как типовых колодцев-поглотителей (конструкции РУП «БЕЛГИПРОВОДХОЗ») из железобетонных колец с нижним отстойником, так и новых, конструкции РУП «Институт мелиорации», – из гладкостенных полиэтиленовых труб диаметром 22 см с круглой перфорацией и верхним отстойником, а также колодец фирмы «Wawin» из гофрированных поливинилхлоридных труб диаметром 50 см с круглой перфорацией (рис. 5.8). Колодец «Wawin» выполнен заглубленным (потайным).

Такая конструкция ранее не применялась в мелиоративном строительстве на территории Республики Беларусь. Отвод воды от колодцев-поглотителей предусматривался сбросными коллекторами. Гидравлические и фильтрационные расчеты колодцев-поглотителей выполнены на десятипроцентную обеспеченность осадками для двух расчетных периодов: весеннее половодье и летне-осенние паводки – согласно пособию П1-98 к СНиП 2.06.03-85.

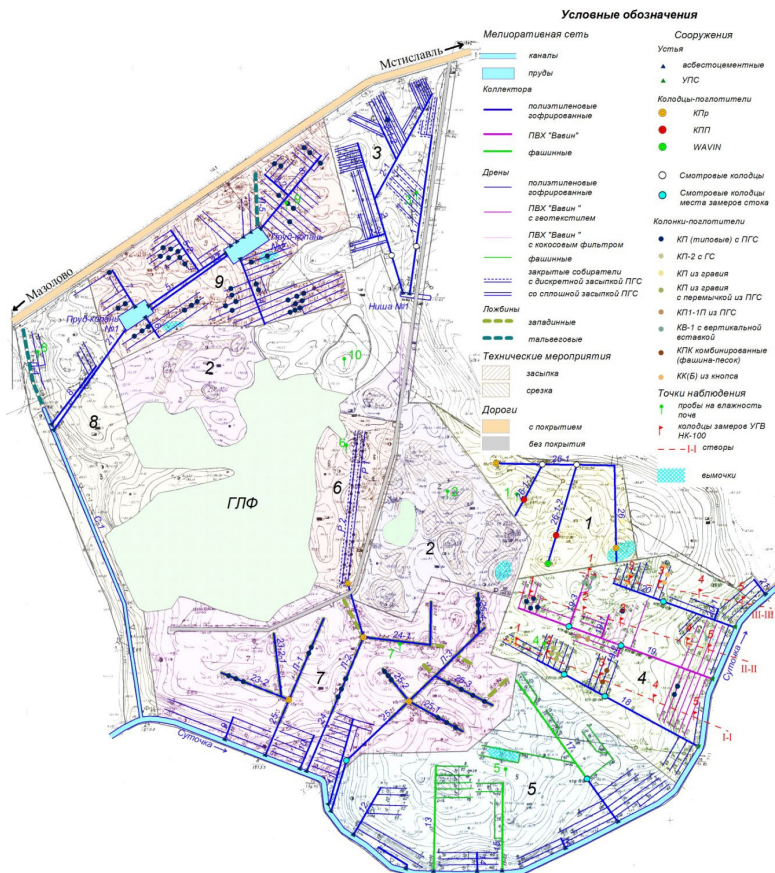


Рис. 5.6. Варианты осушения земель в СПК «Мазоловский»

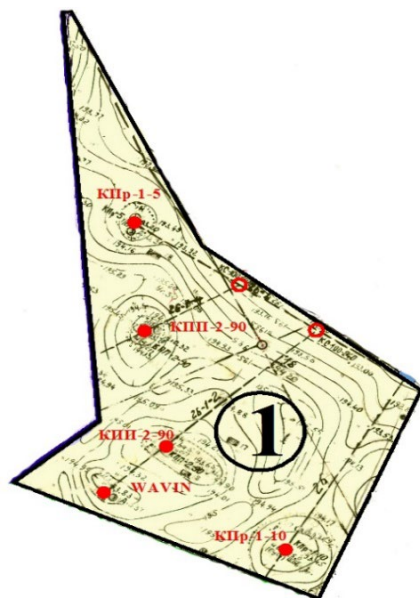


Рис. 5.7. Схема участка 1



Рис. 5.8. Колодцы-поглотители:
 Слева КПП-2-90 конструкции РУП «Институт мелиорации», по центру – потайный колодец-поглотитель Wavin, справа – КПр-1-5 конструкции РУП «БЕЛГИПРОВОДХОЗ»

Авторы книги принимали участие в авторском надзоре за строительством мелиоративной системы в СПК «Мазоловский» (рис. 5.9).



Рис. 5.9. А.И. Митрахович с фильтрующим водоприемным элементом и муфтами колодца-поглотителя КПП-2-90 на участке 1 в 2006 г.

Участок 2 площадью 14 га до мелиорации представлен замкнутыми понижениями небольших размеров. На нем апробировался способ мелиорации – организация поверхностного стока путем раскрытия и засыпки замкнутых понижений на площади 1,5 га с объемом засыпки 7,24 м³ (рис. 5.10). На участке выполнена бульдозерная планировка площадей объемом 3 000 м³. Засыпка понижений производилась в основном за счет грунта, срезаемого при раскрытии понижений, использовался также грунт из расположенных рядом бугров. При высоте перешейка менее 0,40 м понижение раскрывалось на полную глубину с устройством через седловину ложбины стока. Срезаемый грунт разравнивался по сторонам слоем 0,1 м. Засыпка понижений в этом случае не предусматривалась. При площадной планировке бульдозерами засыпка понижений производилась, в первую очередь, за счет срезки седловин с приданием срезаемым и засыпаемым поверхностям уклонов от 0,002 до 0,010. На участке 2 предусмотрена одна ложбина стока со сбросом поверхностных вод в тальвег. При засыпке понижений и их раскрытии с устройством ложбины стока были предусмотрены мероприятия по

сохранению гумусированного слоя грунта. До начала планировочных работ с планируемых площадей убирались остатки древесно-кустарниковой растительности.



Рис. 5.10. Схема участка 2

На участке 3 площадью 7 га мелиорация земель осуществлена выборочным дренажем из полиэтиленовых гофрированных труб в сочетании с мероприятиями по организации поверхностного стока (рис. 5.11). На дренах первого коллектора выполнена пунктирная засыпка траншеи (фильтрующие «окна») песчано-гравийной смесью (ПГС), на дренах второго – сплошная засыпка ПГС.

Участок 4 площадью 12 га расположен в юго-восточной части объекта (рис. 5.12). На нем проведена мелиорация земель пластмассовым дренажем диаметром труб 63–110 мм в сочетании с мероприятиями по организации поверхностного стока и комплексом культуртехнических и агромелиоративных работ. Дренажные системы выполнены из полиэтиленовых гофрированных труб отечественного производства (г. Жлобин) и поливинилхлоридных гофрированных фирмы «Wawin» (Нидерланды) (на рисунке показан красным цветом и расположен в центре участка). На этом участке апробируются также различные виды защитно-фильтрующих материалов: «ПИНЕМА» (РБ), «Тураг» производства фирмы DuPont (США), кокосовое волокно производства Naue (Германия) (рис. 5.13).

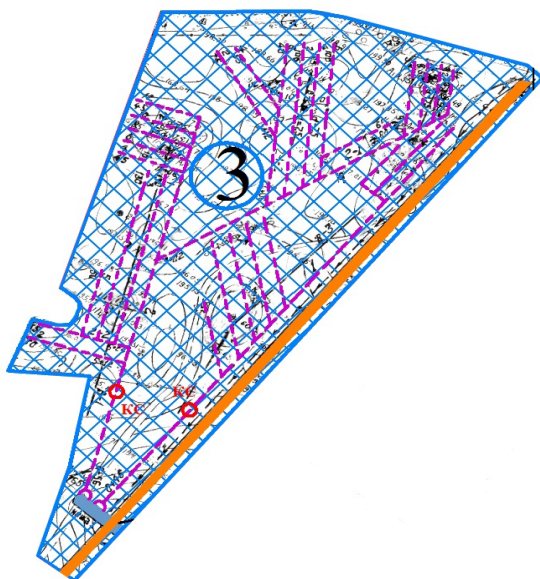


Рис. 5.11. Схема участка 3



Рис. 5.12. Схема участка



Рис. 5.13. Дренажные трубы с геотекстильным фильтром «ПИНЕМА» (слева) и их укладка ЭТЦ-202 (справа)

На дренах устроены различные виды колонок-поглотителей. Длина закрытой проводящей сети составляет 1,2 км, регулирующей сети – 4,2 км. Объем засыпки составил 0,5 га или 25 тыс. м³.

По предложению РУП «Институт мелиорации» на участке 4 выполнены следующие мероприятия:

1) построена дренажная система из гофрированных поливинилхлоридных труб фирмы «Wawin» с закладными деталями (муфтами, тройниками и др.). В качестве защитно-фильтрующих материалов на них применены геотекстиль «Тураг® Pro», а также объемный фильтр из кокосовых волокон Naue (рис. 5.14). Обсыпка дрен произведена по двум вариантам – растительным грунтом на высоту 20 см и песком слоем 15 см по всей длине. В Республике Беларусь дренаж из полиэтиленовых гофрированных труб с фильтром из геотекстиля «Тураг® Pro» и объемным фильтром из кокосовых волокон Naue впервые построен в СПК «Мазоловский»;



Рис. 5.14. Дренажные трубы на участке 4. Слева – с геотекстильным фильтром «Тураг», справа – с кокосовым фильтром Naue

2) на дренах установлены колонки-поглотители комбинированные КПК. Они соединенные между собой под пахотным слоем перемышкой из ПГС. Длина колонки 8 м, расстояние между колонками 12 м, перемышка шириной 0,5 м заполнена ПГС слоем 0,3 м и покрыта гумусным грунтом слоем 0,3 м. Установлены колонки-поглотители КК(Б) конструкции РУП «Институт мелиорации» с фильтром-заполнителем из отходов легкой промышленности – синтетического материала «кнопс» (рис. 5.15). Построены колонки-поглотители, заполненные ПГС, с вертикальной вставкой КВ-1. Для проведения сравнительного анализа эффективности работы установлены типовые конструкции колонок-поглотителей на дренах из полиэтиленовых труб;

3) для замера дренажного стока на коллекторах предусмотрено устройство пяти смотровых колодцев. Смотровые колодцы выполнены с перепадом в 0,2 м подводящей и отводящей трубы;

4) на вариантах осушения для замеров уровней почвенно-грунтовых вод установлены 15 наблюдательных скважин диаметром 12 см.



25.07.2006 г.



25.07.2006 г.



24.04.2008 г.



30.09.2009 г.

Рис. 5.15. Колонки-поглотители КК(Б) с материалом «кнопс»

Сотрудники РУП «Институт мелиорации» осуществляли авторский надзор за строительством (рис. 5.16).



Рис. 5.16. Сотрудники РУП «Институт мелиорации» с застройщиком на участке 4 объекта «Мазоловский» в 2006 г.

Слева направо: Саквенков К. М., Линкин Н. Г. (главный инженер ОАО «ПМК-94 Водстрой» г. Мстиславль), Митрахович А. И., Казьмирук И. Ч.

Участок 5 площадью 15 га находится в южной части объекта (рис. 5.17). Здесь осуществлена мелиорация земель выборочным фашинным дренажем диаметром 150 мм. Проводящая сеть выполнена из двух фашин диаметром 200 мм (рис. 5.18). Предусмотрены мероприятия по организации поверхностного стока, проведен комплекс культуртехнических и агромелиоративных работ. Длина закрытой проводящей сети – 0,83 км, регулирующей сети – 3,62 км. Объем засыпки понижений – 1,6 тыс.м³ на площади 0,4 га.

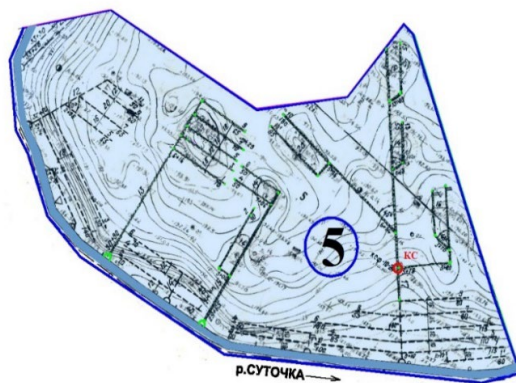


Рис. 5.17. Схема участка 5



Рис. 5.18. Фашиный дренаж на участке 5

Участок 6 площадью 4 га расположен в центральной части объекта и представлял собой цепочку из трех западин. Мелиорация земель проведена закрытыми собирателями из пластмассовых труб диаметром 126 мм длиной 550 м с устройством пунктирной фильтрующей засыпки траншеи (собиратель Р1) и колонок-поглотителей с вертикальной вставкой КВ-1 (собиратель Р2). (рис. 5.19). Между участками пунктирной фильтрующей засыпки предусмотрено устройство объемного фильтра из ПГС высотой не менее 0,2 м над верхом дренажных труб.

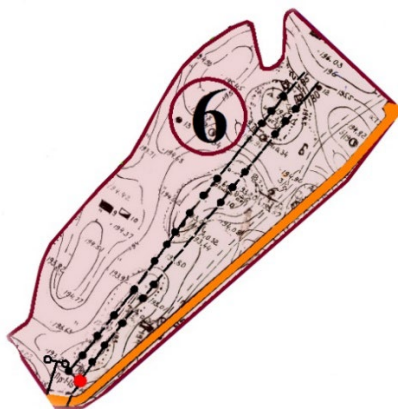


Рис. 5.19. Схема участка 6

Участок 7 площадью 18 га находится в юго-западной части объекта (рис. 5.20). На нем располагались небольшие понижения вытянутой формы, в основном чистые от древесно-кустарниковой растительности. Мелиорация земель выполнена ложбинами для отвода поверхностных вод из замкнутых понижений. Сброс воды из ложбин осуществляется в р. Суточка. Общая длина ложбин 1,5 км. Дно западной ложбины за седловиной выводится на поверхность земли. Под дном засеваемой ложбины заложен коллектор, с помощью которого обеспечивается отвод поверхностных вод, задержавшихся в мелких понижениях, растительном покрове дна и откосах ложбины, а также осуществляется своевременное понижение уровня грунтовых вод в пойме реки. Длина подложбинных коллекторов 1,65 км. Для уменьшения глубины ложбин выполняется частичная засыпка понижений. Предусмотрена пунктирная фильтрующая засыпка подложбинных коллекторов. При устройстве ложбин было выполнено снятие растительного слоя грунта с перемещением его на прилегающие площади.

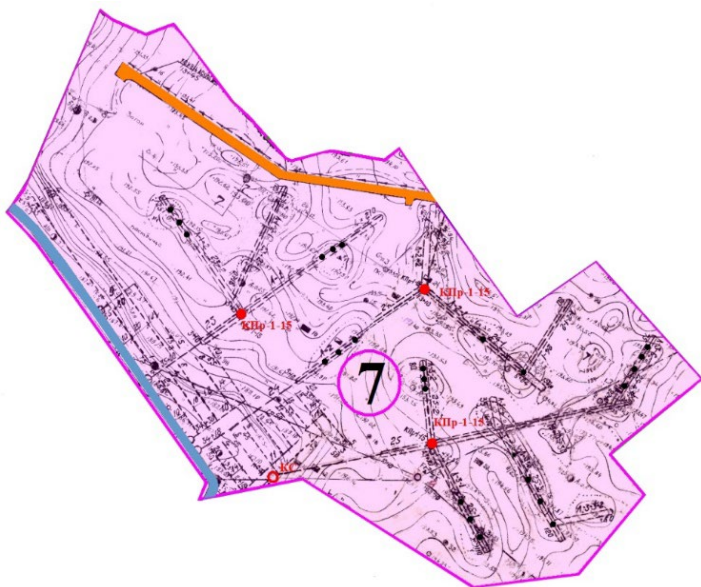


Рис. 5.20. Схема участка 7

Участок 8 площадью 9 га расположен в западной части объекта. На участке построена тальвеговая ложбина с подложбинным коллектором длиной 0,16 км и закрытый выборочный дренаж общей длиной 0,47 км (рис. 5.21).

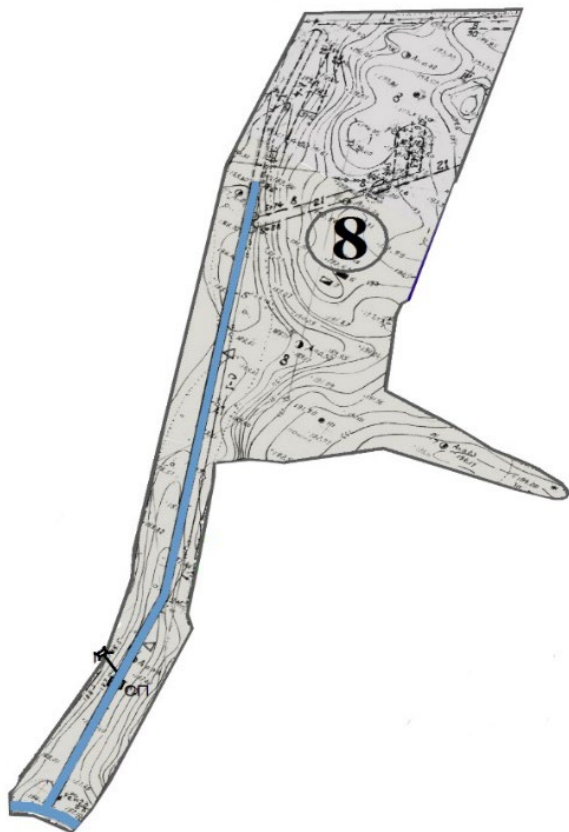


Рис. 5.21. Схема участка 8

Участок 9 площадью 11 га находится в северной части объекта (рис. 5.22). Он включает в себя две обширные западины площадью до 1,0 га, заросшие древесно-кустарниковой растительностью, а также тяготеющие к ним понижения площадью 6,0 га. Мелиора-

ция земель была проведена выборочным пластмассовым дренажем в сочетании с аккумуляцией поверхностного и дренажного стока водоемами-копанями (метод Ф. К. Куропатенко).

Согласно расчету объем водоемов-копаней составляет 9,16 тыс. м³. Для обеспечения бесподпорной работы дренажных систем предусмотрено устройство сбросных коллекторов длиной 0,5 км для сброса воды из копани 1 в копань 2 и последующим сбросом в канал С-1. Длина закрытой регулирующей сети 5,16 км, проводящей – 0,7 км.

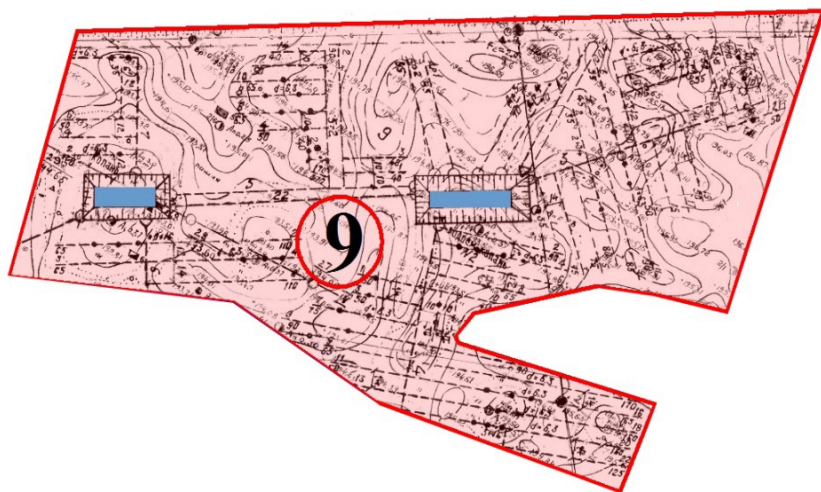


Рис. 5.22. Схема участка 9

На всей площади объекта проведены мероприятия по организации поверхностного стока и комплекс культуртехнических и агро-мелиоративных работ.

Для пропуска расчетного паводкового расхода с учетом дополнительного стока с мелиоративного объекта проведено углубление и уширение р. Суточка.

Объект построен в 2006 году. После завершения строительства начаты исследования по установлению эффективности осушительного действия различных способов мелиорации.

Краткое описание способов мелиорации по участкам представлено в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Апробированные способы осушения на объекте мелиорации
в СПК «Мазоловский» Мстиславского р-на Могилевской обл.

Номера участков	Площади участков, га	Способ осушения
Участок 1	5	Отвод поверхностных вод 5-ю колодцами поглотителями различных конструкций, расположенными на 4-х сбросных коллекторах
Участок 2	13,6	Организация поверхностного стока путем раскрытия и засыпки замкнутых понижений с устройством ложбины стока через седловину
Участок 3	6,7	Выборочный дренаж. На собирателях коллектора 1 выполнена сплошная засыпка ПГС, на собирателях коллектора 2 – «пунктирная» засыпка ПГС
Участок 4	11,9	Выборочный дренаж с колонками-поглотителями и дренажными трубами различных конструкций. На участке исследуются различные виды ЗФМ. Коллектор 19, дрены и закладные детали к ним выполнены из поливинилхлоридных дренажных труб фирмы «Wawin»
Участок 5	14,3	Выборочный фашинный дренаж
Участок 6	3,6	Мелиорация земель проведена закрытыми собирателями с устройством пунктирной фильтрующей засыпки дренажной траншеи (собиратель Р1) и колонок-поглотителей с вертикальной вставкой КВ-1 (собиратель Р2).
Участок 7	16,8	Ложбины с подложбинными коллекторами для отвода поверхностных вод из замкнутых понижений; в местах перепада уклона установлены колодцы-поглотители
Участок 8	8,7	Тальвеговая ложбина с подложбинным коллектором и выборочным закрытым дренажем
Участок 9	10,7	Выборочный дренаж, аккумуляция поверхностного и дренажного стока водоемами-копанями 1 и 2

В качестве агромелиоративных мероприятий на объекте в 2006 г. проводилось рыхление почвы рыхлителем РУ-65-52, который агрегировался с трактором К-700: число рыхлящих стоек 2, расстояние между стойками 1,6 м, глубина рыхления – до 0,5 м. Направление движения агрегата выполнялось перпендикулярно или под острым углом к дренажным линиям. Рыхление проводилось после планировки поверхности почвы по всей площади, исключая западины (рис. 5.23).



Рис. 5.23. Поверхность участка 7 после сплошного глубокого рыхления почвы (11.06.2006 г.)

Комплекс последующих систематических наблюдений включал нижеперечисленные работы:

1. Определение влажности и влагозапасов почвы.

Влажность почвы измерялась на глубине 20 и 40 см в репрезентативных точках участков в засушливые и влажные периоды, но не реже 1 раза в 10 дней, на каждом участке не менее чем по 1 точке и 1 точка на неосушенном участке. Отборы проб выполнялись с трехкратной повторностью. Однократно произведен отбор проб на определение полной влагоемкости грунта (лессовидного суглинка). По полученным данным были рассчитаны влагозапасы почвы.

2. Замеры дренажного стока.

В период половодья, а также после выпадения осадков в устьях коллекторов и в смотровых колодцах каждые 3–5 дней измерялся дренажный сток (при его наличии). На основе полученных результатов определен модуль дренажного стока.

3. Замеры уровней грунтовых вод.

Вне зависимости от погодных условий с периодичностью 1 раз в три дня проводились замеры уровней грунтовых вод по наблюдательным колодцам глубиной 2 м, расположенным на участке 4 в пойменной части р. Суточка.

4. Обследование мелиоративного состояния.

Для проведения дальнейших исследований параметры мелиоративных систем внесены в таблицу 5.3.

Таблица 5.3

Параметры дренажных систем объекта «Мазоловский»

№ коллектора	№ смотрового колодца	Длина, м	Длина дрена	Площадь водосбора, га	Количество колонок-погл., шт.	Конструкции колонок	Материал дренажных труб
Участок 4							
18		400	930	3,0	10	гравийн.	полиэтилен
	1	210	750	2,7	10	грав.+фашина	
	2	120	440	1	7		
19		370	2000	5,5	10	ПГС	трубы ПВХ «Wawin»
	3	200	1010	2,16	10	кнопс	
	4	100	390	0,75	8	с вертикал. вставкой	
20		230	742	1,5	4	кнопс	полиэтилен
	5	90	352	0,7	4		
Участок 5 (фашинный дренаж)							
13		180	324	0,5			фашина
15		150	200	0,7			фашина
17	6	250	590	3,5			фашина
Участок 7 (западинные ложбины)							
25	7	340	425	3,3			полиэтилен
Участок 7+6 (закрытые собиратели)							
24	8		425+560	3,3+2,5	24	с вертикал. вставкой + типовые	полиэтилен
24-1	9						
Участок 6							
Со-бир. 1, 2	10 11	560	560	2,5	24	с вертикал. вставкой + типовые	полиэтилен

5.3. Метеорологические условия по объекту и мелиоративная обстановка

Для установления осушительной способности вариантов осушения проводились исследования по изучению его эффективности. Метеорологическое обеспечение исследований осуществлялось метеорологической станцией в г. Мстиславль, расположенной на расстоянии 5 км от базового объекта. Метеостанция Мстиславль находится в северо-восточной части одноименного города, который расположен на Оршано-Могилевской равнине, расстояние до метеостанции в г. Горки 61 км.

Климат нашей республики умеренно-континентальный и характеризуется мягкими зимами с частыми продолжительными оттепелями. Климат относится к гумидному, т.к. на территории выпадает от 550 до 750 мм осадков в год, преимущественно в осенне-зимний период. По температурному режиму и обеспеченности осадками северо-восточная часть характеризуется как прохладная и влажная. Самым холодным месяцем года является январь, его среднеголетняя климатическая норма составляет минус 8,3 °С, а самым теплым – июль, его среднеголетняя климатическая норма составляет 17,6 °С (по г. Горки). Климат в Мстиславле умеренно теплый, летом сохраняется преимущественно облачная погода, а зимой встречаются морозные, снежные, ветреные и пасмурные дни. В течение года температура колеблется в среднем от минус 10 °С до плюс 24 °С, редко бывает ниже минус 22 °С или выше +29 °С. По данным метеостанции в г. Горки средняя многолетняя сумма осадков составляет 667 мм в год. Среднегодовая температура воздуха равна 4,8 °С.

Учет метеорологических условий имеет важное значение, т. к. температура вегетационного периода и количество осадков влияют на урожай сельскохозяйственных культур. В вегетационный период возможен рост и развитие растений. Продолжительность его может различаться по годам. Условно за начало и конец вегетационного периода принимают переход среднесуточной температуры воздуха через отметку +5 °С. Эта температура считается благоприятной для роста и развития растений. При оценке метеорологических условий вегетационного периода важными показателями, характеризующими условия произрастания растений, являются его продолжительность, сумма положительных температур воздуха, среднесуточная температура воздуха, сумма осадков за вегетационный период.

Для определения условий работы мелиоративных систем были собраны метеоданные в 2008, 2009, 2010 гг., которые включали наблюдения за температурой воздуха и осадками (рис. 5.24–5.26).

Вегетационный период 2008 года по температурному режиму можно охарактеризовать как благоприятный для роста зерновых. Весна была ранняя, среднемесячная температура воздуха в апреле превышала норму на 5,8 °С. В первой половине мая отмечались почвенные заморозки. В другие месяцы вегетационного периода температура воздуха незначительно отличалась от среднемноголетних значений. По температурному режиму 2008 год на основе анализа метеоданных характеризовался как достаточно теплый.

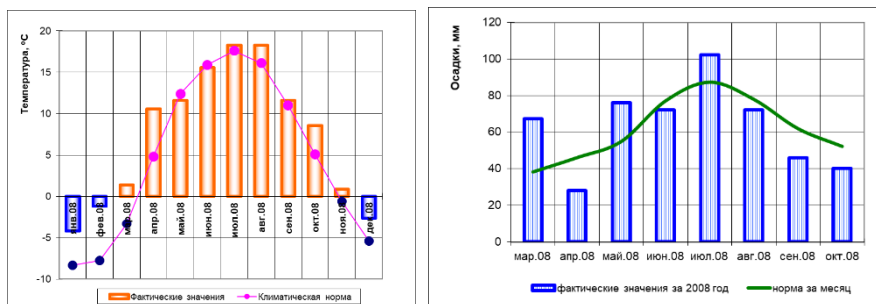


Рис. 5.24. Среднемесячная температура воздуха, °С, и месячная сумма осадков, мм, по метеостанции в г. Мстиславле, их отклонение от климатической нормы в 2008 г.

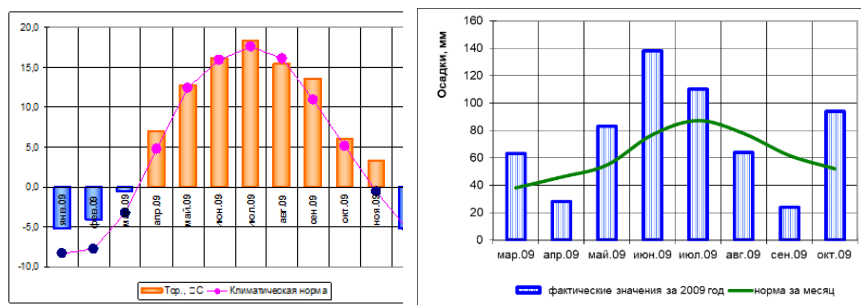


Рис. 5.25. Среднемесячная температура воздуха, °С, и месячная сумма осадков, мм, по метеостанции в г. Мстиславле, их отклонение от климатической нормы в 2009 г.

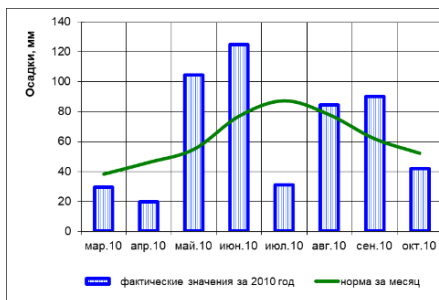
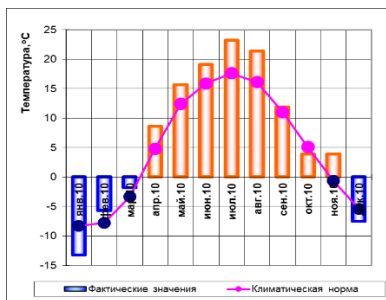


Рис. 5.26. Среднемесячная температура воздуха, °С, и месячная сумма осадков, мм, по метеостанции в г. Мстиславле, их отклонение от климатической нормы в 2010 г

Количество выпавших за вегетационный период (март-октябрь) осадков в 2008 г. составило 503,0 мм при среднемноголетней норме 496,3 мм, что характеризует вегетационный период как средний по обеспеченности осадками.

Температура воздуха в 2009 году превышала среднемноголетние показатели в апреле на 2,2, в сентябре на 2,6 °С. Год можно назвать избыточно теплым, среднегодовая температура воздуха составила плюс 6,5 °С, что на 1,7 °С выше климатической нормы. Количество выпавших осадков – 604 мм – характеризовало вегетационный период 2009 г. как избыточно увлажненный. Как видно из графика выше, влажными были май, июнь, июль и октябрь; превышение среднемноголетних данных на 151, 178,9, 125,9, 179,8 % соответственно. В целом 2009 год можно охарактеризовать как достаточно теплый и избыточно увлажненный.

Вегетационный период 2010 года по температурному режиму можно охарактеризовать как жаркий для условий Беларуси, лето было одним из самых теплых за всю историю метеонаблюдений. Превышение климатической нормы по температурному режиму наблюдалось на протяжении всего вегетационного периода. В мае, июне, июле и августе температура превышала среднемноголетние значения на 3,2, 3,2, 5,6, 5,3 °С соответственно.

Избыточно увлажненными были май, июнь и сентябрь, средним по влажности – август. В апреле и июне выпало небольшое количество осадков – 42 и 35 % от нормы соответственно. По данным за год, обеспеченность осадками составила 105,7 % от нормы.

Три года проведенных наблюдений были различными по температурному режиму и количеству осадков, что позволило получить достоверные данные о работе дренажных систем.

5.4. Полевые исследования на объекте мелиорации «Мазоловский»

Объект мелиорации «Мазоловский» с 2007 года эксплуатируется сельскохозяйственным производственным кооперативом с одноименным названием. На объекте в 2007–2010 гг. проводились исследования мелиоративной обстановки, водного режима и технического состояния систем, которые характеризуют осушительную эффективность запроектированных мероприятий. Путем визуально-инструментального обследования изучалось состояние мелиорированных земель – наличие скопления воды и избыточно переувлажненных площадей в период весеннего половодья и летне-осенних паводков, исследовалось состояние обводненности территории в засушливые периоды.

По результатам исследований был проведен анализ запроектированных мероприятий и определены наиболее эффективные из них.

Мелиоративная обстановка. В 2007 году из-за незначительного количества осадков на участках не было значительных затоплений, которые задерживались более трех дней. Инструментальные наблюдения 2008 года показали, что после весеннего половодья и в периоды обильных дождей в понижениях мезорельефа наблюдалось образование луж, большинство из которых исчезало через два-три дня при условии, если не было осадков. Это не приносило значительного ущерба посевам, но на каждом участке наблюдались лужи, которые оставались около недели: на границе участков 1 и 4 в 100 метрах от колодца-поглотителя КПр-1-10 конструкции «БЕЛГИПРОВОДХОЗ» площадь затопления составила около 500 м², на 2-ом участке – 350 м² и на границе 4 и 5 участков – 400 м². Результаты наблюдений иллюстрируются рис. 5.27. Видно состояние участков в весенний и осенний периоды: почва избыточно переувлажнена, местами имеется слой поверхностного затопления. На участке 7 (рис. 5.27.) осуществлялся сброс поверхностных вод по дну ложбины стока.

2009 год – избыточно увлажненный. Постоянно переувлажненные площади, образовавшиеся в 2008 г., увеличились примерно на 50–100 м² и появились новые площади переувлажнения от 100 до 400 м² на всех участках, кроме участков 3, 5 и 8.

Следует отметить, что образование больших луж в некоторых случаях – это не плохая работа систем, а неправильная организация эксплуатации мелиоративного объекта. Они образовались от прохода тяжелой сельскохозяйственной техники по избыточно переувлажненному грунту (рис. 5.28). Это последствия несвоевременной работы тяжелой сельскохозяйственной техники, когда осуществляется ее проход поперек ложбин по непросохшей почве, при этом остаются глубокие колеи и валки, которые, перерезая ложбины и тальвеги, препятствуют поверхностному стоку.



01.10.2008 г. Площадь переувлажнения около 500 м² на участке 1



01.10.2008 г. Площадь переувлажнения около 350 м² на участке 2



24.04.2008 г. Ложбина стока на участке 7



21.10.2008 г. Лужа на участке 9

Рис. 5.27. Переувлажненные участки почвы в СПК «Мазоловский»



24.04.2008 г. Участок 7



03.04.2009 г. Участок 2

Рис. 5.28. Колея от сельскохозяйственной техники

Зафиксированы небольшие проявления линейной водной эрозии на участках 4 и 5 в 2008 году. На этих участках имеется большой перепад высот до 8 метров, а лессовидные суглинки относятся к эрозионноопасным землям. Увеличение водной эрозии наблюдалось на участках 1, 4, 5, 7 в весенний период. На 5-ом участке водная эрозия увеличилась и наблюдались значительные ручейки, которые размывали почву до 30–40 см (рис. 5.29).



24.04.2008 г. Участок 7



16.04.2009 г. Участок 5

Рис. 5.29. Эрозия почвы

В последующие годы в августе 2009 и 2010 гг. объект был засеян озимыми культурами, что в весенний период уменьшило водную эрозию, поскольку поверхностный сток был организован по закрепленной корнями растений почве.

Наблюдения 2010 года показали, что водный режим на объекте формировался под влиянием метеоусловий: в весенний период и после обильных дождей в понижениях мезорельефа наблюдалось переувлажнение почвы, местами образовывался слой затопления. После просыхания почвы всходы озимой пшеницы были изреженными. По сравнению с 2009 годом на участках 7 и 9 отмечается образование новых понижений, в которых застаивается вода, что характерно для просадочных пород – лессовидных суглинков. Это указывает на неустановившейся характер процессов осадки почвы после проведения мелиоративных мероприятий.

Ниже колодца КПр, расположенного на коллекторе 26 (участок 1), в 2007 г. появилась переувлажненная площадь, которая к 2010 г. составила 1,2 га. Второй участок на протяжении всего срока наблюдений находился в удовлетворительном состоянии, за исключением небольшой вымочки на границе с четвертым, которая образовалась в результате просадки почвы. Третий участок на протяжении всего срока наблюдений переувлажненных площадей и вымочек не имел. Это может объясняться как эффективностью запроектированных мероприятий, так и тем, что участок имеет самые высокие на объекте абсолютные отметки поверхности земли, с которых стекает вода. На четвертом участке имелись небольшие по площади вымочки, которые не создавали существенных препятствий для сельхозобработки почвы, за исключением поймы, которая после 2007 года не засеивалась и посевы кукурузы на ней остались неубранными. Это может быть обусловлено грунтово-напорным водным питанием поймы, поскольку уровни грунтовых вод в весенний период находились на поверхности.

Пятый участок имел большую вымочку, площадью 1,4 га. Шестой участок имел удовлетворительный водно-воздушный режим. Колодец-поглотитель, находившийся на собирателе Р-1, полностью заилился в первые 2–3 года эксплуатации (рис. 5.30) и был демонтирован. Лессовидный суглинок содержит большое количество пылеватых частиц, что способствует его повышенной размываемости. Грунт, проникая в пространство между кольцами колодца, способ-

ствовал ускоренному его заилению. После демонтажа колодца-поглотителя в 2008 г. собиратель Р-1 находится в нерабочем состоянии. Излишне было устраивать на площади 3,6 га два собирателя, поскольку при работе только одного из них (Р-2) соблюдался водный режим, близкий к оптимальному (рис. 5.31). Рельеф седьмого участка более ярко выражен по сравнению со вторым, планировку на нем проводить было нецелесообразно, поэтому проведенное осушение его ложбинами стока с подложбинными коллекторами явилось правильным решением.



Рис. 5.30. Заиление смотрового колодца на участке 6 в 2007 г.



Рис. 5.31. Состояние участка 6 в 2008 г.

На протяжении всего периода наблюдений с 2007 по 2010 гг. седьмой участок не имел вымочек и переувлажненных площадей. Обследование осенью 2011 г. на участке 7 выявило вымочку площадью 0,6 га с полной гибелью урожая на ложбине коллектора 26-2-1, что объясняется просадочностью лессовидных суглинков. Поскольку Подложбинный коллектор имел засыпку из песчано-гравийной смеси до подпахотного горизонта, что способствовало созданию промывного режима, выщелачиванию солей и, как следствие, просадке грунта. Восьмой участок, имеющий равномерную наклонную поверхность (за исключением понижения, в котором устроена ложбина) в сторону канала С-1, на протяжении всего срока наблюдений переувлажненных участков не имел. Девятый участок имел неблагоприятный водный режим на протяжении всего периода наблюдений, что связано с ошибками в эксплуатации. Участок периодически использовался под пастбище, а водоемы-

копани – для водопоя коров. Легкие асбестоцементные устья были полностью уничтожены копытами крупного рогатого скота, что затруднило сток с дренажных систем и привело к переувлажнению территории. При прокладке нового газопровода в 2008 г. для газификации деревни Мазолово Мстиславского района были перерезаны дрены, что привело к избыточному переувлажнению площадей вдоль дороги Мазолово-Мстиславль. Неоднократно повреждалась сбросная труба 22 с пруда-копани 2, что приводило к переполнению копани и ее разливу в весенний период 2008 года. В то же время нельзя отрицать рекреационной ценности прудов-копаней, которые использовались как места отдыха и рыбной ловли.

В неблагоприятные периоды года (дожди, снеготаяние) уровень грунтовых вод в пойме повышается приблизительно на 0,5 м, в пределах лессовидной равнины образуется верховодка. Пополнение запасов грунтовых вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков.

Заболачивание территории происходит вследствие застаивания атмосферной влаги в западинах, микропонижениях, тяжелого механического состава почвообразующих и подстилающих пород.

В августе 2010 г. после уборки урожая была проведена GPS съемка (рис. 5.32) геометрических параметров понижений, в которых наблюдалась полная гибель урожая. Самые крупные из них были нанесены на карту. В результате суммирования площадей было установлено, что повторное заболачивание составляет только 3 % от общей засеваемой площади мелиорированных земель.



Рис. 5.32. GPS съемку на объекте выполняет Казьмирук И.Ч.

Наблюдения за *уровнями грунтовых вод*. На территории участка выше поймы уровни грунтовых вод на протяжении всего периода наблюдений находились на глубине более 2 м. Лессовидная волнистая равнина сложена слабоводопроницаемыми грунтами. Проведены наблюдения за УГВ в пойме реки Суточка, сложенной торфяно-болотными грунтами, по трем колодцам, относящимся к наблюдательным створам, с периодичностью один раз в три дня.

Результаты наблюдений за уровнем грунтовых вод представлены на рис. 5.33–5.34. Из графика видно, что УГВ находились недопустимо близко к поверхности земли, а вне створа наблюдений выходили на поверхность. Пики приходятся на период снеготаяния и периоды выпадения осадков. Все это препятствовало прохождению сельскохозяйственной техники в пойме реки Суточка, являющейся водоприемником мелиоративной системы «Мазоловский». Глубина водоприемника в пределах участка составляет 1,3–1,6 м, а глубина потока воды в нем в период наблюдений в среднем составляла 0,15–0,20 м.

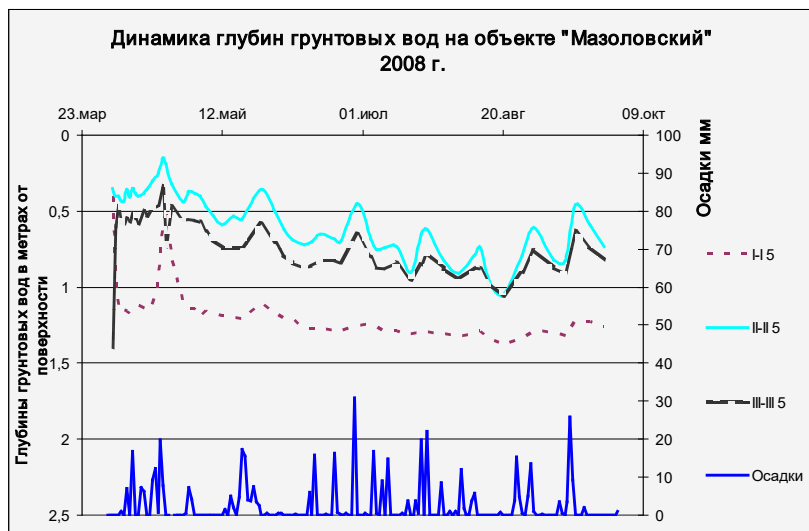


Рис. 5.33. Глубины грунтовых вод в пойме реки Суточка по наблюдательным колодцам в 2008 г.

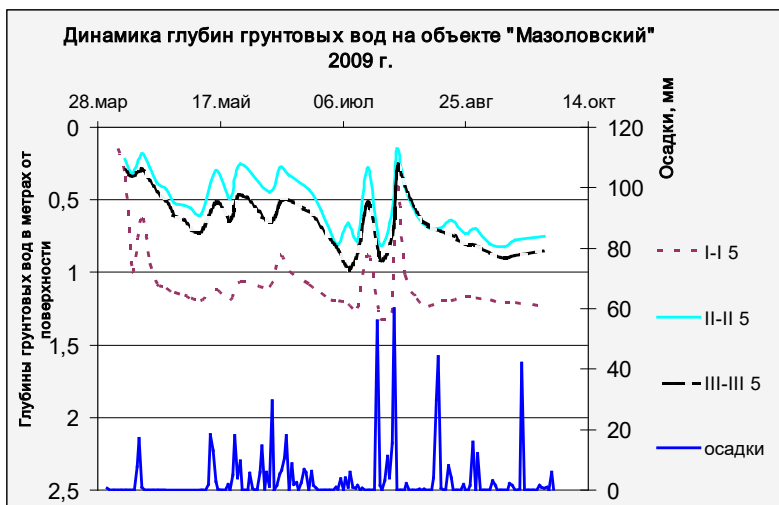


Рис. 5.34. Глубины грунтовых вод в пойме реки Суточка по наблюдательным колодцам в 2009 г.

В пойменной части, сложенной торфяно-болотными почвами, УГВ колебался в пределах 0,2–1,5 м. Это объясняется близким залеганием водоупора, равнинной поверхностью поймы, на которую поступают атмосферные осадки и поверхностный сток из выше расположенной территории, а также частично – из-за напорных грунтовых вод, имеющих в пойме места разгрузки.

Выпавшие во второй декаде апреля 2008 г. обильные осадки вызвали подъем УГВ до 0,2–0,5 м от поверхности земли. В понижениях УГВ достигли поверхности земли. Высокое стояние УГВ затруднило проход техники и пойменная часть не была засеяна и не обрабатывалась с 2008 года.

Выпавшие во второй декаде апреля 2009 г., конце мая и середине июля обильные осадки вызвали подъем УГВ до 0,2–0,4 м от поверхности земли. В эти периоды наблюдался выход УГВ на поверхность земли, что связано также с большим поднятием уровня в водоприемнике почти до бровки. На объекте в начале 2008 года бобрами была построена плотина в районе 4-го участка (рис. 5.35–5.36). Из-за этого большинство устьев на водоприемнике находились в подпоре в 2008–2011 гг.



Рис. 5.35. Плотина бобров на реке Суточка в 2008 г.



Рис. 5.36. Плотина бобров на реке Суточка в 2009 г. (29.05.2009)

Судить по величинам УГВ о соответствии водного режима требованиям для развития растений не представляется возможным, пойма не эксплуатировалась сельскохозяйственной организацией и была засеяна только один раз (кукурузой в 2007 г.), а урожай не был собран из-за высоких уровней грунтовых вод, которые препятствовали прохождению сельскохозяйственной техники.

Главным критерием оценки водного режима остается влажность почвы.

Влажность почвы является важным экологическим фактором для прорастания семян и роста растений. Почвенная влага оказывает непосредственное влияние на рост и развитие корневой системы, надземной массы, на интенсивность прохождения физиологических процессов в растении, на общее их состояние.

Отбор проб почвы для определения динамики влажности на изучаемых участках проводился по репрезентативным точкам мезорельефа один раз в декаду в течение вегетационного периода. На участке 1 пробы отбирались в точке 3, расположенной в четырех метрах от КПП-2-50 в границах замкнутого понижения. Отбор проб на влажность на 2 участке производился в двух точках. Точка 1 располагалась на дне засеваемой ложбины стока, точка 2 – посередине прилегающего склона. Участок 4 включал три точки отбора проб (4, 5 и 6), расположенные в междренних промежутках коллекторов 18 и 19. На участке 5 точки отбора проб выбраны в наиболее пониженных элементах рельефа на коллекторных системах 13 и 17.

Влажность определялась термостатно-весовым методом, и ее значения сравнивались с наименьшей влагоемкостью (НВ) и влажностью разрыва капилляров (ВРК), полученными для лессовидных суглинков объекта.

Изучение работоспособности водопоглотительных устройств проводилось путем определения интенсивности перевода поверхностных вод во внутрипочвенный и дренажный сток и динамики влажности корнеобитаемого слоя почвы в местах их установки.

В 2008 году в условиях не влажного вегетационного периода практически на всех участках влажность в пахотном и корнеобитаемом слоях почвы находилась в оптимальных пределах (рис. 5.37). Исключением являлись участки 4 и 5, на которых наблюдалась влажность ниже оптимального предела. Это можно объяснить как избыточным осушением мелиоративной сети, так и рельефом местности, имеющим небольшой уклон в сторону поймы р. Суточка.

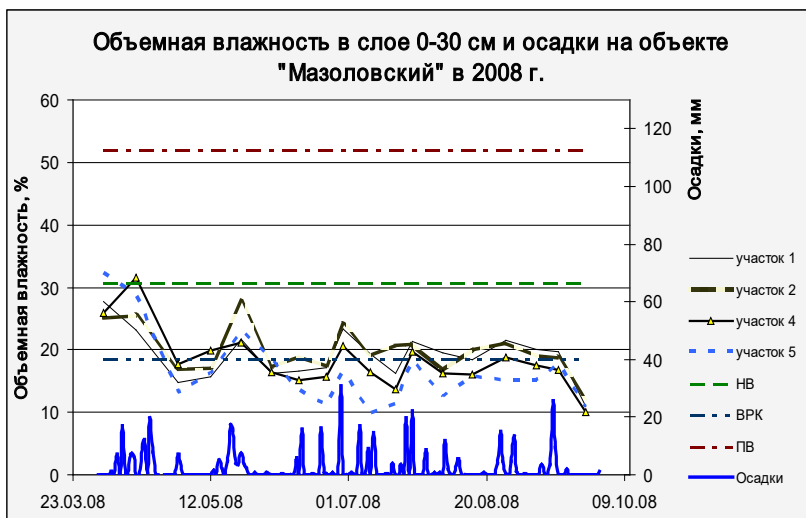


Рис. 5.37. Объемная влажность почвы и атмосферные осадки на участках наблюдений в 2008 г.

2009 год отличался избыточным увлажнением, и влажность почвы превышала оптимальный предел на всем протяжении исследования. В вегетационный период выпало большое количество осадков,

и все системы не могли быстро справиться с таким количеством воды, в том числе и из-за подпора устьев коллекторов на водоприемнике. Истечение под воду происходило на 4, 5 и 7 участках. В 2009 году на всех участках влажность в пахотном и корнеобитаемом слоях почвы находилась пределах, близких к оптимальным (рис. 5.38), кроме участка 2, где в мае и начале июня влажность почвы превышала оптимальный предел. На участке 2 выполнена только планировка поверхности.

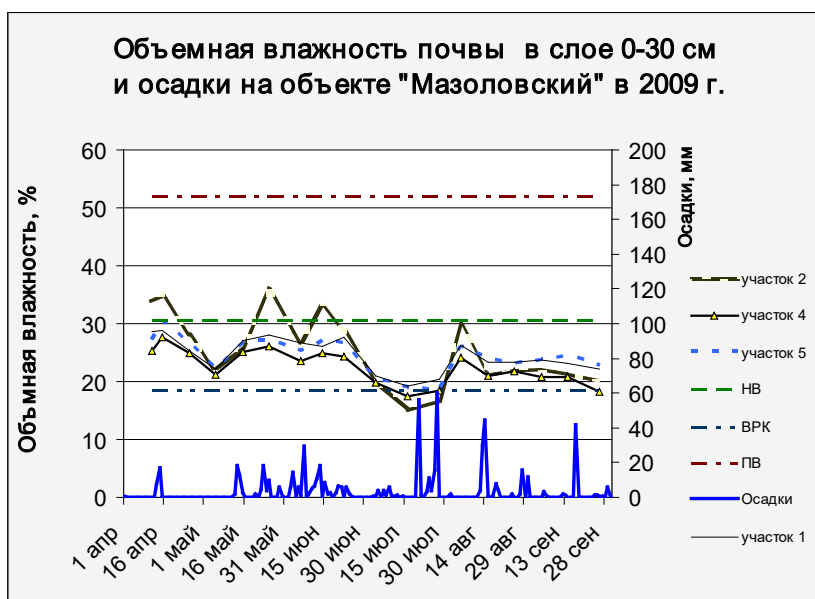


Рис. 5.38. Объемная влажность почвы и атмосферные осадки на участках наблюдений в 2009 г.

Поскольку величины влагозапасов по участкам существенно не различались, то по данному показателю было трудно судить о преимуществах какого-либо способа осушения.

Дренажный сток является одним из основных показателей, характеризующих эффективность и работоспособность мелиоративных систем, а также обоснованность применения дренажа, эффективность работы водопоглотительных устройств на слабководопроницаемых грунтах. Изучение работоспособности водопоглотитель-

ных устройств проводилось путем определения интенсивности перевода поверхностных вод во внутриводный и дренажный сток. Расчетный модуль стока дренажно-коллекторной сети принят равным 0,7 л/(с·га).

По окончании строительства после прохождения дождей в августе 2006 г. был замерен сток из полиэтиленовых коллекторов в смотровых колодцах на участке 4. Величина модуля дренажного стока составляла 0,04–0,1 л/(с·га).

Наблюдения за дренажным стоком проводились на участках 3, 4, 5, 6 и 7, имеющих дренаж или подложбинные коллектора (участок 7). Замеры стока проводились в устьях коллекторов и в смотровых колодцах. Сток замерялся объемным способом (рис. 5.39).



Рис. 5.39. Замеры дренажного стока выполняют А. И. Митрахович и И. Ч. Казьмирук

В смотровых колодцах сток замерялся из всех дрен, впадающих в него. Колодцы нумеровались отдельно на каждом участке, сплошной нумерации по объекту не было. Сток коллектора замерялся в устье. В табл.5.4–5.11 приведены данные по величине модуля дренажного стока. Как показали наблюдения, сток начинался 4–8 апреля и заканчивался в двадцатых числах. Следует отметить мизерную величину стока. Осредненные данные по величине модуля дренажного стока колеблются от 0,01 до 0,07 л/с с гектара на всех вариантах исследованных систем. Максимальный модуль 0,663 л/(с·га) отмечался в 2009 году 15 апреля в смотровом колодце 3 (табл. 5.7). В 2010 г. сток из коллекторов 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19

невозможно было замерить, поскольку уровни воды в р. Суточка значительно повысились из-за построенной бобрами плотины и устья коллекторов находились постоянно в подпоре. Величина модуля дренажного стока в наблюдательных колодцах 2010 г. колебалась от 0,003 до 0,15 л/(с·га), что связано с небольшим количеством осадков, выпавших в апреле. В последующие месяцы дренажный сток на объекте в 2010 году не замерялся, исследования были завершены.

Таблица 5.4

Сток из коллекторов и модуль дренажного стока
на участках 4 и 7 в 2008 г.

Дата	Номер коллектора / участок					
	18 (уч. 4)		20 (уч. 4)		24 (уч. 7)	
	Q , л/с	q , л/(с·га)	Q , л/с	q , л/(с·га)	Q , л/с	q , л/(с·га)
4.04			0,04	0,025		
5.04			0,03	0,02		
6.04			0,03	0,02		
8.04						
9.04			0,025	0,017		
21.04			0,035	0,023	0,045	0,02
22.04			0,056	0,012		
28.04	0,003	0,001				
2.05	0,02	0,007				

Модуль дренажного стока за все время наблюдений редко превышал значения 0,004–0,09 л/(с·га), что примерно на два порядка ниже проектного 0,7 л/(с·га), следовательно, часть стока, отводимая дренажем, исчисляется долями процента от общего стока. Этот факт ставит под сомнение эффективность применения дорогих дренажных линий для осушения лессовидных суглинков, несмотря на

остающуюся необходимость перевода поверхностного стока западин в дренажный для ускорения осушения понижений, водосборных ложбин и тальвегов. Исключением являлся только весенний период 2009 г., когда фактический модуль дренажного стока приблизился к проектным значениям.

Таблица 5.5

Модули дренажного стока по смотровым колодцам на участках осушения 4, 5, 7 в 2008 г.

Номер колодца	Длина дрен, м	Площадь водосбора, га	Количество колонок	Модуль дренажного стока, л/(с·га)	Коллектор, ЗФМ
1	150	2,7	10	0,01–0,02	18 – полиэтилен, «ПИНЕМА»
2	440	1,0	7	0,01–0,02	18 – полиэтилен, «ПИНЕМА»
3	1010	2,16	10	0,02–0,07	19 – ПВХ «Wawin», кокосовый фильтр
4	390	0,75	8	0,04–0,07	19 – ПВХ «Wawin», Турар
5	352	0,7	4	0,007–0,006	20 – полиэтилен, ПИНЕМА
6	590	3,5	–	0,004–0,004	17–Фашина
7	425	3,3	–	0,0006–0,02	25 – ложбины стока с подложб. коллектором

Таблица 5.6

Модули дренажного стока в устьях коллекторов на участках осушения 4 и 7 в 2008 г.

№ коллектора/участок	Площадь водосбора, га	Модуль дренажного стока, л/(с·га)	Продолжительность стока, сут.	Вариант осушения
20/4	1,5	0,01–0,02	30	Выборочный дренаж из полиэтиленовых труб с колонками
24/7	4,5	0,02–0,03	30	Ложбины стока с подложб. коллектором из полиэтиленовых труб

Таблица 5.7

Дренажный сток и модуль дренажного стока в смотровых колодцах
в 2009 г.

Дата	Номер смотрового колодца / Площадь водосбора							
	2 / F=1 га		3 / F=2,06 га		4 / F=0,075 га		5 / F=1,5 га	
	Q, л/с	q, л/(с-га)	Q, л/с	q, л/(с-га)	Q, л/с	q, л/(с-га)	Q, л/с	q, л/(с-га)
5.04							0,08	0,06
8.04	0,01	0,01	0,014	0,07	0,32	0,04		
8.04			0,015	0,075				
8.04			0,004	0,03				
11.0			0,002	0,008			0,01	0,007
11.0			0,01	0,05				
15.0	0,02	0,02	0,022	0,112	0,04	0,053	0,07	0,05
15.0			0,133	0,663				
15.0			0,022	0,112				
18.0			0,004	0,019				
18.0			0,024	0,119				
18.0			0,003	0,017				
21.0					0,001	0,002		

Таблица 5.8

Модули дренажного стока в устьях коллекторов на участках
осушения 4 и 7 в 2009 г.

Номер коллектора	Длина дрен, м	Площадь водосбора, га	Количество колонок	Модуль дренажного стока, л/(с-га)	Коллектор, ЗФМ
20	742	1,5	4	0,01	полиэтилен ПИНЕМА И-130
24	1040	4,5	24	0,03	ложбины стока с подложб. коллектором из полиэтил. труб

Таблица 5.9

Модули дренажного стока на объекте «Мазоловский»
по смотровым колодцам в 2008–2009 гг.

Номер смотрового колодца	Площадь водосбора, га	Модуль дренажного стока, л/(с·га)	Продолжительность стока, сут.	Номер коллектора	Вариант осушения
1	3,3	0,02–0,007	–	25	7 – Западинные ложбины с коллектором из полиэтиленовых труб
2	3,5	0,003–0,04	10	17	5 – Фашинный дренаж
3	0,7	0,02–0,07	5	20	4 – Выборочный дренаж из полиэтиленовых труб с колонками
4	0,75	0,02–0,1	15	19	4 – Выборочный дренаж из труб ПВХ с колонками
5	2,16	0,02–0,1	5	19	4 – Выборочный дренаж из труб ПВХ с колонками
6	1,0	0,03–0,06	15	19	4 – Выборочный дренаж из труб ПВХ с колонками
7	2,7	0,004–0,09	14	19	4 – Выборочный дренаж из труб ПВХ с колонками

Таблица 5.10

Сток из смотровых колодцев (л/с) и модуль дренажного стока л/(с·га) на участках 4 и 7 в 2010 г.

Дата	Номер смотрового колодца / Площадь водосбора					
	7 / F=3,3 га		6 / F=3,5 га		1 / F=2,7 га	
	Q, л/с	q, л/(с·га)	Q, л/с	q, л/(с·га)	Q, л/с	q, л/(с·га)
5.04	0,08	0,02	0,15	0,04		
8.04			0,11	0,03	0,003	0,0014
11.04			0,14	0,04		
15.04			0,11	0,03	0,012	0,004

Таблица 5.11

Сток из коллекторов и модуль дренажного стока
на участках 4 и 7 в 2010 г.

Номер коллектора / Площадь водосбора				
Дата	20 / F=1,5 га		24 / F=4,5 га	
	Q, л/с	q, л/(с-га)	Q, л/с	q, л/(с-га)
18.04			0,144	0,03
11.04			0,14	0,03
15.04			0,15	0,03
21.04	0,015	0,01	0,14	0,03
25.04	0,015	0,01		
28.04	0,015	0,01		
2.05	0,01	0,01		

При больших уклонах поверхности $i > 0,1-0,2$ (перепад высотных отметок 2–3 м на 20–30 м длины) поверхностный сток является превалирующим, о чем свидетельствуют и активные эрозионные процессы почвы.

Определение водопроницаемости дренажных засыпок. На объекте «Мазоловский» проводились исследования по определению водопроницаемости дренажных засыпок. Эффективность работы обратной засыпки дренажных траншей коллекторов и дрен, колонок-поглотителей и др. следует устанавливать в полевых условиях путем определения послойно ее коэффициента фильтрации. Для вышеназванных целей использовался полевой фильтрационный прибор ППФ-1 и методика Я. М. Шупилова и П. К. Черника [190].

Водопроницаемость определялась через каждые 0,1 м по глубине траншеи. Для исследований отрывался ступенчатый шурф, на каждую горизонтальную площадку которого поочередно вдавливался кольцо прибора диаметром 74 мм. В кольцо подавалась вода. Скорость падения напора определялась по пьезометрической трубке с помощью секундомера. Полученные экспериментальные данные являются исходными для определения коэффициента фильтрации засыпки по формуле:

$$K_{\phi} = -\frac{d^2 \cdot l}{D^2 \cdot t} \cdot \ln\left(1 - \frac{S}{H}\right), \quad (5.1)$$

где d – внутренний диаметр пьезометрической трубки, равный 0,5 см;

l – высота испытуемого образца, см;

D – внутренний диаметр тонкостенного кольца (образца почвы) равный 0,74 см;

t – время от начала опыта до снижения уровня воды в пьезометрической трубке на величину $S = H - h_n$;

h_n – положение воды в стеклянной трубке на момент времени t ;

H – высота воды в приборе от уровня земли (при определении выше УГВ), см.

В 2010 году на объекте «Мазоловский» была апробирована эта методика исследований для определения водопроницаемости дренажных засыпок. Коэффициент фильтрации траншейной засыпки определялся на опытном участке 4 на дрене 3 коллектора 18. Дрена выполнена из пластмассовой трубы диаметром 63 мм с защитно-фильтрующим материалом «Тураг». По профилю траншеи верхний горизонт почвы на глубину до 12–30 см представлен пахотным слоем, а нижележащие слои – лессовидным суглинком. Коэффициент фильтрации пахотного слоя на участке 4 составил 0,44 м/сут (табл. 5.12), что значительно выше коэффициента фильтрации нижележащего горизонта – 0,026, 0,022, 0,016 м/сут. При таких величинах коэффициента фильтрации трудно рассчитывать на хорошую водопримную способность дренажа без применения дополнительных мероприятий.

На участке 9 в слое грунта 0–10 см в точке, расположенной в понижении в междренье, был замерен коэффициент фильтрации пахотного слоя в трехкратной повторности, который составил:

- 1-ая повторность – $k_{\phi} = 5,19 \cdot 10^{-5} \text{ см/с} = 0,045 \text{ м/сут}$;
- 2-ая повторность – $k_{\phi} = 4,99 \cdot 10^{-5} \text{ см/с} = 0,043 \text{ м/сут}$;
- 3-ья повторность – $k_{\phi} = 2,91 \cdot 10^{-5} \text{ см/с} = 0,025 \text{ м/сут}$.

Таблица 5.12

Водопроницаемость траншейной засыпки, определенная на дрене 3 коллектора 18

Слой грунта от поверхности, см	Коэффициент фильтрации, 10^{-4} см/с	Коэффициент фильтрации, м/сут
0–10	5,1	0,44
30–40	3,0	0,026
60–70	0,254	0,022
90–100	0,189	0,016

Коэффициент фильтрации пахотного слоя, расположенного над дренажной траншеей, через 4 года эксплуатации составил 0,44 м/сут, что выше чем в междуренье примерно в 10–17 раз.

Полученные данные по водопроницаемости траншейных засыпок указывают на необходимость проведения детального изучения их влияния как одного из основных факторов, обуславливающих эффективную работу дренажа на лессовидных суглинках. Глубина закладки дренажа в месте проведения исследований, равная 1,7 м, объясняет несущественные величины модулей дренажного стока. Для повышения эффективности его работы следует производить засыпку дренажных траншей гумусовым слоем, смесью его с разрабатываемым грунтом, песчано-гравийной смесью либо устанавливать колонки-поглотители различных конструкций.

5.5. Техническое состояние дренажных систем на объекте мелиорации «Мазоловский»

Техническое состояние объекта определялось путем визуального осмотра сооружений и дренажных систем, также проводились специальные исследования с применением системы КСД-160 (рис. 5.40). В результате проведенного в 2010 г. обследования установлено отсутствие устья на коллекторе 1 участка 3, наблюдалось постоянное переувлажнение более 0,1 га площади на участке 1 в зоне действия потайного колодца-поглотителя фирмы «Wawin» на коллекторе 26-1-2 и частичная, а местами полная гибель посевов

и застой воды. Застой воды наблюдался на участках 8 и 9 между проложенным газопроводом и дорогой, что связано со строительством газопровода в 2008 г., при котором не было предусмотрено сохранение мелиоративной сети или ее восстановление после повреждений.



Рис. 5.40. Обследование мелиоративной сети системой КСД-160
(на фото В. П. Закржевский)

С помощью поисковой системы КСД-160 В.П. Закржевского обследовалась внутренняя поверхность труб по участкам, на которых были выявлены проблемы.

Участок 1.

Цель: Выяснение причин неработоспособности потайного колодца-поглотителя «Wawin», приведшее к образованию вымочки площадью в 1 га.

Гипотеза: Разрушение коллектора 26-1-2 на месте сноса колодца-поглотителя КПП-4-90.

Планируемые исследования: обследовать коллектор 26-1-2. из смотрового колодца 2 (КС 100-240).

Участок 4.

Цель: Установление целостности коллектора 19 из труб ПВХ «Wawin», поскольку дренажные трубы из ПВХ являются хрупкими при отрицательных температурах (по справочным данным).

Планируемые исследования:

а) обследовать коллектор 19 (ЗФМ коллектора – геотекстильное полотно «Тураг») в двух направлениях из смотрового колодца 4 (КС 100-200) и коллектор 19-3 (ЗФМ коллектора – геотекстильное полотно «Тураг»), впадающий в этот колодец;

б) обследовать коллектор 19 из смотрового колодца 5 (КС 100-200) в двух направлениях, а также впадающую в колодец дренажную трубу 11 (ЗФМ дренажной трубы – кокосовый фильтр).

Участок 4.

Цель: Обследование состояния внутренней поверхности коллекторов 18 и 20 из полиэтиленовых труб на предмет их заиливания и заохривания.

Планируемые исследования:

а) обследовать коллектор 20 в двух направлениях (ЗФМ коллектора – геотекстильное полотно «ПИНЕМА») из смотрового колодца 3 (КС 100-210);

б) обследовать коллектор 18 в двух направлениях из смотрового колодца 6 (КС 100-210), а также впадающую в колодец дренажную трубу 13 (ЗФМ – геотекстильное полотно «ПИНЕМА»);

в) обследовать коллектор 18 в двух направлениях из смотрового колодца 7 (КС 100-210), а также впадающую в него боковую дренажную трубу 15 (ЗФМ – геотекстильное полотно «ПИНЕМА»).

Участок 7.

Цель: Выяснение причин неудовлетворительной работы колодца-поглотителя КПр-1-15 на коллекторе 24-2, возле которого в весенний период наблюдается длительный застой воды.

Гипотеза: Заиливание подложбинного коллектора 24-2.

Планируемые исследования: Обследовать внутреннюю поверхность коллектора 24-2 через колодец-поглотитель КПр 1-15 на участке 6.

Участок 9.

Цель: Выяснение причин переувлажнения территории вокруг водоема-копани 2 и ее переполнения в весенний период.

Гипотеза: Разрушение сбросного коллектора 5 из водоема-копани 2 в водоем-копань 1.

Планируемые исследования: Обследовать внутреннюю поверхность коллектора 5 на предмет его разрушения.

В результате проведенных исследований системой КСД-160 установлено, что большая часть обследованных дренажных труб находилась в удовлетворительном состоянии (коллектора 18, 19, 20), существенного заиления труб не отмечалось. В коллекторе 17 (фашинный дренаж) отмечалось заохривание. В коллекторе 26-1-2 колодца «Wawin» на расстоянии 20 м от смотрового колодца наблюдалась полная закупорка трубы грунтовыми отложениями, причина возникновения которой не установлена. Для выявления причины неудовлетворительного водного режима в зоне действия колодца «Wawin» необходимо было провести раскопку коллектора в месте провала грунта. Провалы на сбросном коллекторе от водоема-копани 1 объясняются деформацией и частичным разрушением гофрированных труб (рис. 5.41–5.42), которые образовались от прохождения тяжелой сельскохозяйственной техники по заморозенному грунту.



Рис. 5.41. Повреждение сбросного трубопровода с водоема-копани 2 участка 9

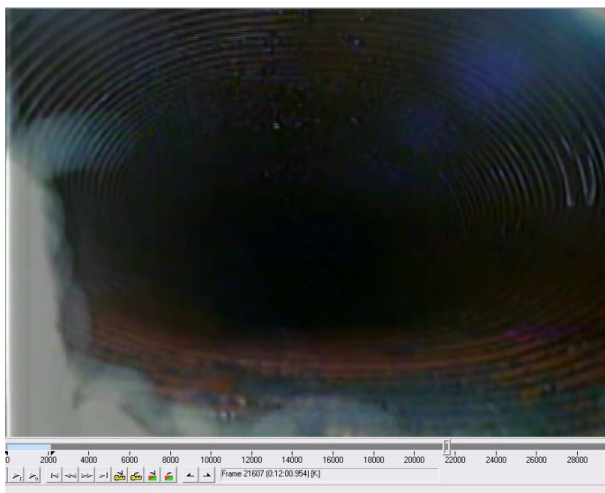


Рис. 5.42. Деформация сбросного трубопровода с водоема-копани 2 участка 9

Эксплуатация мелиоративной системы. В рамках эксплуатационных работ в 2010 году была проведена промывки колодцев и коллекторов, где было выявлено заилиение. После промывки системой КСД-160 был произведен осмотр коллекторов (рис. 5.43).



Рис. 5.43. Состояние коллектора 26-2-1 после промывки

Водный режим на объекте характеризуется как удовлетворительный. Все системы работоспособны, состояние их удовлетворительное (рис. 5.44). Состояние посевов по вариантам осушения хорошее и существенных различий не имело. Имелись отдельные следы вымокания в микропонижениях, площадь которых составляла до 20 м², а также заросшие травой необработанные участки вокруг наблюдательных колодцев, колодцев-поглотителей и в отдельных понижениях.

Водоприемник р. Суточка находился в неудовлетворительном состоянии. Русло заросло крупностебельной растительностью. Прибрежная зона полосой до 20 м, несмотря на наличие густой дренажной сети, переувлажнена и не используется, заросла сорняками. В пойме отмечается напорное питание. Для качественного осушения этого участка дополнительно необходимо было дополнить дренаж разгрузочными скважинами либо не осушать узкую пойму. Ниже впадения в водоприемник дренажного коллектора 18 (комплекс 4) бобрами построена плотина, которая усугубляет неблагоприятную ситуацию в пойме.

Русло канала С-1 на момент обследования очищено от наносов и растительности. Кавальеры разровнены, бермы в удовлетворительном состоянии. Воронки стока отсутствуют.

Ложбины на вариантах 7 и 8 в неудовлетворительном состоянии. Имеются перешейки, затрудняющие сброс поверхностных вод. Причина образования – сельскохозяйственное использование и возможные просадки над коллекторами.

Водоемы-копани находятся в хорошем состоянии. Уровень воды в них располагается на 0,5 м ниже отметки сбросного коллектора. Вблизи копаней имеются нераскрытые западины, в которых возможен застой воды.

Вокруг колодцев-поглотителей – необрабатываемые, участки заросшие сорняками. Поступление поверхностных вод в колодцы-поглотители затруднено почвенными валками, образованными почвообрабатывающими агрегатами.

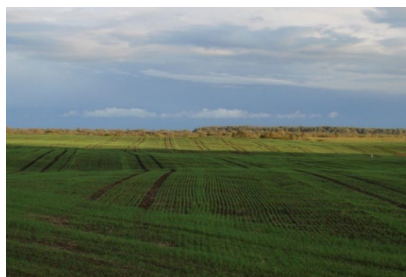
Оценить затраты на уходные работы по вариантам не представляется возможным.



Участок 4. Устье



Участок 9



Участок 7



Участок 5

Рис. 5.44. Объект «Мазоловский»

5.6. Сельскохозяйственное использование осушенных земель

Эффективность применения различных способов осушения должна оцениваться не только эффективностью их осушительного действия, но и продуктивностью мелиорированных земель, которая зависит как от режима влажности, так и от агрохимических показателей почвы. Агрохимические показатели пахотного (верхнее число) и подпахотного (нижнее число) горизонтов почвы представлены в табл. 5.13.

В таблице 5.14 приведены оптимальные характеристики почв по содержанию доступных растениям макроэлементов NPK (азот, фосфор, калий).

Таблица 5.13

Агрохимические показатели почвы на объекте «Мазоловский»
(отбор проб почвы 30.09.2009)

Место забора пробы	рН	в мг на 1 кг почвы		
		NO ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅
Участок 1	6,25	46,0	570,0	364,0
	6,25	47,0	530,0	316,0
Участок 2	6,30	70,0	375,0	262,0
	6,31	65,0	330,0	252,0
Участок 5	6,34	6,0	115,0	235,0
	6,32	5,0	115,0	252,0
Участок 6	6,45	6,0	100,0	160,0
	6,44	6,0	98,0	163,0
Участок 7	6,65	73,0	400,0	440,0
	6,65	73,0	365,0	475,0

На урожайность влияет также кислотность почвы. Градация почв по величине рН в водной вытяжке [155] составляет:

- сильнокислые – $pH_{H_2O} = 3,0 - 4,5$;
- кислые – $pH_{H_2O} = 4,5 - 5,5$;
- слабокислые – $pH_{H_2O} = 5,5 - 6,5$;
- нейтральные – $pH_{H_2O} = 6,5 - 7,0$;
- слабощелочные – $pH_{H_2O} = 7,0 - 7,5$;
- щелочные – $pH_{H_2O} = 7,5 - 8,0$;
- сильнощелочные – $pH_{H_2O} > 8,5$.

Агрохимический анализ (табл. 5.13) показал значительные колебания содержания элементов питания растений. Так, содержание подвижных форм фосфора и калия было наибольшим в почве на участке 7 (ложбины стока). Наоборот, наиболее бедной по этим элементам, а также по наличию нитратов оказалась почва на варианте 6 (закрытые собиратели). Это в свою очередь сказалось и на урожайности зерновых культур. Что касается величины рН, то почвы участков 1, 2, 5, 6 относятся к слабокислым, а почвы участка 7 – к нейтральным.

Таблица 5.14

Оценка потенциального плодородия почв по содержанию доступных для растений фосфора, калия и азота [155]

Уровень содержания	Подвижный фосфор P_2O_5 , млн ^{-1*}	Обменный калий K_2O , млн ^{-1*}	Нитратный азот $N-NO_3$, млн ^{-1**}	Аммонийный азот $N-NH_3^+$, $N-NH_4$, млн ^{-1**}
Очень высокий	Более 250	Более 250	–	–
Высокий	250–150	250–170	Более 20	Более 40
Повышенный	150–100	170–120	–	–
Средний	100–50	120–80	15–20	20–40
Низкий	50–25	80–40	10–15	10–20
Очень низкий	Менее 25	Менее 7	Менее 10	Менее 10

* – по Г. В. Мотузовой и О.С. Безугловой, 2007 (по методу Кирсанова);

** – по Г. П. Гамзикову, 1981.

Содержание фосфора на участке 6 высокое, на остальных участках – очень высокое. На участках 5 и 6 среднее содержание калия, на остальных участках – очень высокое. Содержание нитратного азота на участках 5 и 6 очень низкое. Следует отметить, что на участке 5 на протяжении всего наблюдаемого периода, т. е. 2006–2011 гг., имелось обширное переувлажненное понижение, что подтверждает тот факт, что легко растворимые азотные соединения при переувлажнении перемещаются в более глубокие слои почвы и становятся недоступными для растений. Участок 6 до осушения не использовался в сельскохозяйственном обороте, что объясняет низкое содержание калия (98 мг) и азота (6 мг). На всех остальных наблюдаемых участках содержание азота было высоким.

Данные агрохимических показателей указывают на то, что почва опытного поля является типичной для условий северо-восточной части Беларуси и в основном благоприятна для сельскохозяйственных культур.

Продуктивность мелиорированных земель определялась по данным статистической отчетности землепользователя (табл. 5.15).

Урожайность культур по годам

Годы	Сельхозиспользование	Урожайность, ц/га	Площадь, га
До осушения	Закустаренное пастбище	20	94
2006	Рапс на зеленую массу	стравили	33
2007	Кукуруза восковой спелости	270	61
	Озимая тритикале	40	33
2008	Ячмень фуражный «Баронесса»	42	94
2009	Озимая тритикале	32,4	33
	Озимая пшеница	32,7	61
2010	Клевер	150	33
	Озимая пшеница	32,8	61

Вся площадь объекта в августе 2006 года была занята посевами рапса, который выполнял роль культуры-сидерата. Осенью, до запашки, рапс был стравлен крупному рогатому скоту. В 2007 г. на участках 1, 2, 4, 5 и 7 выращивали кукурузу. Площадь участков 2 (возле ГЛФ), 3, 6, 8 и 9 использовалась под озимую тритикале. Вся площадь объекта в 2008 году была занята под посев ячменя «Баронесса», средняя урожайность которого составила 42 ц/га. В 2009 году участок использовался под озимую тритикале 61 га и озимую пшеницу 32,7 га. Средняя урожайность тритикале составила 32,4 ц/га, озимой пшеницы – 32,7 ц/га.

Участок площадью 33 га засеян озимой тритикале 22 сентября 2010 г. Под посеvy внесены удобрения: хлорид калия – 120 кг/га, сульфат аммония – 21 кг/га, фосфор – 45 кг/га. Участок площадью 64 га засеян озимым рапсом 28 августа 2010 г. Под посеvy внесены удобрения: хлорид калия – 120 кг/га и сульфат аммония – 23 кг/га. В 2010 г. на площади 64 га был получен урожай озимой пшеницы 32,8 ц/га. Рапс не перезимовал, и весной был посеян клевер. Первый укос клевера с урожайностью зеленой массы 150 ц/га был получен на площади 33 га, далее поле с клевером использовалось под пастбище.

Получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур связано не только с эффективностью проведенных мелиоративных мероприятий, но и с деятельностью конкретных землепользователей осушенных земель. Рост продуктивности земель оценивался по двум показателям: засеваемой площади и урожайности сельскохозяйственных культур. После проведения осушительных мероприятий, включающих культуртехнические работы по сводке кустарника, коэффициент использования засеваемой площади увеличился с 0,53 до 0,98. В последующие годы он незначительно уменьшился за счет повторного заболачивания осушенных площадей.

5.7. Оценка экономической эффективности запроектированных мероприятий

Удельная стоимость мелиоративных мероприятий в ценах 1991 года по данному комплексу составила 577,52 тыс. руб. или 7,016 тыс. рублей на га (табл. 5.16).

Таблица 5.16
Сравнительная таблица стоимости способов мелиорации земель с западинным рельефом

Варианты осушения	Площадь, га	Капитальные вложения*, тыс. руб	Условно чистый доход, тыс. руб.	Коэффициент экономической эффективности	Срок окупаемости
1	5	35,86	4,80	0,13	7,5
2	13,6	57,41	13,05	0,23	4,3
3	6,7	32,65	6,43	0,20	5,0
4	11,9	90,74	11,42	0,12	8,0
5	14,3	89,09	13,72	0,15	6,7
6	3,6	16,47	3,45	0,21	4,8
7	16,8	110,65	16,12	0,14	7,1
8	8,7	47,01	8,35	0,18	5,6
9	10,7	97,62	10,25	0,10	10,0
Итого	91,3	577,52	87,59	0,15	6,7

* – капитальные вложения с учетом затрат на строительство дороги по данным БГВХ.

Эффективность мелиоративных мероприятий должна оцениваться в конечном итоге продуктивностью мелиорированных земель. По урожайности 2008 г. рассчитана экономическая эффективность сравниваемых вариантов мелиоративной сети через дополнительную сельскохозяйственную продукцию (табл. 5.17).

Таблица 5.17

Продуктивность земель на объекте в СПК «Мазоловский»
Мстиславского р-на, Могилевской обл.

Годы	Сельхозиспользование	Урожайность, ц/га	Площадь, га	Коэффициент использования площадей	Урожайность, ц/га корм.ед	Рост продуктивности земель	
						ц/га	раз
До осушения	Закустаренное пастбище	22	94	0,51	2,3	0	1
2007	Кукуруза восковой спелости	270	61	0,86	46,4	39,5	6,7
	Озимая тритикале	40	33	0,98	44,4	37,5	6,4
2008	Ячмень фур. «Баронесса»	42	94	0,91	42,0	35,1	6,1
2009	Озимая тритикале	32,4	33	0,98	36,0	29,1	5,2
	Озимая пшеница	32,7	61	0,86	32,3	25,4	4,7
2010	Клевер	150	33	0,98	30,0	23,1	4,3
	Озимая пшеница	32,8	61	0,86	32,4	25,5	4,7

Для возможности сравнения урожайности различных сельскохозяйственных культур был проведен их пересчет в кормовые единицы по стандартной методике. Использовались коэффициенты: для пастбища – 0,18, кукурузы – 0,20, озимой тритикале – 1,42, ячменя – 1,50, озимой пшеницы – 1,36, клевера на сено – 0,51 и учитывался коэффициент использования площадей. Рост продуктивности осу-

шенных земель оценивался по отношению к продуктивности неосушенного участка.

Полноценный расчет экономической эффективности мелиорации не проводился, т.к. он методически неверен в условиях дотационности сельскохозяйственного производства, без учета закупочных цен и бюджетных субсидий [73, с. 97–108]. В современных экономических условиях стандартная методика определения экономической эффективности затрат на мелиорацию, основанная на сопоставлении стоимости дополнительной сельскохозяйственной продукции с затратами на мелиорацию неприменима.

5.8. Достоинства и недостатки способов мелиорации объекта «Мазоловский»

Проведенные эксперименты и наблюдения за состоянием участков с различными способами осушения позволили определить наиболее эффективный и экономически целесообразный из них при реконструкции дренажных систем на землях с холмисто-западинным рельефом. Выполнена детализация и дифференциация показателей эффективности испытываемых вариантов, конструкций, материалов как в гидротехнической, так и агрономической части. По результатам систематических наблюдений и выборочных экспериментов были определены целесообразные способы осушения лессовидных суглинков. Эти способы могут быть применены в природных условиях, аналогичных рассмотренному объекту, однако следует учитывать, что способы осушения тесно связаны с типом почв и морфологией осушаемых участков.

В первую очередь следует отметить, что рекомендуется применять разработанные Институтом мелиорации конструкции с широким использованием пластмасс, которые ускоряют мелиоративное строительство, повышают производительность труда рабочих.

Поскольку водное питание объекта мелиорации имеет преобладание атмосферного, то все предлагаемые мероприятия относятся к данному типу водного питания.

Поскольку водное питание объекта мелиорации преимущественно атмосферное, то все предлагаемые мероприятия относятся к данному типу водного питания. Земли с холмисто-западинным рельефом зарастают древесно-кустарниковой растительностью по пони-

жениям, что уменьшает коэффициент земельного использования, увеличивает контурность и затрудняет, а порой и исключает прохождение широкозахватной высокопроизводительной сельскохозяйственной техники.

Осушительные мероприятия совместно с культуртехническими (сводка кустарниковой растительности) ликвидируют мелкоконтурность земель, улучшают условия прохождения сельскохозяйственной техники и увеличивают коэффициент использования площадей. Сводка кустарниковой растительности без проведения осушительных мероприятий дает временный эффект, поскольку в понижениях снова скапливается вода, которая способствует развитию болотной растительности, а затем снова начинает расти кустарник, поскольку переувлажненное понижение не обрабатывается сельскохозяйственной техникой.

Наилучший эффект дают два основных способа осушения лесовидных суглинков: перевод поверхностного стока в дренажный (водопоглотительные колонки на выборочном дренаже) и организация поверхностного стока (планировка поверхности с устройством ложбин стока), – которые применяются на исходно различных по рельефу поверхности площадях. Если до осушения участок имел небольшие естественные уклоны, предпочтение при его осушении следует отдать выборочному дренажу с применением дополнительных мероприятий по переводу поверхностной воды в дренажный сток; при существенных уклонах поверхности предпочтение следует отдавать ее планировке с устройством по пониженным местам ложбин стока. Подложбинные коллекторы не рекомендуется устраивать при уклонах поверхности более 0,005–0,01.

В западинах площадью более 0,2 га, раскрытие которых ложбинами стока или их засыпка технически затруднены и экономически не выгодны, для отвода поверхностных вод следует проектировать колодцы и колонки-поглотители новых конструкций. В колонках-поглотителях обязательным является устройство с поверхности песчаной засыпки глубиной 0,3 м и площадью не менее 9 м² для увеличения водопримной способности колонки.

Из всех запроектированных мероприятий по переводу поверхностного стока во внутрипочвенный наиболее эффективным является способ осушения с применением выборочного горизонтального дренажа и устройством на нем колонок-поглотителей новых кон-

струкций, располагаемых в небольших по площади замкнутых понижениях.

Исходя из значений модуля дренажного стока в пределах 0,01–0,07 л/(с·га), полученных на вариантах 4, 5, 6, 7, можно заключить, что на объектах со слабоводопроницаемыми почвами ($k_{\text{ф}} \leq 0,05$ м/сут) и западным рельефом дренаж без дополнительных мероприятий малоэффективен и его применение следует ограничить, поскольку осушение осуществляется в основном за счет сброса поверхностного стока. Как исключение, допустимо применение выборочного дренажа на пониженных элементах рельефа с использованием колонок-поглотителей новых конструкций без сгущения дренажной сети.

Во избежание эрозии почвы, особенно в период снеготаяния при отсутствии почвенного покрова в виде озимых культур или многолетних трав рекомендуется уменьшать естественные уклоны засеваемых участков при помощи планировочных работ.

На минеральных землях не рекомендуется применять фашинный дренаж как очень трудоемкий и недолговечный, находящийся периодически то в воде, то вне ее, что способствует ускоренному гниению древесины.

Из испытываемых на участке защитно-фильтрующих материалов наиболее эффективным в лессовых грунтах оказался кокосовый фильтр, однако из-за его высокой стоимости предпочтение следует отдавать фильтру из геотекстиля «Тураг», эффективность которого оказалась незначительно ниже. Следует учитывать, что трубы «Wawin» с фильтром из кокоса и геотекстиля «Тураг» имели больший диаметр, чем трубы белорусского производства, что также могло оказать влияние на полученные результаты исследований.

Применение колодцев-поглотителей допустимо при площади водосбора до 0,3–0,5 га, поскольку при большей площади на просадочных лессовидных суглинках в процессе эксплуатации вновь образуются неровности рельефа и вода застаивается в локальных понижениях. Наличие переувлажненных участков непосредственно возле колодцев в весенний период и в период выпадения дождя негативно сказывается на осушаемой территории, возникают недопашки, которые с каждым годом увеличиваются, переувлажняя большие водосборные площади. При осушении значительных по

площади понижений применение колодцев-поглотителей допустимо в сочетании с выборочным дренажем. К преимуществам данного метода мелиорации относится применение сборных элементов, ускоряющих строительство, а к недостаткам – высокая удельная стоимость материалов и работ.

В глубоких понижениях от 0,8 га и более при невозможности или экономической нецелесообразности их раскрытия рекомендуется устраивать бессточные копани или оставлять их в естественном состоянии без проведения осушительных мелиораций как экологические ниши.

Для лугов и пастбищ из всех рассматриваемых вариантов осушения наиболее приемлемым и экономически целесообразным является вариант с засыпкой замкнутых понижений и устройством ложбин стока.

Анализ полученных результатов за 2007, 2008, 2009 годы позволяет выделить вариант, на котором проведена планировка поверхности с устройством по наиболее пониженным элементам рельефа ложбины стока. Данный вариант осушения обеспечивает поддержание влажности почвы в оптимальных пределах, своевременную предпосевную обработку почвы и имеет минимальную удельную стоимость, однако следует учитывать, что такой вариант применим только для природных условий, аналогичных данному объекту.

6. РЕКОНСТРУКЦИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ НА СЛАБОВОДОПРОНИЦАЕМЫХ ПОЧВАХ

6.1. Факторы, обуславливающие необходимость проведения реконструкции мелиоративных систем

Мелиорация земель необходима для вовлечения в сельскохозяйственный оборот потенциально плодородных угодий с неудовлетворительным водным режимом. В Беларуси осушительные системы расположены приблизительно на 30 % сельскохозяйственных земель. Поскольку наша республика находится в гумидной зоне, то ведущая роль при мелиорации отводится осушению. Основной задачей осушительной мелиорации является преобразование естественного, неблагоприятного для сельскохозяйственного производства водного режима почв в оптимальный, обуславливающий высокую урожайность сельскохозяйственных культур. При длительной эксплуатации мелиоративные системы в силу ряда причин не всегда обеспечивают оптимальный водный режим, что приводит к существенной потере урожая. В настоящее время многие из существующих мелиоративных систем выработали свой нормативный ресурс и нуждаются в восстановлении и реконструкции. Выход их из строя и повторное заболачивание территории влекут за собой уменьшение посевных площадей и, соответственно, валового сбора сельскохозяйственной продукции. Руководство Республики принимает меры по сохранению и восстановлению ранее мелиорированных земель и реконструкции осушительных систем, т. е. их комплексному переустройству с изменением типа или параметров [167]. Реконструкция проводится для восстановления характеристик мелиоративной сети до проектных значений.

Водный режим осушаемой территории можно охарактеризовать как естественный, оптимальный и фактический. Оптимальный водный режим характеризуется влажностью почвы, нормой осушения и допустимой продолжительностью затопления в весенний период и в период летне-осенних паводков. Он создает оптимальные условия произрастания сельскохозяйственных культур в соответствии с их требованиями к водно-воздушному режиму почв. Качество осушения можно оценивать степенью соответствия фактического водного режима оптимальному: чем меньше разница между ними,

тем благополучнее мелиоративное состояние земель. Отклонения фактического водного режима почвы от оптимального могут быть вызваны различными причинами, установить которые можно только на основе наблюдений за осушаемой территорией, сроками сева, уборки и пр. Продуктивность осушенных земель является комплексным показателем водного режима почв.

Необходимость проведения реконструкции мелиоративных систем вызвана, как правило, неблагоприятным состоянием земель в предпосевной и посевной периоды, переувлажненным состоянием верхнего корнеобитаемого слоя почвы, что приводит к невозможности своевременного ведения сельскохозяйственных работ, сокращению периода вегетации и низкой урожайности сельскохозяйственных культур.

Недоосушение может обуславливаться неудовлетворительным состоянием проводящей сети и водоприемника, создающего подпор дренажным системам, неисправное техническое состояние которых может быть вызвано многими причинами:

- разрушением устьев или нахождением их в неработоспособном состоянии из-за засорения, зарастания корнями кустарниковой или древесной растительности и проч.;

- засорением или заилением смотровых колодцев или их повреждением;

- заилением, засорением, кольматацией водоприемной поверхности колодцев-поглотителей, а также изменением рельефа (просадкой почвы) рядом с колодцем, из-за чего колодец находится не в самом низком месте и рядом с ним скапливается вода;

- заилением дренажно-коллекторной сети механическими наносами или кольматажем перфорационных отверстий труб железистыми соединениями (заохривание);

- образованием слабо фильтрующего слоя в верхней водоприемной части колонок-поглотителей и в фильтрующей засыпке дренажной траншеи над дренами-собирателями;

- кольматажем защитно-фильтрующего материала дренажа и др.

Все указанные признаки устанавливаются при экспедиционном обследовании мелиоративного объекта, а для систем, недоступных для обследования с поверхности, – при проведении раскопок.

6.2. Обследование технического состояния мелиоративной сети

Состояние мелиоративной сети определяется при обследовании, на основании которого делается заключение о необходимости проведения реконструкции с учетом показателей многолетних систематических наблюдений, таких как начало обработки земель, сроки сева и уборки, состояние растительности в вегетационный период и урожайность сельскохозяйственных культур.

На минеральных слабоводопроницаемых почвах переувлажнение пахотного слоя в посевной и вегетационный периоды обуславливается в основном низким коэффициентом фильтрации пахотного и подпахотного горизонтов.

Простейшим методом оценки мелиоративного состояния осушаемой территории является визуальный осмотр, при котором анализируется не только состояние элементов мелиоративной системы, а и посевов, которые должны иметь здоровый вид и высоту в соответствии со стадией развития. Наличие болотной растительности на осушенной территории является признаком болотообразовательного процесса.

С целью установления причин неудовлетворительного водного режима на мелиоративном объекте, помимо визуального осмотра, проводятся мелиоративно-гидротехнические изыскания, которые должны включать:

- обследование мелиорированных площадей с установлением границ участков недостаточного осушения, включая повторно заболоченные и закустаренные участки;

- установление причин, вызвавших недоосушение отдельных участков;

- установление неработоспособных или неудовлетворительно работающих устройств по отводу поверхностных вод в открытую сеть или дренаж.

Обследование переувлажненных мелиорированных земель начинают с ознакомления с проектом мелиоративной системы и исполнительной документацией, затем на местности проводят:

- осмотр и оценку состояния осушительных каналов и сооружений на них;

- нахождение местоположения дренажных устьев, смотровых колодцев и колодцев-поглотителей;
- определение состояния поверхности осушенных полей, наличия западин, в которых застаиваются поверхностные воды;
- определение состояния системы.

Для установления работоспособности отдельных элементов мелиоративной сети проводят раскопки дренажей, полевые исследования, ставят научные эксперименты. При необходимости намечают створы для расположения наблюдательных колодцев по замеру уровней грунтовых вод, устанавливают перечень участков, где необходимо произвести раскопки или телеинспекцию с помощью КСД-160 по выявлению причин недостаточного осушения. Раскопки проводят для визуального осмотра элементов, находящихся под землей, забора образцов дренажей или ЗФМ для лабораторных экспериментов.

Определению водоприемной способности дренажей и коллекторов в полевых условиях следует отдавать предпочтение перед лабораторными экспериментами, поскольку при этом учитываются природные условия объекта. Коэффициент фильтрации обратной засыпки дренажей в полевых условиях устанавливают послойно с помощью полевого фильтрационного прибора ППФ-1 [190] используя методику Я. М. Шупилова и П. К. Черника.

Работоспособность дренажа зависит также от транспортирующей способности коллекторов – своевременного отвода воды, поступившей в полость труб. На водоотводящую способность влияют диаметр и вид труб, уклон дренажных линий, степень заиливания внутренней поверхности, наличие подпора со стороны канала (истечение под воду). При отсутствии подпора от канала показателем нормальной водоотводящей способности коллектора является безнапорный характер его работы. Фонтанирование воды из труб по длине коллектора свидетельствует о том, что его диаметр и уклон не соответствуют имеющемуся расходу или в трубе есть местные сопротивления, которые следует выявить в процессе раскопок. Недостаточный уклон дренажных линий способствует уменьшению скоростей потока в дренажных трубах ниже необходимых для транспортирования наносов, что приводит к их осаждению в полости труб.

При раскопках дренажных линий определяют:

- размеры и состояние перфорационных отверстий в пластмассовых трубах, наличие их кольматажа;
- состояние фильтрующего материала пластмассовых труб, кольматацию ЗФМ;
- величину слоя заиления дрен;
- состояние грунта обсыпки дренажных труб и его вид, особенно в слабопроницаемых грунтах и торфе с высокой степенью разложения, которые при переувлажнении могут образовывать своеобразный противофильтрационный экран.

Обнаружение дрен в полевых условиях производят по плану проектного расположения коллекторно-дренажной сети. При движении вдоль водоприемника (канала, реки и др.) находят местоположение устья коллектора и в соответствии с картой определяют места впадения дрен (левосторонняя компоновка, правосторонняя компоновка, двухсторонняя компоновка). Найти расположение дрен можно также при помощи поискового устройства ПУ-2 (разработка РУП «Институт мелиорации»), обладающего высокой точностью и предназначенного для обнаружения с поверхности земли направления закрытой дренажной сети.

По совокупности выявленных недостатков планируют комплексный ремонт мелиоративной системы либо разрабатывают проект реконструкции. Перед началом работы над проектом рекомендуется выполнить высотную съемку объекта для определения изменений рельефа, что позволит точно оценить текущие условия и спланировать эффективные мероприятия по улучшению водного режима почв.

6.3. Методика определения водоприемной способности дрен

Водоприемная способность дрен является определяющим фактором формирования модуля дренажного стока. Авторами была разработана методика определения водоприемной способности дрен в полевых условиях, которая основана на безнапорном движении воды в исследуемой трубе и создании напора над дренажной трубой путем заполнения водой шурфа. По данной методике проводится проверка работоспособности дрен с разными сроками эксплуатации. При ее

разработке использовалась информация, полученная от гидрологов-наблюдателей, ведущих многолетние наблюдения на базовых объектах, и результаты экспедиционных обследований, полученные сотрудниками РУП «Институт мелиорации», учтен отечественный и зарубежный опыт ведения полевых экспериментов на мелиоративных системах.

После обнаружения места расположения дрены над ней отрывают шурф 60×30 см по дну не ближе 2,5–3 м от торца устьевого трубы. Дренажную трубу полностью освобождают от грунта на длину 40–50 см, над ней устанавливают гофрированную трубу диаметром 110 мм для замера напора. В шурф подают воду объемом 40–60 л, при этом напор над осью дрены составит около 15–25 см. Отмечают время начала стока, который замеряется объемным способом. Напор измеряют мерной рейкой. Эксперимент продолжается до прекращения стока из дрены, затем шурф засыпают.

Аналогичным образом отбирают образцы труб. После отрывки шурфа и освобождения дрены от грунта вырезают отрезок дренажной трубы длиной 50 см для испытания в лабораторных условиях. Отобранный образец подвергают осмотру, оценивают состояние трубы и фильтрующего материала. С образца осторожно удаляют грунт, затем новым отрезком трубы соответствующего диаметра с применением соединительных муфт восстанавливают существующую дренажную трубу, шурф засыпают. Для проведения исследований можно снимать только фильтрующий материал, тогда дрена в месте снятия обертывается новым ЗФМ. Длина вновь устанавливаемого отрезка пластмассовой трубы должна быть на 2–4 см короче вырезаемого. При отсутствии соединительных муфт под восстанавливаемый участок дрены укладывают фильтр и после установки отрезка трубы обворачивают. Засыпку шурфа на высоту 10–15 см над трубой выполняют вручную. Окончательную засыпку шурфа можно выполнять бульдозером.

Проводят визуальный осмотр внутренней и внешней поверхности труб и фильтра, отобранных из дрены. Сведения заносят в журнал полевых исследований. Приводят краткое описание внешнего вида: целостность фильтра, его кольматацию, наличие заохривания водоприемных отверстий трубы, частиц грунта между трубой и фильтром, высоту наилка в полости трубы и т. д. В завершение фотографируют фильтр, полость дренажной трубы и шурф. При

необходимости может составляться акт отбора образцов дренажных труб и защитно-фильтрующего материала.

Для проведения последующих лабораторных исследований по определению фильтрационных характеристик, водоприемной способности и др. отобранный образец заворачивают в полиэтиленовую пленку для сохранения его при естественной влажности. Все образцы подписывают с указанием даты, названия объекта, шифра коллектора, номера дрены, наименования и марки ЗФМ, наименования осушаемого грунта.

Методика была апробирована на опытно-производственном участке дренажа «Волма» в ОСП «Совхоз Минский» УП «ДОРОРС» и КСУП «Минская овощная фабрика». Над одиночной дренажной трубой отрывали шурф и заполняли его водой (рис. 6.1.). Полевые эксперименты по определению водоприемной способности труб, бывших в эксплуатации 1 год, проводили на дренажах диаметром 63 мм с различными ЗФМ. По полученным экспериментальным данным был построен график водоприемной способности (рис. 6.2).



Рис. 6.1. Шурф над одиночной дренажной трубой для определения водоприемной способности труб в полевых условиях. Объект Волма, 2012 г.

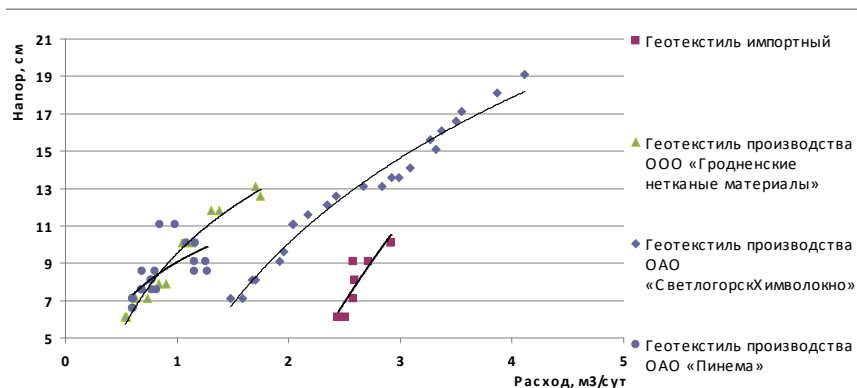


Рис. 6.2. Водоприемная способность 1 м дренажных труб на объекте, «Волма» в полевых условиях

В лабораторных условиях водоприемная способность образцов дрен с объекта «Волма» определялась в грунтовом лотке по стандартной методике. Данные исследований образцов дренажных труб с различными марками геотекстильных материалов представлены на рис. 6.3.

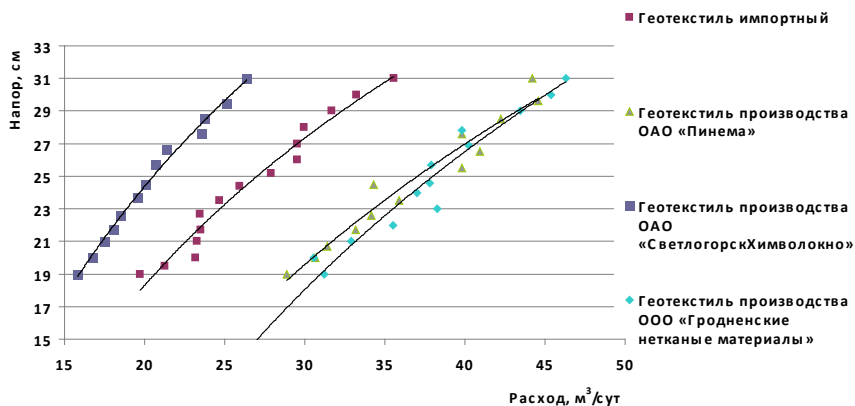


Рис. 6.3. Водоприемная способность дренажных труб с опытно-производственного участка «Волма», определенная в лабораторных условиях

Геологические разрезы по трассе дрен мелиоративной системы «Волма» представлены торфом глубиной от 0,2 до 1,1 м и супесью сизой с прослойками песка мелкого, который залегает выборочно с глубины 1,2 м, поэтому практически все дрены уложены в супесчаный грунт. Засыпка дренажной траншеи была выполнена повсеместно подсушенным торфом.

Как видно из графика, величина водоприемной способности имела устойчивую тенденцию увеличиваться с повышением напора. Лучшими гидравлическими характеристиками обладают материалы, которые при наименьшем напоре имеют больший расход. Из рис. 6.2 следует, что лучшими гидравлическими характеристиками обладает импортный геотекстиль «Турар». При значениях 0,6–4 м³/сут на 1 м трубы дрена способна обеспечить осушение площади с расчетным модулем стока 0,6 л/(с·га).

Анализ результатов лабораторных испытаний водоприемной способности труб с различными ЗФМ, бывших в эксплуатации 1 год (рис. 6.3), показал, что их значения колеблются в пределах 15–45 м³/сут на 1 м трубы. Наилучшими гидравлическими характеристиками обладают трубы с ЗФМ ООО «Гродненские нетканые материалы» и ОАО «ПИНЕМА». Существенного отличия значений в водоприемной способности труб, бывших в эксплуатации, и новых не имелось, и ЗФМ практически не закольматировался.

6.4. Водно-физические свойства слабводопроницаемых почв

Частицы и агрегаты частиц в слабопроницаемом минеральном грунте связаны между собой пластичными механическими и водно-коллоидными структурными связями [27]. Особенность строения такого грунта обусловлена количественным отношением глинистых частиц к основной массе грунта. Грунты обладают низкой водопроницаемостью из-за небольших размеров пор, по которым может стекать гравитационная вода, что играет основную роль при проведении осушительных мелиораций. Чтобы почва на протяжении всего вегетационного периода имела влажность, близкую к оптимальной, необходимо знать параметры слабводопроницаемых грунтов, характер структурных связей частиц, гранулометрический и минеральный состав грунта, его пористость и плотность.

Частицы глинистых минералов, находясь в воде, гидратируются, т. е. взаимодействуют с молекулами воды. На величину коэффициента фильтрации оказывает влияние и гранулометрический состав грунта. В грунтах одну часть объема занимают твердые минеральные частицы, а другую – поры, которые и обуславливают водопроницаемость. Чем меньше частицы грунта, тем меньше и поровые ходы, по которым вода поступает в дренажные системы, и тем выше капиллярная кайма. Различные грунты обладают разной водопроницаемостью. Вода в порах грунтов может передвигаться под влиянием ряда сил: тяжести, внешнего давления, капиллярных и адсорбционных, развивающихся на поверхности раздела твердых частиц и воды и др. [93].

По глубине литологического разреза структура слабоводопроницаемых почв содержит сеть из сплошных и тупиковых капилляров, поровых ходов и пронизана корнями растений. После выпадения интенсивных осадков все поры верхнего слоя почвы заполняются водой. С учетом ее низкого коэффициента фильтрации миграция гравитационной воды в нижние слои затруднена и осадки застаиваются на поверхности в виде слоя затопления. В период без осадков происходит просыхание верхнего слоя почвы. Поры грунта заполняются воздухом. Это, в основном, и обуславливает цикличность действия дренажа на слабоводопроницаемых почвах.

У минералов (каолинит, хлорит, палыгорскит и др.) с жесткой кристаллической решеткой при взаимодействии с водой внутреннее набухание невелико. Глинистые минералы (монтмориллонит, нонтронит, вермикулит и др.) имеют раздвижную кристаллическую решетку, в межслоевое пространство которой проникают молекулы воды и обменные катионы. Минералы, имеющие раздвижную кристаллическую решетку, набухают с увеличением межслоевого пространства. Существуют и смешаннослойные минералы. По своим свойствам смешаннослойные минералы занимают промежуточное положение между минералами с жесткой (нераздвижной) и раздвижной кристаллическими решетками [68].

Чем выше количество мельчайших частиц, тем ниже фильтрационные свойства почвы и больше требуется основных и дополнительных мероприятий по их осушению.

Мелиоративное состояние земель характеризуется рядом показателей водно-физических свойств почвы.

Состояние поверхности почвы. Для определения доли переувлажненных понижений в поле проводится обследование в период с начала весеннего половодья до просыхания почвы, летом и осенью – в периоды летне-осенних паводков, а также во время уборки урожая. Площади переувлажненных понижений соотносятся с общей площадью поля и наносятся на карту. Продолжительность отвода поверхностных вод определяется на основании визуального картирования их скоплений на поверхности почвы после весеннего половодья или летне-осенних паводков, вызвавших переувлажнение осушаемой территории. При оценке мелиоративного состояния слабопроницаемых почв данный показатель является одним из основных.

Оптимальная важность почвы, которая для большинства культур колеблется в пределах 55–85 % НВ (наименьшей влагоемкости). Она является основным показателем при назначении сроков увлажнения на системах двустороннего действия и проведения агро-мелиоративных мероприятий (глубокое рыхление, щелевание, кротование).

Дренажный сток – это объем воды, отведенный коллекторно-дренажной сетью с мелиорируемой территории за определенный период времени, который зависит от водопроницаемости грунтов, степени дренированности территории, глубины заложения дрен, условий питания и других факторов.

Дренажные системы должны отводить воду с расходом, определяемым обслуживаемой площадью и *модулем дренажного стока*, который характеризует собой объем воды, стекающей в единицу времени с каждого гектара осушаемой территории и является главным показателем работоспособности дренажных систем. Модуль дренажного стока зависит от интенсивности поверхностного, грунтового и атмосферного питания, уклонов поверхности, проницаемости почв и наличия напорных подземных вод. Его величина изменяется в зависимости от степени переувлажнения и достигает максимума в периоды снеготаяния и обильных дождей. Для полугидроморфных почв эта величина равна 0,03–0,08, а для гидроморфных – 0,1–0,15 л/(с·га).

Модуль дренажного стока $q_{др}$, л/(с·га), равен:

$$q_{др} = \frac{\Delta W_{гр}^{расч}}{86,4t_{расч}}, \quad (6.1)$$

где $\Delta W_{\text{гр}}^{\text{расч}}$ – объем воды, подлежащей отводу за расчетный период года, м³/га; вычисляется на основе уравнения водного баланса;

$t_{\text{расч}}$ – продолжительность расчетного периода, сут.

Таким образом, модуль дренажного стока является ключевым параметром для проектирования и оценки работоспособности дренажных систем с целью поддержания оптимального водного режима мелиорируемых земель.

Норма осушения – расчетная величина понижения уровня грунтовых вод от поверхности земли на осушаемой территории, необходимая для ведения интенсивного сельскохозяйственного производства. Она зависит от типа почв, вида сельскохозяйственных культур и географического положения местности. Глубина залегания грунтовых вод изменяется также в зависимости от количества осадков в году, конструкции и быстродействия мелиоративной системы. При поддержании нормы осушения должна обеспечиваться оптимальная влажность почвы за счет капиллярной каймы. Нормативными документами [172] установлены расчетные и допустимые (в скобках) значения нормы осушения. На минеральных землях требования к УГВ колеблются в пределах от 0,3 (0,7) м в предпосевной период до 0,6 (1,4) м в вегетационный в зависимости от сельскохозяйственного использования осушаемых земель.

Влагоемкость почвы – способность почвы принимать и удерживать в своих капиллярах за счет капиллярных и сорбционных сил известное количество воды в жидком состоянии, не позволяя последней стекать. Процентное отношение ее веса к весу почвы или, соответственно, ее объема к объему почвы, выраженное в процентах, называется показателем влагоемкости почвы [153].

Различают следующие почвенно-гидрологические константы:

– полная влагоемкость (ПВ) – наибольшее количество воды, удерживаемое почвой; полная влагоемкость наблюдается при заполнении пор почвы водой и отсутствии стока;

– максимальная адсорбционная влагоемкость (МАВ) – наибольшее количество воды, которое может быть удержано сорбционными силами на поверхности почвенных частиц; соответствует прочно-связанной (адсорбированной) воде, содержащейся в почве;

– капиллярная влагоемкость (КВ) – максимальное количество влаги, удерживаемое в почве над уровнем грунтовых вод менисковыми силами;

– предельная полевая влагоемкость (ППВ) или наименьшая влагоемкость (НВ) – наибольшее количество капиллярной воды, которое остается в почве после насыщения ее до ПВ и стекания избыточной воды при глубоком залегании грунтовых вод;

– максимальная гигроскопичность (МГ) – характеризует предельно-возможное количество парообразной воды, которое почва может поглотить из воздуха, насыщенного водяным паром;

– влажность разрыва капилляров (ВРК) – это влажность, при которой подвижность капиллярной воды резко уменьшается; вода теряет сплошность заполнения капилляров, неподвижна, но физиологически доступна корням растений;

– влажность устойчивого завядания растений (ВЗ) – это влажность, при которой у растений появляются такие признаки завядания, которые не исчезают даже после помещения растений в благоприятные условия; ВЗ численно равна 1,5 МГ.

Сроки, в течение которых уровень грунтовых вод опускается до нормы осушения. Характеризуют интенсивность осушения. Их следует принимать:

– в весенний период для пашни и пастбища ~ 10 суток, а для сенокосов ~ 15 суток;

– в летне-осенний период это время определяется допустимыми сроками затопления поверхности и подтопления корнеобитаемого слоя дождевыми водами с собственного водосбора (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Сроки отвода избыточных вод

Сельскохозяйственное использование осушаемых земель (севообороты)	Отвод избыточных вод, сут			
	с поверхности почвы	из пахотного слоя (до 0,25 м)	из корнеобитаемого слоя (до 0,5 м)	до нормы осушения
Полевые с озимыми	0,5	1	4	10
Полевые без озимых, кормовые, овощные	0,8	1,5	5	10
Пастбищные земли	1	2	5	10
Сенокосные земли	1	3	8	15

На слабоводопроницаемых почвах грунтовые воды залегают достаточно глубоко.

Допустимое время отвода поверхностных вод – основной показатель, характеризующий режим осушения. Весной не допускается затопление зерновых культур, луга могут быть затоплены на 5–10 суток в зависимости от вида трав, летом после ливневых дождей вода с поверхности должна быть отведена на время от 0,5 (зерновых культур) до 1–1,5 суток (многолетние травы). Слой почвы мощностью 50 см должен быть освобожден от гравитационной воды за 2–5 суток.

Оптимальные сроки сева. Как правило, этот критерий устанавливается для культур, высеваемых в весенний период. К началу вегетационного периода влажность почвы должна быть благоприятной для посева культур и не препятствовать прохождению сельскохозяйственной техники. Задержка оптимальных сроков сева сокращает время вегетации, что может оказать влияние на их урожайность.

Сроки уборки урожая. Нарушение сроков уборки приводит к потерям, а при наихудших условиях может приводить и к полной гибели урожая. При невозможности прохождения по избыточно переувлажненному грунту уборочной сельскохозяйственной техники сдвигаются оптимальные сроки уборки урожая, например, потери зерна могут быть от осыпания из колоса при перестое на корню.

На основании вышеперечисленных показателей можно судить о целесообразности проведения реконструкции на том либо ином мелиоративном объекте.

6.5. Формирование поверхностного стока на слабоводопроницаемых почвах

Значительная часть мелиоративных систем Беларуси расположена на минеральных слабоводопроницаемых почвах. Основной причиной избыточного увлажнения является замедленный поверхностный сток из-за особенностей рельефа – западинный или безуклонный, а также повсеместное залегание с поверхности слабо-водопроницаемых почв.

Поверхностный сток на дренированных площадях формируется преимущественно в период весеннего половодья во время интенсивного снеготаяния и зависит от запасов воды в снеге. Его величина может

составлять до 97 % годового стока. В отдельные годы поверхностный сток может формироваться зимой в период кратковременных оттепелей и летом – вследствие ливневых дождей. Максимум поверхностного стока обычно наблюдается на 1,5–2,0 часа раньше максимума дренажного стока.

Внутрисуточное изменение поверхностного стока прямо зависит от температуры воздуха. Наименьший поверхностный сток образуется на площади зяблевой пахоты. Средняя продолжительность поверхностного стока составляет 24 суток в году, в т. ч. за весенний период 18 суток или 75 %.

Анализ обеспеченности среднесуточных модулей поверхностного стока показал, что модули величиной 0,2 л/(с·га) продолжаются 4,1 суток (обеспеченность 1,1 %), а модули 0,4 л/(с·га) – 1,5 суток (обеспеченность 0,4 %). Были исследованы два апробированных способа отвода поверхностного стока с дренированных сельскохозяйственных земель:

- открытый способ – по искусственным ложбинам или естественным тальвегам;
- закрытый способ – дренажной сетью с колонками- и колодцами-поглотителями.

Ложбины глубиной 0,3–0,4 м с откосами 1:7 были залужены и эксплуатировались как луг.

Закрытый способ отвода поверхностного стока более пригоден в условиях холмистого рельефа. Поверхностный сток отводился в дренажную сеть через колонки-поглотители по коллекторам увеличенного диаметра. Данный способ может применяться и на дренированных площадях с более спокойным рельефом, особенно при наличии отдельных небольших по площади замкнутых понижений.

Когда площадь понижения составляет 1 га и более, а максимальная глубина достигает 0,3–0,4 м, перевод поверхностного стока в дренажный рекомендуется осуществлять с помощью колодцев-поглотителей различных конструкций. Такие колодцы эффективно отводят воду из замкнутых понижений, обеспечивая гидравлическую связь с дренажной сетью, предотвращая избыточное увлажнение. Однако применение колодцев-поглотителей не рекомендуется в понижениях с малой площадью затопления. В таких случаях площадь вокруг колодца не обрабатывается, что приводит к зарастанию почвы буреломом. При вспашке в сторону колодца образуется повышение,

препятствующее поступлению воды в колодец. Это снижает эффективность осушения и может вызвать дополнительное переувлажнение. Таким образом, для малых по площади понижений предпочтительнее использовать другие методы осушения.

Для лугов и пастбищ наиболее приемлемым способом является раскрытие и засыпка замкнутых понижений. Планировка поверхности рекомендуется для ликвидации мелких западин, обеспечивая равномерный уклон и предотвращая застой воды на поверхности.

Ложбины необходимо устраивать дифференцированно, с учетом рельефа местности. Если раскрытие ложбин невозможно или экономически нецелесообразно, а сброс поверхностного стока необходим, рекомендуется обустривать ложбины подложбинными коллекторами и сбрасывать воду в колодцы-поглотители. Такой подход обеспечивает эффективный отвод воды и предотвращает переувлажнение почвы, сохраняя при этом возможность своевременного ведения сельскохозяйственных работ.

Организация поверхностного стока не всегда решает проблему переувлажнения корнеобитаемого слоя, особенно в глубоких западинах. При глубине понижений более 3 га рекомендуется устраивать водоемы-копани со сбросом воды из них в магистральный канал или водоприемник. В некоторых случаях понижения оставляют в естественном состоянии в качестве экологических ниш, что способствует сохранению биоразнообразия.

Таким образом, комплексный подход к организации поверхностного стока с учетом рельефа и гидрологических особенностей территории позволяет эффективно бороться с переувлажнением и создавать благоприятные условия для сельского хозяйства.

6.6. Формирование дренажного стока

Исследования по формированию дренажного стока на слабодопроницаемых землях проводились на протяжении длительного времени. При изучении режима формирования дренажного стока на слабодопроницаемых землях Витебской и Могилевской областей Беларуси было отмечено, что влажность почвы распределяется по глубине в зависимости от метеоусловий. После выпадения дождей наибольшие значения влажности наблюдались в верхних горизонтах (0–20 см). Через 5–7 дней после осадков происходила миграция

гравитационной влаги в нижние слои почвы (40–60 см), однако при низком коэффициенте фильтрации почв этот процесс замедляется, что влияет на время появления дренажного стока.

В сухой период, 10 и более дней без осадков, верхний слой почвы высыхает, поры заполняются воздухом, и на поверхности образуются трещины. При последующих дождях гравитационная влага через крупные трещины проникает в глубокие слои почвы, впитывается влагоемкой толщей и отводится дренажно-коллекторной сетью.

В Беларуси при проектировании мелиоративных систем модули дренажного стока принимают равными 0,4–1,0 л/(с·га). Исследованиями, проведенным РУП «Институт мелиорации» на объекте СПК «Мазоловский» Могилевской области на участке с холмисто-западинным рельефом, сложенным лессовидными суглинками, установлено [130], что модуль дренажного стока на различных вариантах осушения колебался в пределах от 0,0006 до 0,663 л/(с·га). Максимальный модуль стока 0,663 л/(с·га) отмечен в 2009 на коллекторе из труб ПВХ «Wawin», в который впадают дрены с геотекстилем «Тураг» и объемным кокосовым фильтром. Применение кокосового фильтра на грунтах с низким коэффициентом фильтрации более эффективно, чем геотекстильного, толщина которого зачастую не превышает 1 мм. Дрены с кокосовым фильтром были присыпаны песком на высоту 0,1 м, а не растительным грунтом на высоту 0,25 м, как рекомендовано в ТКП 45-3.04-8-2005 [172].

Модуль дренажного стока на опытно-производственных участках Витебской области, в частности на объекте «Васюки», за 2013–2019 гг. наблюдений не превышал значения 0,3 л/(с·га) [142].

Если при осушении слабоводопроницаемых грунтов закрытым горизонтальным дренажем исключить применение фильтрующих засыпок, то по расчету междреннее расстояние, обеспечивающее оптимальный водный режим, составит всего 0,5–4 м, что практически невозможно реализовать на практике. Применение сгущенного дренажа с междренными расстояниями 5 м требует значительных капитальных вложений, поэтому при строительстве дренажных линий рекомендуется использовать засыпки с высокой водопроницаемостью (коэффициент фильтрации не менее 5 м/сут), а также применять на дренах пунктирную засыпку или устраивать водопоглотительные колонки. Применение фильтрующих засыпок и колонок

поглотителей обеспечивает перевод поверхностного стока во внутрипочвенный, повышая эффективность осушительного действия дренажа.

При выборе способа осушения важно не только стремиться приблизить водо-воздушный режим почв к оптимальному, но и учитывать при этом технико-экономические показатели. Многолетние наблюдения на опытных и опытно-производственных системах осушения слабоводопроницаемых почв показывают, что дренаж без дополнительных мероприятий малоэффективен и его применение следует ограничить, поскольку осушение таких почв происходит в основном за счет сброса поверхностного стока.

Для отвода дренажного стока закрытая регулирующая сеть проектируется систематической или выборочной, при ее устройстве следует использовать пластмассовые трубы диаметром 63 мм. Междренные расстояния на слабоводопроницаемых почвах рекомендуется принимать не более 15–20 м.

Таким образом, комплексный подход к осушению слабоводопроницаемых почв с учетом технических возможностей и экономической целесообразности обеспечивает оптимальное регулирование водного режима и повышение продуктивности сельскохозяйственных земель.

6.7. Изменение водопримной способности дренажа в процессе эксплуатации

Эффективность работы дренажа оценивается его осушительным действием – интенсивностью отвода избыточных вод с мелиорируемой территории. На землях с преимущественно грунтовым водным питанием это достигается снижением уровней грунтовых вод до заданных пределов и отводом поверхностного стока с осушаемой территории, при этом влага должна оставаться доступной для растений в пределах капиллярной каймы с учетом роста и развития корневой системы в течение вегетационного периода. Для некоторых культур (озимые, многолетние травы) эти требования распространяются на весь год, а не только на летний сезон.

Весной почва должна обеспечивать проходимость сельхозтехники, особенно при севе яровых культур, а в период вегетации – своевременную подкормку и защиту посевов. Сложности с уборкой

урожая возникают преимущественно при затяжных осенних дождях.

Таким образом, эффективность работы дренажа определяется его способностью создавать и поддерживать оптимальные уровни грунтовых вод в разные периоды года. Требования к мелиоративным системам жесткие: избыточные воды с поверхности должны быть удалены в весенний период в течение 12, 19, 24 или 36 часов в зависимости от севооборота.

При обследовании дренажных систем важно выявить не только состояние труб, но и состояние обратной засыпки траншеи, особенно при устройстве дрен-собирателей на землях с атмосферным типом водного питания.

Модули дренажного стока увеличиваются на 10–15 % при дополнении материального дренажа кротовым. При устройстве поглотителей поверхностного стока (колонок, колодцев) дренажный коллектор следует рассчитывать на суммарный сток: дренажный и поверхностный, отводимый поглотителями. Дренажная засыпка обязательно должна иметь повышенную водопроницаемость для обеспечения гидравлической связи с пахотным слоем и дренажем. Вопрос о влиянии фильтрующих засыпок и колонок-поглотителей, о продолжительности их эффективного функционирования остается открытым.

Исследованиями Печениной В. С. [152] установлен характер изменения коэффициента фильтрации тяжелых суглинистых грунтов во времени под влиянием осушения (табл. 6.2).

Применение колонок-поглотителей с заполнителем из хорошо фильтрующего материала на систематическом дренаже повышает дренажный сток в 1,2 раза осенью и до 2,8 раз весной и зимой. Двухъярусный дренаж отводит в среднем в 3,8 раза больше воды, чем систематический дренаж с междренним расстоянием 10 м и объемным фильтром из песчано-гравийной смеси. При наличии мерзлоты эффективность двухъярусного дренажа возрастает в 12 раз по сравнению с систематическим.

Для проектирования дренажных систем учитывают приток воды к дренам, который зависит от расстояния между ними и типа почвы. Эти данные позволяют рассчитывать оптимальную плотность дренажной сети для эффективного отвода избыточной влаги и поддержания необходимого водного режима почвы.

Таблица 6.2

Изменение коэффициента фильтрации тяжелых суглинистых грунтов [152]

Глубина слоя, см	Коэффициент фильтрации, м/сут		
	в междренье		дренажной засыпки
	1959 г.	1972 г.	1972 г.
30	0,10	0,16	0,44
60	0,03	0,05	0,40
30	0,18	0,27	0,50
60	0,05	0,08	0,46

Таким образом, эффективность дренажа на слабоводопроницаемых почвах достигается за счет применения современных конструктивных решений: фильтрующих засыпок с высокой водопроницаемостью, водопоглотительных колонок, комбинированных систем с кротовыми дренами, а также грамотного проектирования с учетом рельефа и гидрогеологических условий.

На рис. 6.4 изображена кривая изменения коэффициента фильтрации засыпки во времени. Как и для всякого затухающего процесса, следует отметить экспоненциальный вид кривой.

Несмотря на уменьшение со временем водопроницаемости дренажных засыпок, они и спустя 10–15 лет после строительства сохраняют ее в 5–8 раз большей, чем у ненарушенного грунта в междренье.

Кривую снижения проницаемости траншейной засыпки, подобную изображенной на рис. 6.4, получил И. В. Войтович (рис. 6.5) [39].

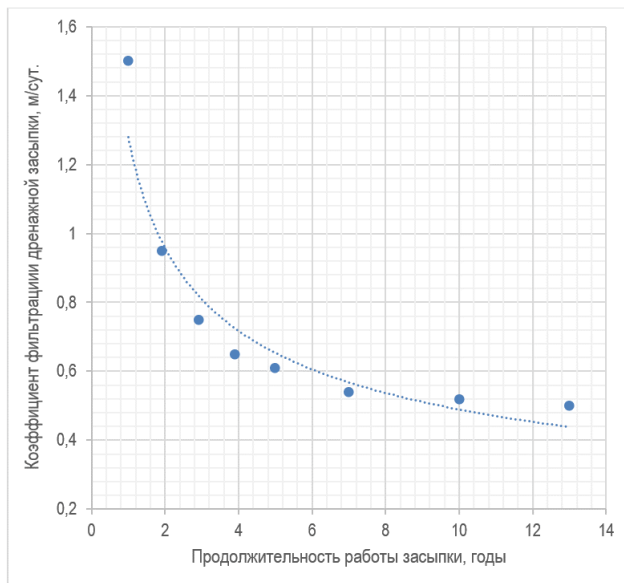


Рис. 6.4. Изменение коэффициента фильтрации дренажной засыпки во времени [152]

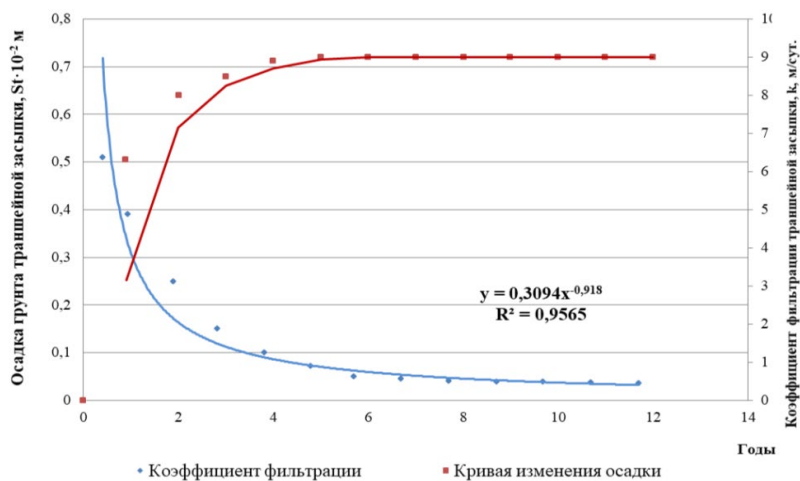


Рис. 6.5. Кривые изменения осадки и коэффициента фильтрации грунта траншеиной засыпки во времени [39]

Установлена зависимость водопроницаемости грунта траншейной засыпки во времени от ее осадки S_t :

$$S_t = a_0 \gamma_z h^2 \left(1 - \frac{g}{\pi^3} \exp \left(-\frac{c_v \pi^2}{4h^2} t \right) \right), \quad (6.2)$$

где a_0 – коэффициент относительной сжимаемости грунта;

γ_z – плотность грунта, кг/м³;

h – глубина траншеи, м;

C_v – коэффициент фильтрационной консолидации грунта.

$$C_v = \frac{k_{гр}(1 + \varepsilon)}{a\gamma}, \quad (6.3)$$

где $k_{гр}$ – коэффициент фильтрации грунта, м/сут.;

ε – коэффициент пористости грунта;

$\gamma = 998$ кг/м³ – плотность воды;

t – время, сут.

Наиболее интенсивно снижение водопроницаемости дренажной засыпки происходит в течение первых 2–3 лет эксплуатации, а затем стабилизируется.

Определенное положительное влияние на эффективность действия дренажа в суглинистых грунтах оказывает засыпка дрена растительным грунтом, которая увеличивает модуль дренажного стока на 3–30 % [195].

Качество осушения и мелиоративное состояние осушенных земель постоянно изучалось в Эстонском научно-исследовательском институте земледелия и мелиорации. Это позволило выявить ошибки, допущенные при проектировании, строительстве и эксплуатации осушительных систем и сельскохозяйственном использовании земель, разработать мероприятия, повышающие эффективность мелиорации. Были проведены полевые исследования для проверки интенсивности осушения, которые заключались в определении природных характеристик осушаемого участка, параметров дренажных систем, регулярном ведении наблюдений, т. е. измерении дренаж-

ного стока и глубины залегания грунтовых вод над дренами и в междренье. По результатам исследований установлено, что фактическая интенсивность осушения часто не соответствовала нормативной и 2–3 % дренажных систем не работали, 20 % систем были пересушены, а 45 % – недоосушены. Интенсивность осушения, близкая к нормативной, достигнута только на 30–35 % систем.

В экстремальные по влажности годы 1975 и 1981 при обеспеченности осадками 1–2 % и близких к нормативам значениям модуля дренажного стока на 8 % осушенной площади культуры полностью погибли от переувлажнения, а на 10 % площади урожайность была низкой. Основной причиной избыточного увлажнения стал застой воды на поверхности, обусловленный уплотнением почвы и подпочвенного горизонта вследствие проведения мелиоративных и полевых работ в дождливое время, незначительным объемом глубокого рыхления, ограниченным применением удобрений и др. Для предотвращения гибели культур и снижения урожайности в условиях экстремального увлажнения необходимо комплексное применение мелиоративных и агротехнических мероприятий, направленных на повышение водоотвода и разуплотнение почвы.

Основной причиной переосушения является недооценка водопроницаемости и мощности слоя песков (вместо 2–3 м/сут в расчетах принимался коэффициент фильтрации 1–2 м/сут). Причины недоосушения, кроме недостатков при строительстве, заключаются в нарушении требований технических условий, в ошибках при оценке водопроницаемости супесчаных и пылеватых грунтов (вместо $k_{\phi} = 0,2-0,3$ м/сут в расчетах принят 0,4–1,0 м/сут), в выборе расчетных схем дренажа, в избыточном уплотнении подпочвенного горизонта тяжелыми сельскохозяйственными машинами.

Вопрос снижения водопроницаемости осушенных минеральных земель приобрел особую остроту в связи с использованием тяжелой сельскохозяйственной техники. Массивные сельскохозяйственные машины, проходя в течение сезона по 8–12 раз по полю, уплотняют почву, снижая ее водопроницаемость. В результате уплотнения машинами верхних слоев почвы наблюдается застой воды на поверхности при неинтенсивном дренажном стоке.

Тяжелые колесные трактора преимущественно использовались в земледелии Эстонии. Исследования [176] показали, что под действием сельскохозяйственной техники уплотнение грунтов распро-

страняется на значительную глубину – 1 м и более – и, как следствие, снижается коэффициент фильтрации грунтов. Вибрационная волна затухает в грунте на глубине более 1 м. В связи с этим неизбежно увеличение минимально допустимой глубины закладки дрен более чем на 1 м и периодическое проведение глубокого рыхления на всех осушенных минеральных почвах.

Отмечена также зависимость недоосушения от степени заболоченности почвы. На почвах с признаками оглеения от вымокания погибает 7 % посевов, а на торфяных почвах – 25%, поэтому при расчете расстояний между дренами в минеральных почвах следует учитывать степень их оглеения.

При исследовании систем через 10–15 лет эксплуатации было установлено, что интенсивность осушения минеральных почв со временем снижается: в суглинистых и супесчаных – на 2 % в год, в песчаных – на 4 %. Следовательно, необходимость реконструкции таких систем из-за снижения эффективности осушения возникает через 20–30 лет после ввода в эксплуатацию, что значительно раньше предполагаемого срока их амортизации.

При исследовании влияния дренажной засыпки в работе дренажа необходимо обращать внимание на ее влажность в момент засыпки траншей. Это относится, главным образом, к супесчаным, глинистым и суглинистым почвогрунтам, которые размокая создают зоны низкой водопроницаемости. В результате засыпки дренажных траншей переувлажненным грунтом происходит застой поверхностных вод в 2–4 раза более длительный, чем при достаточной водопроницаемости засыпки, снижающий урожайность до 20 % [76].

Укладывать дренаж только в сухую погоду и в сухой грунт предписывается также немецкими нормами [76]. При невозможности обеспечить эти условия строительство следует отложить или прервать.

Исследование влияния начальной влажности дренажной засыпки из лессовидных суглинков на ее водопроницаемость проводилось в грунтовом лотке и на приборе Дарси в гидротехнической лаборатории БГСХА. Испытывались пробы грунта при влажности 2, 5, 8, 12, 16 и 20 %. Продолжительность опытов – до 10 суток [78]. Выявлена общая тенденция снижения водопроницаемости при увеличении начальной влажности дренажной засыпки [78].

Наибольшую пропускную способность имела дренажная засыпка, предварительно высушенная до содержания в ней 2 % влаги. В начале опыта коэффициент фильтрации ее был 19,3 м/сут, в конце – 12,0 м/сут. Снижение составило 37,8 %. При влажности 12 % коэффициент фильтрации в начале и конце опытов составил 4,4 и 3,2 м/сут, а снижение – 27,3 %. В опытах при влажности 16 % начальный коэффициент фильтрации снизился с 3,1 м/сут до 2. Наиболее четко выразилось снижение водопроницаемости в течение опытов при начальной влажности 20 %, которая снизилась с 2,3 м/сут (12 % от значений k_f при влажности 2 %) до 0,2 м/сут, т. е. на 91,3 %.

Увеличение начальной влажности дренажной засыпки более 20 % приводило к размоканию, разжижению грунта, превращению его в сметанообразную однородную массу с разрушением почвенных агрегатов. Таким образом, лабораторные опыты подтвердили зависимость проницаемости дренажной засыпки от ее начальной влажности. С увеличением ее от 2 до 20 % проницаемость снижается в 58–60 раз. В то же время при начальной влажности засыпки 2 % и в конце опытов сохраняются достаточно высокие значения коэффициента фильтрации (12 м/сут), которые более чем в три раза превосходят значения при начальной влажности 16 % и более чем в 8 раз – при начальной влажности 20 %.

Если в течение опытов k_f при начальной влажности 2 % снизился только в 1,6 раза, то при начальной влажности 20 % это снижение составило 11,4 раза.

Подобные выводы сделаны Сивицким К. К. [165], который установил, что в западинах из-за различной начальной влажности почвы максимальные модули дренажного стока при одинаковых глубинах затопления могут различаться до 5 раз.

Далее в процессе эксплуатации проницаемость засыпки будет зависеть как от водопроницаемой, так и от водоотводящей способности самого дренажа.

Проведенными ранее наблюдениями при раскопках дренажных линий в глинистых грунтах установлено, что при работе дренажа без застаивания воды в траншейной засыпке последняя сохраняет рыхлую структуру и высокую водопроницаемость спустя более 20 лет после строительства. В то же время выявлено, что в местах, где застаиваются воды в засыпке, происходит размокание почвенных

агрегатов и засыпка по своему физическому состоянию приближается к ненарушенному грунту. Поскольку при атмосферном водном питании отвод избыточных вод дренажно-коллекторной сетью происходит преимущественно через траншейную засыпку, то при этом резко снижается эффективность действия дренажа.

Такое явление наблюдалось при разрушении дренажных линий, выходе из строя смотровых колодцев, подпоре от открытого канала. Следует учитывать, что разрушение дренажного коллектора вызывает подпор воды в вышерасположенной части коллектора и впадающих в него дренах, размокание и оплывание грунта засыпки. Восстановление разрушенного коллектора уже не спасало положения, поскольку восстановить проницаемость засыпки уже было невозможно.

Исследования последних лет показали, что и при отсутствии западин дренажные системы, запроектированные и построенные в соответствии с действующими нормативами, во многих случаях оказываются недостаточно эффективными. Образование слабопроницаемого экрана обусловлено растворением комьев грунта засыпки, их оплыванием при застаивании воды в засыпке, которое обычно происходит при весеннем или летнем паводке и подпоре воды в дренажных линиях. Подобное явление наблюдается и в других случаях: при заилении каналов и закупорке наносами выходных отверстий дренажных устьев, их разрушении с подпором воды в коллекторе, при недостаточной водоприемной способности дренажных труб. В то же время при отсутствии подпора воды дренажная засыпка сохраняет рыхлую структуру, обеспечивая осушительный эффект.

Объясняется это тем, что при нормально работающем дренаже вода быстро фильтрует через засыпку так, что комья грунта не успевают разрушиться, и длительное время, т.е. в течение десятков лет засыпка сохраняет свою рыхлую структуру. Если в песчаных грунтах временный подпор воды в дренаже мало влияет на его последующую работоспособность, то в глинистых грунтах это приводит к необратимому образованию в этой зоне пластичного слоя с очень низкой водопроницаемостью. Связано это с физико-механическими свойствами глинистых грунтов, их набухаемостью и размокаемостью. По этой причине в быстроразмокаемых грунтах не следует устраивать системы двустороннего действия с подпоч-

венным увлажнением. Подобные явления возникают и в торфяных грунтах с высокой степенью разложения.

Для несвязных грунтов и сыпучих фильтрующих материалов известны аналитические зависимости для расчета дренажа – определения диаметров труб и расстояний между дренами. В связных грунтах используются эти же зависимости, но, как сказано выше, работа дренажа в этих грунтах во многих случаях не соответствует предъявляемым требованиям, т. е. используемые зависимости недостаточно учитывают особенности этих грунтов и роль ЗФМ.

Следует учитывать, что перевод стока во внутриводный имеет ряд недостатков. Образование слабопроницаемого экрана на границе пахотного слоя и дренажной засыпки обусловлено растворением грунта, его оплыванием при застаивании воды в понижении, которое обычно происходит при весеннем или летнем паводке и подпоре воды в дренажных линиях со стороны водоприемника. Подобное явление наблюдается и в других случаях: при заиливании каналов и полном перекрытии наносами выходных отверстий дренажных устьев, их разрушении с подпором воды в коллекторе, при недостаточной водоприемной способности дренажных труб. В то же время при отсутствии подпора воды дренажная засыпка сохраняет рыхлую структуру и спустя 20–30 лет после строительства обладает относительно хорошей проницаемостью, обеспечивая осушительный эффект.

Из всего изложенного следует еще один важный практический вывод: нельзя устраивать системы подпочвенного увлажнения при наличии глинистых или суглинистых прослоек в увлажняемой зоне. Эффективность таких систем будет крайне низкой как при работе их в режиме увлажнения, так и в режиме осушения из-за образования слабопроницаемой прослойки из размокшего глинистого грунта в траншейной засыпке.

Одним из важнейших способов усиления действия дренажа является устройство траншейных засыпок из более проницаемых материалов, чем вынутый грунт, что позволяет создать гидравлическую связь между верхним разрыхленным слоем и материальным дренажем. По всей длине дрены она устраивается крайне редко, большей частью для исследовательских целей. В практике мелиоративного строительства такие засыпки выполняют пунктирно, либо в локальных понижениях в виде своеобразных фильтрующих окон

или водопоглотительных колонок [167]. Широкие исследования засыпок из песчано-гравийной смеси, керамзита и других материалов проведены в Беларуси, России, Прибалтике, Германии, Нидерландах, Великобритании, на Украине и других странах.

Из всех фильтрующих засыпок рекомендуется, в первую очередь, песчано-гравийная смесь как наиболее распространенный и наиболее дешевый природный материал, если не учитывать транспортные расходы.

Исследованиями Брусиловского Ш. И. [29] установлено, что наименьшую глубину промерзания имеет засыпка из торфа. Полностью оттаивала раньше всех засыпка из песка, а позже – из торфа. Это объясняется разницей в теплопроводности: торф, особенно сухой, медленно промерзает и медленно оттаивает. В весенний же период крайне важно более раннее включение засыпок в работу.

Изменение водопроницаемости засыпок дренажных траншей спустя пять лет после устройства дренажа представлены в табл. 6.3. Данные таблицы позволяют заключить, что водопроницаемость специальных засыпок снизилась в верхних слоях вследствие перемешивания с почвой пахотного слоя. В более глубоких горизонтах проницаемость их практически не изменилась, оставаясь достаточно высокой по отношению к засыпке вынутым грунтом.

Таблица 6.3

Водопроницаемость засыпок дренажных траншей [29]

Вид дренажной засыпки	Водопроницаемость, м/сут, в слое, см					
	1970 г.			1975 г.		
	0–5	20–25	45–50	0–5	20–25	45–50
Вынутым грунтом	2,91	0,21	0,07	0,60	0,06	0,08
Смесью гумусного и подпахотного слоев	2,50	0,48	0,17	4,10	0,95	0,11
Гравийно-песчаной смесью	7,0	10,5	7,5	2,0	5,5	7,3

В Литве [20] до 1985 года для отвода поверхностных вод из понижений в дренаж рекомендовали засыпку из смеси вынутого грунта со слаборазложившимся фрезерным торфом, песчано-гравийной смесью, щепой из древесно-кустарниковой растительности, произ-

растающей на объекте, устройство фашин с обкладкой соломой или обсыпкой щебнем. Рекомендовали также вносить не менее 3 % извести от общей массы грунта.

6.8. Агротехнические и агромелиоративные приемы на осушаемых почвах

В дополнение к гидротехническим способам регулирования водного режима переувлажняемых минеральных почв применяют агротехнические и агромелиоративные мероприятия, которые также улучшают водно-воздушный режим и агрофизические свойства почвы и подразделяются на две основные группы:

– приемы, ускоряющие отвод избыточной влаги из пахотного слоя и повышающие влагоемкость почвенного профиля (глубокое рыхление, кротование, рыхление-кротование, щелевание, рыхление-щелевание);

– приемы, обеспечивающие отвод избыточной влаги по поверхности и пахотному слою почвы (выравнивание поверхности, узкозагонная вспашка, профилирование, нарезка гребней, гряд и борозд).

Изменение физических свойств подпахотных горизонтов, обеспечивающих оптимизацию процесса отвода поверхностных вод, достигается применением нематериального (беструбчатого) дренажа.

Нематериальный дренаж представляет собой систему полостей в грунте (рис. 6.6) круглого (кротовый дренаж) или щелеобразного (щелевой дренаж) сечения для осушения, аэрации, подпочвенного увлажнения связных глинистых и торфяных почв с высокой степенью разложения. Он может устраиваться как дополнение к трубчатому дренажу (комбинированный дренаж, двухъярусный дренаж). Имеет невысокую долговечность 2–7 лет.

Кротовый дренаж – это беструбчатый дренаж в виде круглых полостей, проложенных кротодренажными машинами в почве на нужной глубине с заданным уклоном. Кротовые дрены устраивают в торфах со степенью разложения органического вещества не менее 45 % и мощностью более 80 см, а также в суглинках и глинах, устойчивых к размоканию, при отсутствии в почве камней и пней. Длина кротовых дрен 150–200 м, уклон 0,002, глубина 0,8–1,2 м

в торфяных и 0,6–0,8 м в минеральных грунтах, диаметр 20–25 см для торфяных, 6–10 см для минеральных грунтов. Закрытый дренаж в сочетании с кротовым называют комбинированным дренажем.

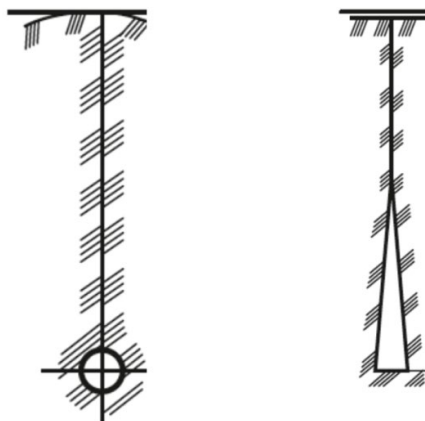


Рис. 6.6. Кротовая (слева) и щелевая (справа) дрены

Кротование проводят одновременно со вспашкой или отдельно. Кротование совместно со вспашкой выполняется кротователем, укрепленным на корпусе плуга, а кротовины прокладывают дренажом. Кротовины, выполняемые без совмещения со вспашкой, устраивают на глубине не менее 50–60 см различными кротователями. На участках, осушаемых дренажем, кротование рекомендуется проводить поперек направления дрен через 1–3 м. Кротование рекомендуется проводить весной или осенью одновременно со вспашкой.

Кротование оказывает положительную роль, что доказано опытами, проведенными Б. И. Яковлевым в БГСХА [195]. Высокая эффективность бессточного кротового дренажа и эффективность комбинированного дренажа на лессовых почвах доказана в опытах А. И. Богдановича при осушении почв в Горецком районе [23]. Устойчивая работа кротовых дрен сохранялась более 3 лет.

В Северной Ирландии устраивается *двухъярусный дренаж*: кротовый – на глубине 45–50 см через 1,5 м и трубчатый – на глубине 70 см через 20–30 м с гравийной засыпкой высотой 36–45 см. При

прокладке кротовин верхний слой почвы должен быть сухим для образования трещин, слой, где дрены, пластичным. Несколько недель после прокладки дренажа сельскохозяйственные работы не проводятся для предотвращения повреждений кротовин. Срок службы кротовин по почвах Ирландии 6–7 лет, срок окупаемости – 5 лет [211].

Щелевой дренаж – один из типов беструбчатого горизонтального дренажа, выполненный в виде щелевых дрен – узкой вертикальной прорези в осушаемом грунте.

Глубокое рыхление тяжелых почв. Глубокое рыхление относится к мерам временного действия. Глубокая вспашка и рыхление тяжелых почв, а также посев трав улучшают их водно-физические свойства. Глубокое рыхление в сравнении с кротованием увеличивает водопоницаемость почвы в 2–3 раза. В Великобритании кротовины сохраняются 2 года.

Глубокое рыхление выполняется на дренах-собирателях с фильтрующей засыпкой траншеи, при этом поверхностный сток трансформируется в дренажный. При отсутствии дрен-собирателей возникает обратный эффект от применения глубокого рыхления – аккумуляция внутрипочвенной влаги.

Рыхление, рыхление-кротование и щелевание почвы повышают урожайность сельскохозяйственных культур на 15–25 %. Все виды глубокого рыхления, кротования и щелевания проводятся на осушенных глинистых и суглинистых дерново-подзолистых и дерново-карбонатных выщелоченных почвах различной степени оглеения с коэффициентом фильтрации в подпахотных горизонтах менее 0,1 м/сут. Наиболее высокая эффективность рыхления и щелевания почвы наблюдается в средние по теплообеспеченности годы в диапазоне 1,3–2,0 гидротермических коэффициентов Г. Т. Селянинова за период вегетации. Для выполнения указанных работ в Беларуси применяют в основном навесное оборудование РУ.65.2,5, РК–1,2, РСЦ–3,5 и др.

Глубокое рыхление-кротование и щелевание не применяются при наличии в почвогрунте каменистых включений размером более 30 см. Не эффективны эти приемы на пойменных дерновых зернистых суглинистых и глинистых неоглеенных агрегированных и хорошо проницаемых почвах ($k_{\phi} = 0,5–1,0$ м/сут.). Глубокое рыхление не проводится на почвах грунтового водного питания, а также

находящихся в пластическом состоянии (коэффициент консистенции более 0,8). Не рекомендуется проводить его при аккумуляции поверхностного стока в горизонтах почвенного профиля и интенсивном вторичном заболачивании в результате рыхления недrenированных оглеенных почв [62].

В периодическом рыхлении или кротовании на глубину 45–50 см нуждаются почвы, в верхней полуметровой толще которых имеется переуплотненный слой, являющийся относительным водоупором [178].

Глубина рыхления, кротования и щелевания, а также возможность и необходимость их сочетания определяются конкретными почвенно-гидрологическими условиями, рельефом, состоянием и характером использования почвы. Сплошное глубокое рыхление выполняется многокорпусными рыхлителями на глубину 55–65 см, а в сочетании с кротованием – на 45–50 см. Кротование ведется на глубину 60–70 см, щелевание – на 50–60 см.

Сплошное глубокое рыхление и рыхление-щелевание проводятся при влажности почвы в слое 0–65 см менее 0,6 от наименьшей влагоемкости (НВ); сплошное рыхление с одновременным кротованием – при влажности почвы в слое 0–55 см менее 0,7 НВ, а в подстилающем слое 55–70 см – в пределах (0,8–1,0) НВ; сплошное кротование проводится при влажности почвы в слое 0–70 см (0,8–1,0) НВ. Сплошное рыхление-кротование выполняется при условии, когда на глубине кротования залегают кротоустойчивые грунты. Глубина рыхления при этом составляет 65 см, кротования – 80 см. При залегании кротоустойчивых грунтов на глубине менее 90 см глубокое рыхление-кротование проводится отдельными полосами.

Рыхление на дренированных почвах проводится в слое на 0,2–0,3 м выше глубины закладки дрен под углом к ним 60–90°. Оптимальное расстояние между полосами примерно равно глубине рыхления (0,65–1,20 м). Все работы, связанные с рыхлением и кротованием, проводятся после планировки поверхности почвы. Обработка разрыхленной почвы выполняется спустя 2–3 месяца после стабилизации первично образованной структуры.

Проведение рыхления перпендикулярно дренам не всегда возможно, т. к. дрены могут иметь различные углы сопряжения с коллектором, особенно при двусторонней компоновке или при устройстве выборочного дренажа. Направление последующей обработки

почвы проводится под острым уклоном к полосам рыхления. Поскольку траншея обычно засыпается фильтрующим материалом дискретно в виде отдельных «окон», то вследствие смещения полос при каждой новой операции рыхления одна или две полосы попадут на каждое «окно».

Повышение интенсивности отвода избыточных поверхностных вод на слабопроницаемых грунтах в дренажную сеть может быть достигнуто путем устройства в дренажной траншее присыпки из хорошо фильтрующего материала (гравий, песчано-гравийная смесь, керамзит, шлак, древесная щепа, обработанная против гниения и пр.) с коэффициентом фильтрации как минимум в 10 раз большим, чем коэффициент фильтрации вынутаго грунта. Выполнение периодического разуплотнения почвы с помощью глубоких рыхлителей с постоянным увеличением глубины рыхления исключает образование повторной плужной подошвы. Периодически изменяемый отступ от бровки канала позволяет избежать переуплотнения зон в междуследье. Первое рыхление следует проводить не ранее 6–8 месяцев после устройства дренажа для того, чтобы фильтрующая засыпка обсеяла. Глубокое рыхление является одним из эффективных приемов вовлечения плотных подпахотных слоев в сельскохозяйственный оборот, поскольку корни сельскохозяйственных культур могут проникать в почву на 2 м и более.

Принятый способ дренирования слабопроницаемого грунта позволяет увеличить расстояние между дренами-собирающими в два раза по сравнению с систематическим дренажем и ведет к увеличению интенсивности осушения и улучшению водно-физических свойств почвы, что создает благоприятные условия для беспрепятственного и свободного развития корневой системы растений, способствует получению высоких урожаев.

Предлагаемый способ может быть осуществлен землепользователями без привлечения сторонних организаций. Некоторое увеличение расхода горючего вследствие возрастания необходимого тягового усилия при рыхлении вполне себя оправдывает как увеличением урожайности, так и улучшением проходимости машин по полю во время весеннего сева и в период уборки урожая.

Глубокое рыхление дает прибавку урожая на 15–20 % и окупается в первый год [62].

Глубокое рыхление в сравнении с кротованием увеличивает водопоницаемость почвы в 2–3 раза. Эффект кротования сохраняется 2 года, рыхления – 3–4 года, при этом рекомендуется применять химвелиоранты [98]. Рассмотренные мероприятия существенны при реконструкции мелиоративных систем.

Эффективность глубокого рыхления и кротового дренажа сохраняется 1–2 года и только в редких случаях остается заметным их действие на 3–4 год [153, 192]. После этого их следует возобновлять. Высокая энергоемкость этих мероприятий ставит под сомнение эффективность их применения.

Окультуривание мелиорированных земель производят следующими агротехническими приемами.

Ярусная вспашка – послонная обработка почвы с перемещением почвенных горизонтов

Планировка поверхности почвы, выполняемая независимо от выращиваемой культуры, проводится на участках поверхности планировщиками, шлеф-волокушами или другими приспособлениями. Длиннобазовый планировщик применяется только после вспашки и полной разделки пласта. После каждых двух следов прохода планировщика производится рыхление почвы тяжелыми дисковыми бородами. Для движения планировщика рекомендуется диагонально-перекрестная схема как обеспечивающая более качественное выравнивание. Возможно применение челночной или петлевой схемы движения планировщика. Выравнивание поверхности рекомендуется производить, если влажность почвы в процентах от абсолютно сухой массы находится в пределах: для глинистых грунтов – 20–28, тяжелосуглинистых – 19–25, среднесуглинистых – 18–23, легкосуглинистых – 13–18, супесчаных – 12–17, песчано-пылеватых – 10–15, что ориентировочно составляет 0,60–0,65 от НВ.

Узкозагонная вспашка – это вспашка всвал загонами шириной 10–24 м, при которой поле покрывается сетью разъемных борозд, облегчающих сток избыточных поверхностных вод и отвод стока за пределы поля.

Узкозагонная вспашка выполняется на почвах с выраженным уклоном. На участках с уклоном поверхности менее 0,002 ширина загонов принимается 10–12 м, при более 0,002 – до 25 м. Вспашку проводят обычными плугами в осенне-весенний период. После вспашки прокладывают поперечные водоотводящие борозды по

понижениям рельефа с выводом в открытые каналы. Пересечения разъемных и водоотводных борозд в каналы расчищают вручную.

Профилирование – агромелиоративный прием регулирования поверхностного стока, при котором производится образование двускатного профиля поверхности поля посредством неоднократной вспашки почвы узкими загонами постоянной ширины с целью ускорения отвода дождевых и талых вод.

Профилирование применяют на безуклонных участках путем проведения повторной узкозагонной вспашки при сохранении свалов и отвалов во время очередной обработки поля на почвах с мощностью гумусового горизонта более 20 см и уклоном менее 0,002.

Гребневание и грядование выполняют на безуклонных полях под овощные культуры и картофель. Гребни и гряды нарезаются высотой от 15 до 25 см весной при предпосевной обработке или осенью при зяблевой вспашке грядоделателями. Межгребневые и межрядовые борозды при каждой очередной обработке пропашных культур углубляются. После нарезки гребней и гряд делаются поперечные водоотводные борозды с выводом в канал, расчищаются их пересечения с межрядовыми и межгребневыми бороздами, а также места впадения водоотводящих борозд в каналы.

Бороздование применяется на полях с неровным рельефом при наличии замкнутых понижений с выходом в открытые осушители для сброса избыточной воды из понижений и из разъемных межрядовых борозд. Оно выполняется бороздоделами, однокорпусными плугами или окучниками на глубину 25–35 см после вспашки, сева озимых или яровых зерновых культур. Нарезка начинается от канала в направлении вверх по уклону. Бороздование может быть систематическим и выборочным.

6.9. Особенности осушения слабоводопроницаемых почв

Для дерново-подзолистых почв характерно резкое несоответствие между высоким возможным и низким фактическим плодородием, которое проявляется при их переувлажнении в периоды интенсивных осадков, а также весной и осенью. Основными причинами переувлажнения являются слабая водопроницаемость почвы, наличие замкнутых микро- и макропонижений, в которых застаиваются атмосферные осадки и талые воды, а также равнинный рельеф.

еф местности, затрудняющие поверхностный сток [30, 53]. Водовоздушный режим почв оказывает влияние на урожай сельскохозяйственной продукции и рентабельность ее производства.

К слабопроницаемым почвам относятся почвы, коэффициент фильтрации которых менее 0,1 м/сут. В большинстве случаев это почвы, содержащие более 50 % глинистых или илистых частиц. Осушение их обеспечивается за счет усиления трубчатого дренажа фильтрующими засыпками или комбинации его с беструбчатой сетью, а также организацией поверхностного стока. Об эффективности закрытого дренажа для осушения слабопроницаемых минеральных почв высказываются противоречивые мнения, связанные в основном с различной оценкой роли пахотного и подпахотного горизонтов в формировании дренажного стока.

По данным Кеннела Р. [197], в Англии было установлено, что подъем уровня почвенно-грунтовых вод до 10–20 см от поверхности в декабре-апреле снижает урожай озимой пшеницы на 18–21 %, поэтому его нужно поддерживать на глубине не менее 50 см. На участке с кротовым дренажем глубиной 50–60 см, проложенным через 2 м и выведенным в гравийную засыпку трубчатых дрен, урожай увеличился на 25 %.

Осушение тяжелых переувлажненных почв зоны муссонного климата, например, на Дальнем Востоке [181], проводится с учетом рельефа местности: на выровненных склонах с уклоном более 0,005–0,007 рекомендуются открытые каналы, ложбины и выводные борозды, сочетающиеся с агромелиоративными мероприятиями (гребни, гряды на пропашных культурах, глубокое рыхление и кротование); на участках со сложным микрорельефом дополнительно устраивается выборочный дренаж для отвода воды из замкнутых западин с засыпкой дренажной траншеи в самых низких местах фильтрующим материалом.

На слабосточных массивах (пашня) строится систематический дренаж с глубиной закладки дрен 80–90 см при междренном расстоянии 10–12 м. В средние по влажности годы эти приемы повышали урожай на 20–25 %. В нашей Республике было установлено, что в экстремальные периоды (1985), когда осадки превышали среднемноголетнюю месячную норму в 2,5–3,5 раза, средняя урожайность зерновых в Шарковщинском районе Витебской области была на немелиорированных землях 21–35 ц/га, а на мелиорирован-

ных 30–33 ц/га. Можно считать, что мелиоративная сеть во влажные периоды недостаточно быстро справляется с такой ненормативной нагрузкой по отводу поверхностных вод и переводу поверхностного стока во внутрипочвенный через дренажную засыпку на землях с преимущественно атмосферным водным питанием.

Недостаточное быстроедействие системы объясняется многими причинами как конструктивного, так и эксплуатационного характера. Так, исследованиями Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации (ВНИИГиМ) установлено [105], что коэффициент фильтрации дренажной засыпки в период строительства составлял 0,98 м/сут, через 3 года – 0,50 и через 10 лет – 0,3 м/сут, а грунта в междренье – соответственно 0,06, 0,08, 0,1 м/сут, т.е. практически не изменялся. В Московской области на тяжелых почвах с $k_f > 0,05$ м/сут рекомендовалось устраивать дренаж глубиной 1,2–1,4 м с расстоянием между дренами 15–20 м и глубоким рыхлением, исключая понижения, на 60–80 см с расстоянием 1,2–1,3 м.

Одним из регионов с большими площадями переувлажненных минеральных земель является Прибалтика и, в частности, Эстония, где на 1983 год было переувлажнено более 52 % земель, причем временно переувлажненные минеральные почвы составляли 80 %, а постоянно переувлажненные торфяно-глеевые и торфяные – 20 %. [174].

Уход за осушительными системами требует совершенствования, т.к. отдельные виды эксплуатационных работ, например, промывка дренажа, может проводиться только специализированными организациями.

Промывка дренажных линий – наиболее эффективная мера предотвращения их от закупоривания, однако при проектировании дренажа следует применять наиболее простую конфигурацию, небольшие размеры осушаемого участка и длину дрен (не более 200 м), а в сложных гидрологических условиях – одиночные дрены большого диаметра.

Выяснением причин ухудшения работы дренажа в Белорусской сельскохозяйственной академии [94] занимались Кумачёв Л. И. и другие. В результате проведенных ими обследований дренажа во многих случаях было установлено заиливание дренажных труб, заполнение их корнями растений, уменьшение коэффициента фильтрации грунтов, подстилающих пахотный слой.

Очистить дрены, забитые корнями растений, практически невозможно – это относится в основном к гончарному дренажу и является одной из причин его отказа. Академиком ВАСХНИЛ Н. И. Вавиловым [32] получены данные о том, что корневая система кукурузы, проса, зерновых, бобовых, коостреца, подсолнечника и других растений достигает глубины 2–3 и более метров, т. е. они могут проникнуть внутрь дренажных труб.

Ученые пришли к выводу, что главной причиной снижения осушительного действия дренажа является уменьшение коэффициента фильтрации грунтов, подстилающих пахотный слой [108]. Происходит это в течение 20–30 лет эксплуатации осушаемых земель в результате деградации почвы, т. е. ее обесструктурирования. Хорошая оструктуренная почва состоит из мелких комочков, скрепленных гумусом, не размываемых дождями и обеспечивающих хорошее соотношение содержания влаги и воздуха в почве. Именно благодаря этому почва является плодородной. При высоких урожаях, более 50 ц/га, уменьшается содержание гумуса в почве, почвенные комочки без гумуса легко размываются каплями дождя, превращаясь в бесструктурную массу. Образуется почвенная корка, снижается содержание воздуха в почве и уменьшается урожай. Такая почва называется бесструктурной или деградированной [156]. Деградации почвы способствует вспашка ее с оборотом пласта вследствие ускоренной минерализации гумуса и гибели почвенной биоты [156], что приводит к ухудшению условий произрастания растений.

Примененные варианты восстановления работоспособности старых дренажных систем – промывка, устройство новых коллекторов и подключение к ним старых (существующих) дрен и наоборот не дали ощутимого результата.

В приведенном обзоре причин снижения эффективности мелиоративных мероприятий есть рациональное зерно для специалистов и в нынешних условиях, например, целесообразно было бы применять использованную эстонскими учеными методику оценки осушительного действия мелиоративных систем, которая позволила бы более достоверно и конкретно пообъектно проводить реконструкцию мелиоративных систем, а также планировать ее объемы. Это же касается и учета деградации почвы при проектировании мелиоративных систем.

С другой точки зрения, наши мелиораторы недооценивают роль мелиорации в сельскохозяйственном производстве и ее эффективность. Вот как оценивают ее в США: в штате Огайо фермеры за счет мелиорации получают один дополнительный рабочий день в марте, два дня в апреле и три в мае; в штате Иллинойс количество полевых рабочих дней в апреле увеличивается на 3–5, в мае на 4–18. Каждый день задержки в посеве кукурузы в первой половине мая снижает урожай в среднем на 63 кг с гектара, во второй половине мая на 126 кг с гектара за каждый просроченный день [202].

6.10. Учет особенностей слабоводопроницаемых почв при расчете дренажа

Анализ фильтрующей способности элементов дренажа показал, что подпахотный слой слабоводопроницаемых почв является составной его частью, поэтому для хорошей осушительной способности дренажа важна его высокая водопроницаемость, при которой обеспечивается приток воды к дренам.

В связи с тем, что более 70 % избыточной воды поступает в дренаж по пахотному слою и по поверхности почвы, дренажная засыпка обязательно должна иметь повышенную водопроницаемость для обеспечения гидравлической связи между пахотным слоем и дренами. В результате проведенных СевНИИГиМ экспериментов на опытных участках с различными вариантами конструкций дренажа было установлено [189]:

– поглотительные колонки из крупнопористых материалов на систематическом дренаже повышают дренажный сток в 1,2 раза осенью и до 2,8 раза весной и зимой;

– двухъярусный дренаж отводит в среднем в 3,8 раза больше воды, чем систематический с междренним расстоянием 10 м и объемным фильтром из ПГС слоем 0,2 м при наличии мерзлоты двухъярусный дренаж отводит в 12 раз больше воды, чем на контрольном варианте.

В Эстонии [177] исследования осушительной способности дренажа на тяжелых почвах, в подпахотном слое которых содержится 75–85 % физической глины, с $k_f = 0,008$ м/сут на глубине 0,3–0,5 м, показали, что закрытый дренаж в этих условиях работает в режиме

поверхностного осушения. Переформировать поверхностный сток во внутрпочвенный при помощи дренажа глубокого заложения на глинистых почвах практически не удалось [189]. Средняя глубина дрен составляла 0,9–1,2 м с расстоянием между ними 10–12 м. Дрены присыпались гумусовым горизонтом слоем 15 см.

Исследования показали, что закрытый дренаж в этих условиях функционирует в режиме перевода поверхностного стока во внутрпочвенный. Траншейная засыпка состояла из вынутого грунта, содержащего 75–78 % глины. При сумме осадков за три месяца порядка 465 мм большая часть дренажа в 1978–1981 годах оказалась малоэффективной, повсеместно наблюдалось недоосушение. Для хорошей осушительной способности дренажа важна высокая водопроницаемость траншейной засыпки, при которой обеспечивается приток воды к дренам в объеме расчетного модуля стока. Этим значениям соответствуют следующие величины притока воды q к дренам: при расстоянии между ними $B = 10$ м – 1,1 см³/с на 1 м длины, а при $B = 12$ м – 1,3–1,56 см³/с.

Для определения величины притока воды q предлагается зависимость:

$$q = 1,48k \cdot h, \quad (6.4)$$

где q – приток воды к дрене с двух сторон на 1 м ее длины, м³/с;

k – коэффициент фильтрации пахотного слоя, м/сут;

h – мощность пахотного слоя, м.

Как показали исследования, водопрopusкная способность пахотного слоя глинистых почв $h = 0,2$ м в зависимости от его состояния изменяется от 1,5 до 8,2 см³/с при коэффициенте фильтрации 0,45–2,4 м/сут соответственно, т.е. водопроницаемость пахотного слоя обеспечивает формирование расчетного модуля стока.

Засыпки дренажных траншей состояли:

– из почвы пахотного слоя, содержащего гумус более двух трети по объему;

– из смеси глины с содержанием гумуса от одного до двух третей с пахотной почвой;

– из глины, вынутой при отрывке траншеи (обратная засыпка).

В результате исследований было установлено, что в улучшении водопроницаемости засыпки большую роль играет гумусовый слой. Например, у засыпки из гумусовой почвы и глины в пропорции 1:1 водопроницаемость при сроке эксплуатации 20–30 лет в 7–8 раз, а у засыпки только из гумусовой почвы в 15–20 раз превышает водопроницаемость засыпки из глины. Содержание гумусовой почвы оказывает влияние на время старения засыпки: чем больше ее в засыпке, тем медленнее происходит снижение ее водопроницаемости. Водопроницаемость тяжелых почв, осушенных закрытым горизонтальным дренажем с содержанием в обратной засыпке траншеи 75–85 % физической глины с $k_{\phi} = 0,04$ м/сут, через $T = 20–30$ лет превышает водопроницаемость нетронутого подпахотного слоя примерно в 5 раз.

Фильтрационный расход через поперечное сечение засыпки траншеи шириной 0,5 м и равномерном притоке воды по ее длине определяется по формуле:

$$q = \frac{57,9k_3}{B}, \quad (6.5)$$

где k_3 – коэффициент фильтрации засыпки, м/сут;

B – расстояние между дренами, м.

Вычисленная по этой формуле пропускная способность траншейной засыпки из смеси гумусовой почвы и глины 1:1 не обеспечивает требуемой интенсивности осушения.

Присыпка дрен на тяжелых почвах должна выполнять функцию объемного фильтра с $k_{\phi} > 1$ м/сут. Гумусовая почва, используемая в качестве траншейной засыпки, удовлетворяет этому требованию в первые 15 лет эксплуатации дренажа. При использовании ее в качестве присыпки дрен общая водопроницаемость траншейной засыпки оказывается в 13 раз ниже требуемой. Это объясняется пересушиванием обсыпки дрен под действием нагрузки от засыпки и гидравлическим давлением, а также кольматацией гумусовой обсыпки дрен глинистым грунтом.

По данным Алеканда [12] при строительстве дренажа на почвах тяжелого гранулометрического состава для присыпки дрен используется отвал грунта траншеи, где гумусовая почва перемешивается

с глиной. При экскавации мокрого грунта создается смесь, представляющая собой водонепроницаемый, а не фильтрующий материал. Не оправдала себя обсыпка дрен из фрезерного торфа, хотя в первые 2 года эксплуатации она обеспечивала в 1,7 раза более высокие модули дренажного стока по сравнению с присыпкой из пахотного слоя. Однако, после 17 лет работы разложившийся фрезерный торф представлял собой слабоводопроницаемую студенистую массу.

Для повышения водопримной способности дрен может применяться гравийная засыпка. Установлено также, что в результате кольматации глиной водопроницаемость гравийной засыпки значительно снижается. При осушении грунтов с низким коэффициентом фильтрации и наличием пылеватых частиц присыпка дрен является самым слабым местом. Присыпка из грунта пахотного слоя функцию объемного фильтра не выполняет. Для обеспечения надежной гидравлической связи верхнего водопроницаемого слоя с дренажной трубой важна засыпка хорошо фильтрующим некольматируемым материалом. Данное условие может быть достигнуто засыпкой траншеи сухим грунтом с содержанием гумусовой почвы порядка 50 %.

Пропуск расчетного модуля стока, равного 1,0 л/(с-га), обеспечивается при засыпке с содержанием гумусовой почвы около 50 %.

В общем случае приток воды к дрене Q можно выразить уравнением:

$$Q = \frac{2\pi k_{\text{гр}} H}{\ln \frac{4t}{D} + C}, \quad (6.6)$$

где $k_{\text{гр}}$ – коэффициент фильтрации осушаемого грунта, м/сут;

H – действующий напор, м;

t – глубина заложения дрены, м;

D – диаметр дрены, м;

C – коэффициент несовершенства дрены по характеру вскрытия пласта.

Определение всех обозначений в этой формуле за исключением C достаточно известно. Несовершенство дрены по характеру вскрытия

тия пласта (дрена над водоупором), несовершенство дрены по конструкции (дрена принимает воду в свою полость не всей поверхностью), обертки ЗФМ для связных грунтов пока аналитически не определяется.

Несовершенство же ее конструкции без подпора воды внутри трубы проявляется в образовании над ней определенного напора h_c , (рис. 6.7). Чем несовершеннее конструкция дрены, чем больше гидравлические сопротивления в придренинной зоне, тем больше этот напор (высота нависания). В совершенной дрене в расчетах принимают $h_b = 0$.

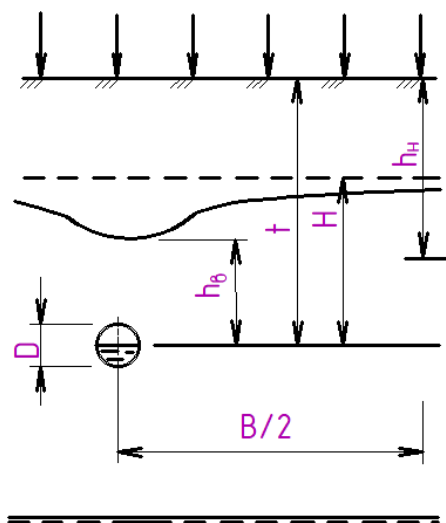


Рис. 6.7. Несовершенная дрена: H – действующий напор; h_n – норма осушения; t – глубина заложения дрены; d – диаметр дрены; h_b – высота нависания уровня грунтовых вод над дренаем; B – расстояние между дренами

В пластмассовых трубах и в синтетических защитно-фильтрующих материалах определенную роль может играть гидрофобность, т. е. плохая смачиваемость материала, а также выделение газов из воды. В придренинной зоне могут возникнуть суффозия с выносом мелких частиц грунта потоком воды в полость дрены или кольматация фильтра мелкими частицами грунта. Может образо-

ваться слой повышенной проницаемости по принципу обратного фильтра. Все эти факторы влияют на приточность воды к дренам, уменьшая или увеличивая их водоприемную способность.

Учесть все эти изменения математическими выражениями пока невозможно из-за сложности и недостаточной изученности этих процессов.

Для практических расчетов дренажных конструкций, назначения размеров, вида и площади перфорации дренажных труб, выбора фильтров необходим какой-то обобщенный параметр, учитывающий не только сжатие фильтрующего грунтового потока, но и изменения, происходящие в придреннной зоне. Таким параметром в определенной степени может быть величина контактного сопротивления, предложенная Г. М. Мариупольским.

Так, при одномерной фильтрации через образец грунта высотой l и площадью F в соответствии с законом Дарси расход можно выразить формулой:

$$Q_0 = \frac{H_0}{R_0}, \quad (6.7)$$

где R_0 – гидравлическое сопротивление образца грунта, кгс/м²;
 H_0 – напор, м.

$$R_0 = \frac{1}{Fk_{\phi}}. \quad (6.8)$$

Непосредственно в зоне контакта грунта с дренами, имеющей глухие водонепроницаемые участки, частично перекрывающие поры, возникает добавочное сопротивление:

$$R_c = \frac{\omega_c}{F}. \quad (6.9)$$

где ω_c – удельное контактное сопротивление, отнесенное к единице площади и имеющее размерность времени; ω_c может быть как положительным, так и отрицательным.

В общем случае:

$$Q_0 = \frac{H_0 + H_c}{R_0 + R_c}, \quad (6.10)$$

где H_c – дополнительный напор, необходимый для преодоления сопротивления R_c при постоянном расходе Q , м.

Для трубчатой дрены диаметром D и длиной L :

$$H_c = \frac{Q_0 \omega_c}{\pi DL}. \quad (6.11)$$

Потери напора можно представить как сумму потерь для идеальной дрены H_0 и дополнительных потерь из-за ее несовершенства H_c :

$$H = H_0 + H_c = \frac{Q}{2\pi k_\phi} \ln \frac{4t}{D} + \frac{QC}{2\pi k_\phi}. \quad (6.12)$$

Сравнивая (6.6) и (6.12) можно получить:

$$C = \frac{2 k_\phi \omega_c}{D}. \quad (6.13)$$

Величина коэффициента C обусловлена не только несовершенством дрены по гидравлическим параметрам, но и изменениями, происходящими в придренинной зоне, например, фильтрационными деформациями. В этом случае контактное сопротивление ω_c надо рассматривать как некоторую приведенную величину всех добавочных сопротивлений, рассеянных в придренинной зоне неизвестным образом, но условно отнесенных к поверхности контакта.

Величину ω_c можно определить в лабораторных условиях, применив формулу В.В. Ведерникова для «идеальной» подрусловой дрены (рис. 6.8):

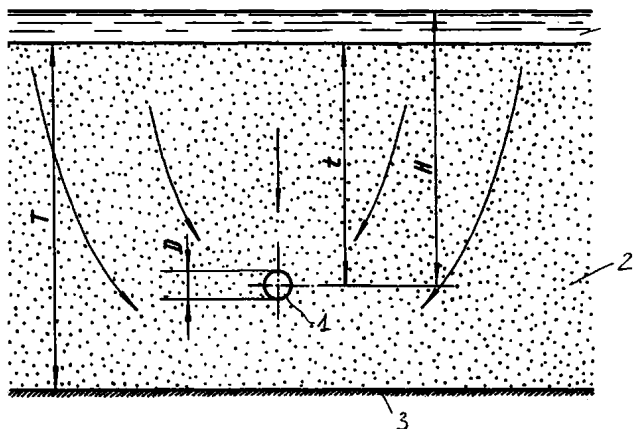


Рис. 6.8. Схема грунтового лотка для испытаний дренажных конструкций по принципу подрусловой дрены

$$Q_0 = \frac{2\pi k H_0}{\ln \left[\operatorname{tg} \frac{\pi(4t-D)}{8T_i} \operatorname{ctg} \frac{\pi D}{8T_i} \right]}, \quad (6.14)$$

где T_i – мощность водопроницаемого слоя, м.

Формула (6.14) тщательно проверялась методом ЭГДА и показала удовлетворительную точность при:

$$\frac{D}{T_i} \leq 0,15 \text{ и } \frac{D}{t} \leq 0,5. \quad (6.15)$$

Подставив в (6.14) значения H_c , можно получить приток к дрене длиной L :

$$Q = \frac{2\pi k H L}{\frac{2k\omega_c}{D} + \ln \left[\operatorname{tg} \frac{\pi(4t-D)}{8T_1} \operatorname{ctg} \frac{\pi D}{8T_1} \right]}. \quad (6.16)$$

Численные значения контактных сопротивлений сложных дренажных конструкций можно определить по данным лабораторных

экспериментов, используя зависимость (6.16). Если провести эксперименты в грунтовом лотке, параметры которого удовлетворяют условиям (6.15) и соответствуют схеме подрусовой дрены, то можно определить и оценить степень их совершенства по характеру вскрытия пласта:

$$\omega_c = d \left(\frac{\pi HL}{Q} - \frac{1}{2k} \ln \left(\operatorname{tg} \frac{\pi(4t-D)}{8T_1} \operatorname{ctg} \frac{\pi D}{8T_1} \right) \right). \quad (6.17)$$

Из формулы Дарси следует:

$$H = \frac{vl}{k}, \quad (6.18)$$

где v – скорость фильтрации, м/сут.

Потери напора вследствие контактных сопротивлений:

$$H_c = \frac{Q\omega_c}{F} = V\omega_c. \quad (6.19)$$

Тогда общие потери напора:

$$H = H_0 + H_c = V \left(\frac{l}{k} + \omega_c \right). \quad (6.20)$$

Формула (6.20) позволяет выяснить физическую сущность удельных контактных сопротивлений ω_c и объясняет, почему они имеют размерность времени. Если отношение l/k_ϕ в этой формуле определяет время движения частицы жидкости через образец длиной l при градиенте, равном 1, то ω_c определяет дополнительные затраты времени вследствие контактных сопротивлений и его можно представить в виде удлинения пути фильтрации на фиктивное расстояние l_ϕ :

$$\omega_c = \frac{l_\phi}{k_\phi}. \quad (6.21)$$

Тогда:

$$l_{\phi} = \omega_c k_{\phi}. \quad (6.22)$$

Фильтрующий элемент с высоким контактным сопротивлением можно представить как идеальный, т. е. без контактных сопротивлений, но с дополнительным путем фильтрации l_{ϕ} .

Проведенными в грунтовом лотке (длина 5,6 м, ширина 0,5 м, высота 1,0 м, грунт – песок среднезернистый) опытами установлена зависимость удельного контактного сопротивления от площади перфорации, которая показывает, что с увеличением площади перфорации контактные сопротивления резко уменьшаются и в дренажной трубе диаметром 50 мм вполне достаточно площади входных отверстий 38–40 см²/м. Последующие опыты подтвердили эти выводы. В дренаже из керамических труб (гончарном) площадь зазоров в стыках, через которые вода поступает в трубы, не превышает 4 см²/м, что во многом объясняет низкое осушительное действие дренажа. Однако следует отметить, что в лабораторных опытах практически невозможно смоделировать все процессы и явления, происходящие в дренаже в натуральных условиях в течение длительного срока его действия (25 лет и более). За этот период в придреннной зоне могут произойти существенные изменения, в результате которых контактные сопротивления неизбежно возрастут из-за кольматации и обрастания входных отверстий трубы различными водными организмами, поэтому в современных пластмассовых дренажных трубах, используемых при реконструкции систем, минимальная площадь входных отверстий должна быть не менее 20 см²/м, т. е. с двойным запасом.

6.11. Рекомендации по способам осушения слабоводопроницаемых почв

Мелиоративные мероприятия требуют дифференцированного подхода в зависимости от характеристик почвенного покрова, генезиса и состава почвообразующих пород. Для слабоводопроницаемых почв, обладающих высокой аккумулярующей способностью, ключевым аспектом становится выбор технологий, обеспечивающих эффективное регулирование водного режима.

Основные направления реконструкции мелиоративных систем:

- применение современных материалов и технологий;
- использование новых конструктивных элементов дренажных систем (колодцы-поглотители, колонки-поглотители) для повышения эффективности отвода влаги;
- применение более совершенных технологических приемов, оптимизирующих ручной труд;
- внедрение автоматизированных систем управления водным режимом;
- адаптация к гидрогеологическим условиям.

Главная задача при осушении таких почв – своевременный отвод поверхностных вод и равномерное перераспределение влаги по почвенным горизонтам. На основании результатов исследований по изучению формирования водного режима и мелиоративной обстановки на объектах со слабопроницаемыми почвами рекомендуются мероприятия для создания удовлетворительных условий, позволяющих своевременно производить сельскохозяйственные работы.

Наибольший эффект при осушении слабопроницаемых грунтов можно достичь двумя основными способами: организацией поверхностного стока (планировка поверхности с устройством ложбин стока) и переводом его в дренажный (например, с использованием водопоглотительных колонок на выборочном дренаже). Эти методы применяются на различных по рельефу мелиорируемых землях.

Если рельеф участка до осушения был достаточно ровным с небольшими перепадами высот, то рекомендуется проводить планировку поверхности с уклоном в сторону водоприемника, при холмисто-западинном – устраивать ложбины стока по пониженным элементам рельефа. Если раскрытие ложбин невозможно или экономически нецелесообразно, их следует устраивать с подложбинными коллекторами. Для отвода воды в тупиковых местах – устанавливать колодцы-поглотители, соединенные сбросным коллектором с проводящей сетью либо непосредственно с водоприемником. Поскольку земли являются пахотными, то количество сооружений на них должно быть минимальным, чтобы не создавать препятствий работе сельскохозяйственной техники.

Для оптимизации водного режима корнеобитаемого слоя на слабопроницаемых почвах используют закрытый дренаж с допол-

нительными элементами – колонками- и колодцами-поглотителями различных конструкций. Колодцы-поглотители также применяют для отвода воды из тупиковых мест. Их допустимо сочетать с выбо- рочным дренажом при осушении значительных по площади пони- жений.

Рекомендуется также применять пунктирную и сплошную за- сыпку дренажных траншей хорошо фильтрующими материалами, включая синтетические. Эти меры на горизонтальном дренаже обеспечивают гидравлическую связь переувлажненного пахотного слоя с дренажной сетью.

Для предотвращения кольматации верхней части фильтрующей засыпки мельчайшими частицами почвы рекомендуется периодиче- ски (раз в 3–5 лет) проводить кротование или щелевание почвы по- перек дренажных линий с переменной глубиной. Это не только раз- рушают слабофильтрующую прослойку, но и улучшают аэрацию почвы в засушливые периоды, а также способствуют дополнитель- ному отводу излишков влаги после осадков.

Таким образом рекомендуемые мероприятия включают: для торфяно-болотных почв – устройство двустороннего регулирования водного режима (осушение в вегетационный период и подпитка влагой в засушливые периоды); для глинистых грунтов – комбина- ция дренажа с кротованием для создания дополнительных путей отвода воды.

Агромелиоративные мероприятия способствуют ускорению от- вода поверхностного стока, повышению инфильтрационной спо- собности верхнего слоя почвы, созданию дополнительных запасов влаги в подпахотном горизонте, повышению биологической актив- ности почвы.

Выбор необходимого вида или комплекса агро-мелиоративных мероприятий (планировка поверхности, узкозагонная вспашка, профилирование, бороздование, гребневание, грядование, кротован- ие, щелевание, глубокое рыхление) производится на основе ре- зультатов оценки мелиоративного состояния осушаемых земель и зависит от почвенных условий, рельефа территории, водно- физических свойств почвы и характера сельскохозяйственного ис- пользования мелиорированных земель.

Глубокое рыхление проводят в весенний период, когда почва уже достаточно просохла для прохождения рыхлителей, а подсти-

лающий грунт находится в мягкопластичном состоянии. Проводить глубокое рыхление на слабопроницаемых землях без материального дренажа не рекомендуется. Рыхление желательно проводить параллельно склону или в направлении против уклона, при этом величина угла между дренажной траншеей и направлением рыхления не имеет существенного значения.

Если плотность слабопроницаемых грунтов превышает предельные значения, то следует проводить разуплотнение почвы. Периодическое рыхление подпахотных слоев возможно обычными рыхлителями.

При проектировании предпочтение следует отдавать выборочному дренажу с применением дополнительных мероприятий по переводу поверхностного стока в дренажный. На слабоводопроницаемых почвах с относительно ровной поверхностью и небольшими перепадами производят планировку осушаемой территории с уклоном в сторону водоприемника. При холмисто-западинном рельефе местности рекомендуется устройство ложбин стока по наиболее пониженным элементам рельефа. При невозможности или экономической нецелесообразности раскрытия ложбин их следует устраивать с подложбинными коллекторами. Для отвода воды в тупиковых местах следует устанавливать колодцы-поглотители, соединенные сбросным коллектором с проводящей сетью либо непосредственно с водоприемником.

При переводе поверхностного стока во внутрпочвенный рекомендуется применять пунктирную и сплошную засыпку дренажных траншей хорошо фильтрующими материалами, в том числе и синтетическими. Данные мероприятия на горизонтальном дренаже служат для создания гидравлической связи переувлажненного пахотного слоя с дренажной сетью. Для исключения кольматации мельчайшими частицами грунта из пахотного горизонта верхней части фильтрующей засыпки следует периодически (1 раз в 3–5 лет) производить кротование либо щелевание почвы поперек дренажных линий с переменной глубиной. Помимо разрушения слабофильтрующей прослойки в верхней части дренажных засыпок вышеуказанные приемы служат для повышения аэрации почвы в засушливые периоды и для дополнительного отвода излишков влаги в периоды после осадков.

Рекомендуется засыпать дренажную траншею подсушенным грунтом с комковатой структурой, т. е. через 1–2 дня после укладки дренажной трубы при условии отсутствия атмосферных осадков, то существенно увеличивает водоотводящую способность дренажных линий непосредственно после выполнения строительных работ, а также при дальнейшей эксплуатации. Следует также учитывать, что в первые годы после строительства новых дренажных линий создается повышенный промывной режим и питательные элементы с осушаемой территории попадают с дренажной водой в водоприемник.

Вопреки рекомендациям по применению на слабопроницаемых почвах только дрен-собирателей (с засыпкой дренажной траншеи крупным песком, гравием и др.) дренаж с засыпкой траншеи вынутым грунтом работает. Дренаж на слабопроницаемых почвах с равнинным или холмисто-западинным рельефом может выполнять свою осушительную функцию. На слабопроницаемых почвах отмечается периодичность действия дренажа в течение года в условиях преимущественно атмосферного водного питания, которая обуславливается неравномерностью выпадения осадков. В период без осадков возникают глубокие трещины, по которым вода поступает в дренаж. Дренажные системы на мелиорированных слабопроницаемых землях работают циклично с количеством циклов в год от 4 до 7.

На основании многолетних наблюдений за работой мелиоративных систем расстояние между дренами во всех случаях следует принимать не более 15–20 м. При осушении слабопроницаемых почв систематическим или выборочным дренажем рекомендуется применять пластмассовые дренажные трубы.

Дрены на слабопроницаемых почвах должны иметь достаточный уклон для обеспечения необходимых скоростей потока. Установлены величины размывающих и транспортирующих скоростей потока в заиленных мелкозернистым песком дренах, которые составляют не менее 0,2 м/с.

Прохождение тяжелой техники вызывает уплотнение грунта и негативно сказывается на его фильтрационных свойствах. Следует ограничить прохождение ее по непросушенному грунту. На избыточно уплотненной почве дренажные системы работают менее

эффективно, поскольку уменьшается общий объем пористости грунта.

Фашинный дренаж следует применять на заболоченных участках минеральных почв, имеющих грунтовое водное питание, с расположением фашины ниже уровня воды на протяжении года. При содержании закисного железа более 4 мг/л фашинный дренаж работает, а у пластмассовых дренажных труб при такой концентрации железистых соединений в воде может наблюдаться заохривание перфорационных отверстий и местами полная их закупорка, ведущая к существенному снижению поступления воды в дрены.

Эффективно применение фашинного дренажа, который закладывается на небольшую глубину 50–60 см. Фашина может находиться в зоне промерзания, поскольку не имеет трубы, в полости которой может замерзнуть вода, нарушив ее целостность. Для исключения повреждения фашины на такой территории не рекомендуется проводить глубокое рыление.

Использовать фашинный дренаж в качестве основного элемента при осушении земель с атмосферным водным питанием и периодическим нахождением фашины в зоне аэрации не рекомендуется в виду ее недолговечности. Применение фашинного дренажа в связи с его высокой стоимостью, малой эффективностью и недолговечностью при реконструкции не рекомендуется. Фашина неплохо сохраняется под водой, а периодическое увлажнение способствует гниению фашины.

В глубоких понижениях при невозможности или экономической нецелесообразности их раскрытия необходимо устраивать бессточные копани или оставлять в естественном состоянии.

До настоящего времени проектирование реконструкции осушительной сети на слабоводопроницаемых почвах осуществляется по нормам РПИ-82. Нашими исследованиями установлено, что при реконструкции мелиоративных систем на слабоводопроницаемых почвах следует отказаться от использования систематического закрытого дренажа на холмисто-западинном рельефе. Строительство дрен рекомендуется проводить в конце лета – начале осени при минимальных уровнях воды в водоприемнике.

Таким образом, комплексное применение перечисленных методов позволяет эффективно осушать слабopроницаемые почвы, обеспечивая благоприятные условия для сельскохозяйственных

работ. Реализация этих мер позволяет создать оптимальные условия для сельскохозяйственных работ и повысить урожайность на 20–40 % даже на проблемных участках.

Ответственный, научно и экономически обоснованный подход к выполнению мероприятий по реконструкции мелиоративных систем позволяет максимально использовать природный потенциал сельскохозяйственных земель.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абрамов, С. К. Подземный дренаж в промышленном и городском строительстве / С. К. Абрамов. – М. : Стройиздат, 1973. – 279 с.
2. Аверьянов, С. Ф. Об ускорении отвода избыточных поверхностных вод при сельскохозяйственном осушении / С. Ф. Аверьянов // Доклады ВАСХНИЛ. – М., 1952. – Вып. 10. – С. 32–39.
3. Аверьянов, С. Ф. Приближенная оценка фильтрации в зоне «капиллярной» каймы / С. Ф. Аверьянов // Доклады АН СССР. – М., 1949. – Т. 69. – Вып. 3. – С. 309–312.
4. Авраменко, Н. М. Мелиорация Белорусского Полесья // Н. М. Авраменко. – Минск : Издательский дом «Белорусская наука», 2018. – 224 с.
5. Авраменко, Н. М. Орошение культурных пастбищ подземными водами на торфянисто-глеевых почвах Полесья: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Авраменко Николай Михайлович; БелНИИМиЛ. – Минск, 1992. – 24 с.
6. Авраменко, Н. М. Особенности реконструкции мелиоративных систем Полесья / Н. М. Авраменко, В. Т. Климков, А. И. Митрахович // Природнае асяроддзе Палесся. Асаблівасці і перспектывы развіцця : тезісы докладаў III Міжнароднай навучнай канферэнцыі, г. Брэст, 7–9 чэрвеня 2006 г. – Брэст, 2006. – С. 276.
7. Авраменко, Н. М. Самотечные насосные системы как альтернатива углублению русл рек-водоприемников / Н. М. Авраменко, В. Н. Карнаузов // Достижения и перспективы инновационного развития мелиоративной науки Беларуси : докл. междунар. научн. конф., посвящ. 100-летию института мелиорации, г. Минск, 14–16 декабря 2010 г.) / РУП «Институт мелиорации». – Минск, 2011. – С. 41–44.
8. Азява, Г. В. Вопросы реконструкции мелиоративных систем / Г. В. Азява, В. Т. Климков, Э. И. Михневич // Потенциал науки – развитию промышленности, экономики, культуры, личности : матер. 55-й Междунар. науч.-техн. конф. БНТУ, 5–8 февр. 2002 г., г. Минск, 2002. – Т. 2. – С. 4–9.
9. Азява, Г. В. Опыт проектирования мелиоративных систем на тяжелых почвах / Г. В. Азява // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 6. – С. 12–15.
10. Алеканд, К. Ф. Исследование заилиения гончарного дренажа в минеральных грунтах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 /

Алеканд К. Ф.; Белорусский научно-исследовательский институт мелиорации и водного хозяйства. – Минск, 1966. – 27 с.

11. Алеканд, К. Ф. Причины отказа действия дренажа в Эстонской ССР / К. Ф. Алеканд // Гидротехника и мелиорация. – 1984. – № 3. – С. 57–59.

12. Алеканд, К. Ф. О методике оценки интенсивности осушения и определения причин неудовлетворительного действия дренажа / К. Ф. Алеканд // Вопросы мелиорации и водного хозяйства : сб. науч. тр. Эст. с.-х. акад. – Тарту, 1976. – С. 23–31.

13. Алеканд, К. Ф. О пористости засыпки дренажных траншей / К. Ф. Алеканд // Доклады на VIII научной конференции Эст. с.-х. акад. – Тарту, 1961. – С. 8–14.

14. Алексанкин, А. В. Мелиоративные работы в Голландии / А. В. Алексанкин // Гидротехника и мелиорация. – 1984. – № 10. – С. 80–86.

15. Алексанкин, А. В. Осушение тяжелых почв в Великобритании / А. В. Алексанкин, Б. С. Маслов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1989. – № 5. – С. 44–49.

16. Рекомендации по управлению дождеванием в производственных условиях, обеспечивающему за счет оперативности и повышения качества полива условия для получения максимальной прибыли от орошения сельскохозяйственных культур / А. С. Анженков [и др.]; под общ. ред. А. С. Анженкова. – Минск, 2020. – 40 с.

17. Артюхов, Ю. Н. Строительство бестраншейного дренажа. / Ю. Н. Артюхов, А. М. Смирнов, Н. Н. Ковальчук – М. : ВО Агропромиздат, 1987. – 84 с.

18. Белковский, В. И. Мелиорация земель и регулирование водного режима почв / В. И. Белковский. – Минск, 1981. – С. 265–266.

19. Гусаков, В. Г. Белорусское Полесье и тактика комплексного освоения: 1966–2005 годы : справочное издание / В. Г. Гусаков, А. П. Лихацевич. – Минск, 2006. – 399 с.

20. Блажис, Б. И. Мероприятия для отвода поверхностных вод с дренированных земель / Б. И. Блажис, В. Б. Шаулис // Повышение эффективности осушительно-увлажнительных систем : сб. науч. трудов / УкрНИИГиМ. – Киев, 1985 г. – С. 17–23.

21. Богданович, А. И. Дренажные засыпки из различных материалов / А. И. Богданович // Эффективность различных видов дре-

нажа на периодически переувлажняемых почвах. – Минск, 1963. – С. 42–48.

22. Богданович, А. И. Осушение пылевато-суглинистых периодически переувлажняемых почв разреженным и выборочным гончарным дренажем : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Богданович А. И. ; М-во с. х. СССР, Белорус. с.-х. акад. – Горки, 1964. – 24 с.

23. Богданович, А. И. Работоспособность дренажных засыпок при периодическом действии гончарного, дренажа /А. И. Богданович // Тр. БСХА. – Горки, 1967. – Т. 50. – С. 21–32.

24. Бойко, С. И. Применение комбинированного дренажа на тяжелых почвах (зарубежный и отечественный опыт) / С.И. Бойко. – М., 1990. – 48 с.

25. Бочевер, Ф. М. Гидрогеологические расчеты крупных водозаборов подземных вод и водопонижительных установок / Ф. М. Бочевер. – М. : Гос. изд-во литературы по стр-ву, 1963. – 57 с.

26. Брусиловский, Ш. И. Исследование осушительного действия дренажа на тяжелых минеральных почвах / Ш. И. Брусиловский, А. У. Рудой // Труды БелНИИМиВХ. – Минск, 1969. – Т. 17. – С. 220–230.

27. Брусиловский, Ш. И. Мелиорация минеральных почв тяжелого механического состава / Ш. И. Брусиловский. – Минск : Ураджай, 1981. – 160 с.

28. Брусиловский, Ш. И. Некоторые теоретические предпосылки к прогнозу водного режима на почвах тяжелого механического состава / Ш.И. Брусиловский, А.У. Рудой // Труды БелНИИМиВХ. – Минск, 1974. – Т. 22. – С. 77–87.

29. Брусиловский, Ш. И. Организация поверхностного стока на минеральных землях / Ш. И. Брусиловский. – Минск : Ураджай, 1985. – 136 с.

30. Брусиловский, Ш. И. Рекомендации по установлению нуждемости переувлажненных минеральных почв в осушении / Ш. И. Брусиловский, Ж. А. Капилевич, Т. А. Романова. – Минск: БелНИИМиВХ, 1978. – 38 с.

31. Булавко, А. Г. Использование водных ресурсов Белоруссии в сельском хозяйстве / А. Г. Булавко, В. Н. Плужников. – Минск : Ураджай, 1982 – 104 с.

32. Вавилов, Н. И. Растениеводство / Н. И. Вавилов [и др.]; под ред. акад. ВАСХНИЛ проф. Н. И. Вавилова. – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1986. – 512 с.

33. Вахонин, Н. К. Водосборная поверхность как фрактальный объект / Н. К. Вахонин // Мелиорация. – 2013. – № 2 (70). – С. 16–21.

34. Вахонин, Н. К. Инновационные направления развития осушительной мелиорации в современных условиях / Н. К. Вахонин // Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. К Году экологии в Российской Федерации и 130-летию со дня рождения А. Н. Костякова (Костяковские чтения). – М., 2017. – С. 10–16.

35. Ведерников, В. В. Результаты опытов по свободной фильтрации / В. В. Ведерников // Известия АН СССР. – 1947. – № 8. – С. 993–1004.

36. Ведерников, В. В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации дренажа / В. В. Ведерников. – М. : Стройиздат, 1939. – 172 с.

37. Воейков, А. И. Пинское Полесье и работы по его осушению / А. И. Воейков. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 174 с.

38. Возможность оценки мелиоративного состояния осушенных земель по некоторым физическим свойствам почв / А. Ю. Перцович, О. Л. Веденин, Ф. Н. Козырев [и др.] // Проблемы проектирования, строительства и использования мелиоративных мероприятий в различных почвенно-климатических зонах Ленинградской области : сб. науч. тр. / под ред. В. Н. Кузнецова. – Ленинград, 1988. – С. 20–28.

39. Войтович, И.В. Прогнозирование фильтрационных свойств траншейной засыпки в процессе работы закрытого дренажа // И.В. Войтович // Повышение эффективности осушительно-увлажнительных систем. – Киев, 1985. – С. 107–112.

40. Волчек, А.А. Водные ресурсы Брестской области : монография / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : БГУ, 2002. – 436 с.

41. Волчек, А. А. Пространственно-временные колебания элементов водного баланса (на примере Беларуси) / А.А. Волчек, В. Н. Плужников // Водные ресурсы. – 1991. – № 5. – С. 21–38.

42. Временные рекомендации по проектированию вертикального дренажа в Белорусском Полесье. – Минск : [б. м.], 1978. – 76 с.

43. Инструкция по строительству закрытого горизонтального дренажа при осушении земель сельскохозяйственного назначения : ВСН-С-4-79 (Минводхоз СССР). – М. : Минводхоз СССР, 1979. – 44 с.

44. Галкин, А. Н. Грунтоведение: учебно-методическое пособие / А. Н. Галкин [и др.]; М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. – 307 с.

45. Галковский, С. В. Оптимизация эксплуатационных затрат на польдерных системах Припятского Полесья / С. В. Галковский, В. Ф. Галковский // Научный журнал «Бизнес и общество». – 2015. – № 2 (6). – С. 1–10.

46. Гиляров М. С. Жизнь в почве / М. С. Гиляров, Д. А. Кривошук. – М. : Молодая гвардия, 1985. – 191 с.

47. Гулюк, Г. Г. Руководство по мелиорации полей / Г. Г. Гулюк, М. Б. Черняк, В. И. Штыков [и др.]. – СПб : Изд-во Политехнического университета, 2007. – 235 с.

48. Гулюк, Г. Г. Эффективность агро-мелиоративных мероприятий на дренируемых землях / Г. Г. Гулюк, А. В. Шуравилин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2003. – № 4. – С. 13–16.

49. Густафсон, В. Течение в дренированном грунте / В. Густафсон. – 26, Стокгольм: Acta Agric Suecica, 1976. – 157 с.

50. МПК E02B11/00 (2011). Дренажное водопоглащающее устройство: № 17924 / А. И. Митрахович, Н. М. Авраменко, В. Н. Кондратьев, И. Ч. Казьмирук : дата публ.: 28.02.2014. – 5 с.

51. МПК E02B11/00 (2009). Дренажное устройство: № 15513 / В. Т. Климков, А.И. Митрахович, И.Ч. Казьмирук : дата публ. 28.02.2012. – 7 с.

52. Дуоба, И. Результаты исследований влияния водопроницаемости траншейной засыпки на действие дренажа в тяжелых почвах / И. Дуоба, Р. Ламсодис // Труды ЛитНИИГиМ. – Елгава, 1974. – Т. 9. – С. 39–51.

53. Евчик, П. П. Усовершенствованные способы осушения земель в условиях холмисто-западного рельефа / П. П. Евчик // Мелиорация переувлажненных земель: сб. науч. тр. – Минск, 1994. – Том ХLI. – С. 47–53.

54. Егоров, В. Г. К изучению водопроницаемости оподзоленного лессовидного суглинка в его естественном залегании / В. Г. Егоров. – Смоленск, 1928. – Вып. 30. – № 5. – 20 с.

55. Емельянова, И. М. Окультуривание и использование мелиорируемых земель впервые годы освоения в условиях Северо-западной зоны / И. М. Емельянова, Т. П. Попова // Мелиорация дерново-подзолистых почв Белоруссии. – Минск, 1973. – С. 127–136.

56. Жагарис, П. В. Исследование гидравлических сопротивлений и движения наносов в частично заиленных дренах. : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / П. В. Жагарис ; БелНИИМиВХ. – Минск, 1973. – 26 с.

57. Желязко, В. И. Осушение слабопроницаемых почв с западным рельефом / В. И. Желязко, А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук, С. В. Набздоров // Мелиорация. – 2009. – № 1 (61) – С. 100–107.

58. Жилинскас, А. И. Гидрологические и гидравлические расчеты дренажных систем с учетом отвода поверхностной воды дренажной сетью в Литовской ССР / А. И. Жилинскас, А. И. Сакалаускас // Организация поверхностного стока на дренируемых землях : тезисы докладов. – Вильнюс, 1981. – С. 9–18.

59. Жилинский, И. И. Очерк работ Западной экспедиции по осушению болот (1873–1898) / И. И. Жилинский; И. К. Милицер [и др.]. – СПб : Издание Министерства земледелия и государственных имуществ, 1899. – [4], V – 742 с.

60. Зайдельман, Ф. Р. Оценка бестраншейного пластмассового и гончарного дренажа на серых оглеенных почвах / Ф. Р. Зайдельман, И. В. Ковалев // Мелиорация и водное хозяйство. – 1994. – № 4. – С. 31–32

61. Зайдельман, Ф. Р. Режим и условия мелиорации заболоченных почв / Ф. Р. Зайдельман. – М. : Колос, 1975. – С. 232–242.

62. Зайдельман, Ф. Р. Эколого-гидравлические основы глубокого мелиоративного рыхления почв / Ф. Р. Зайдельман. – М.: издательство МГУ, 1986. – 19 с.

63. Зубец, В. М. Микрорельеф и планировка поверхности полей на мелиорированных низинных болотах / В. М. Зубец, Н. В. Кушнир // Научно-техническая информация по мелиорации и водному хозяйству. – Минск, 1978. – № 12 – С. 15–20.

64. Ивицкий, А. И. Основы проектирования и расчетов осушительных и осушительно-увлажнительных систем / А. И. Ивицкий. – Минск : [б. и.], 1993. – 202 с.

65. Ивицкий, А. И. Осушительное действие закрытого дренажа в минеральных почвах / А. И. Ивицкий // Тр. БелНИИМиВХ. – Минск, 1968. – Т. 16. – С. 3–23.

66. Ивицкий, А. И. Повышение осушительного эффекта гончарного дренажа на тяжелых минеральных землях / А. И. Ивицкий, П. К. Филонович // Труды БелНИИМиВХ.– Минск, 1971. – Т. 19.– С. 36–47.

67. Изучение качества дренажа в 1974–1982 гг. (рекомендации для мелиораторов) / К. Ф. Алеканд [и др.]. – Таллин, 1983. – 40 с.

68. Казьмирук, И. Ч. Влияние физико-химических свойств слабо-водопроницаемых почв на способы реконструкции мелиоративных систем / И. Ч. Казьмирук // Мелиорация. Современные методики, инновации и опыт практического применения : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 19–20 окт. 2017 г., г. Минск / РУП «Институт мелиорации»; редкол.: Н. К. Вахонин [и др.]. – Минск, 2017. – С. 69–73.

69. Казьмирук, И. Ч. Исследование водопримной способности дрен с различными присыпками / И. Ч. Казьмирук // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 16-й Международной науч.-техн. конф. / БНТУ. – Минск, 2018. – Т. 1. – С. 174.

70. Казьмирук, И. Ч. Исследование водопримной способности дрен с различными присыпками в торфяных грунтах / И. Ч. Казьмирук, В. В. Майсюк // Мелиорация, 2018. – № 3 (85). – С. 30–33.

71. Казьмирук, И. Ч. Обоснование параметров дренажных фильтров для мелиоративных систем : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Казьмирук Инна Чеславовна; Ин-т мелиор. – Минск, 2016. – 24 с.

72. Оценка эффективности осушения лессовидных суглинков / И. Ч. Казьмирук [и др.] // Наука-образованию, производству, экономике : материалы 11 Междунар. науч.-техн. конф., апр. 2013г., г. Минск / БНТУ. – Минск, 2013. – Т. 1. – С. 130.

73. Продуктивность земель при осушении лессовидных суглинков / И.Ч. Казьмирук [и др.] // Мелиорация. – 2015. – № 2 (74) – С. 97–108.

74. Казьмирук, И. Ч. Роль глубокого рыхления для преобразование поверхностного стока во внутрипочвенный на осушительных системах / И. Ч. Казьмирук // Вода. Газ. Тепло 2020 : материалы Междун. науч.-техн. конф., посвященной 100-летию Белорусского национального технического университета, 100-летию кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», 90-летию кафедры «Теплогазоснабжение

и вентиляция», 8–10 октября 2020 г., г. Минск / БНТУ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2020. – С. 242–246.

75. Казьмирук, И.Ч. Структурные параметры связных грунтов и их водопроницаемость при осушении горизонтальным дренажем / И. Ч. Казьмирук // Инновационные технологии в мелиорации и сельскохозяйственном использовании мелиорированных земель: тез докл. Междунар. науч.-практ. конф., 15–17 сент. 2010 г., г. Минск. – Минск, 2010. – С. 108–109.

76. Канцибер, Ю. А. Вариантное проектирование осушительной сети в слабопроницаемых грунтах / Ю.А. Канцибер, Ю. Б. Игнатов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1990. – № 11. – С. 33–56.

77. Климко, А. И. Расчеты оптимальных параметров сельскохозяйственного дренажа / А. И. Климко, Ю. А. Канцибер, Л. М. Ермолина. – М: «Колос», 1979. – 142 с.

78. Климков, В. Т. Влияние начальной влажности дренажной засыпки на ее водопроницаемость / В. Т. Климков, Л. Н. Чайка // Сельскохозяйственные мелиорации и гидротехника: сб. науч. тр. – Горки, 1993. – С. 48–53.

79. Климков, В. Т. Из опыта осушения слабопроницаемых минеральных почв / В. Т. Климков, А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук // Мелиорация. – 2011. – № 1 (65) – С. 76–83.

80. Климков, В. Т. Исследование волокнистых материалов в фильтрах водозаборных скважин / В. Т. Климков, Э. И. Михневич, А. И. Митрахович [и др.]. // Строительная наука и техника. – 2008. – № 2. – С. 66–69.

81. Климков, В. Т. Особенности реконструкции дренажных систем на связных грунтах / В. Т. Климков, А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук // Мелиорация. – 2008. – № 1 (59). – С. 36–43.

82. Климков, В. Т. Фильтры водозаборных скважин с пористой водоприемной поверхностью / В. Т. Климков, А. И. Митрахович, В. А. Немиро // Вода. – 2003. – № 6. – С. 21–22.

83. Кожушко, П. Ф. Агромелиоративная дренажная система для тяжелых почв / П. Ф. Кожушко, С. В. Кравец // Мелиорация и водное хозяйство. – 1990. – № 6. – С. 40–42.

84. Козлов, В. С. Расчет дренажных сооружений / В.С. Козлов. – М.: Стройиздат, 1940. – 224 с.

85. Колобаев, А. Н. Рациональное использование и охрана водных ресурсов / А. Н. Колобаев. – Минск: БНТУ, 2005. – 171 с.

86. Кормыш, Е. И. Осушение земель в Финляндии / Е. И. Кормыш // Мелиорация и водное хозяйство. – 1988. – № 9. – С. 58–61.

87. Костюкович, П. Н. Гидрогеологическая мелиорация / П. Н. Костюкович // Научные основы «Научные чтения»: тез. докл. I науч.-практ. конф. «Проблемы охраны геологической среды», посв. 90-летию со дня рождения академика АН БССР Г. В. Богомолова. – Минск, 1995. – С. 41–42.

88. Костюкович, П. Н. Гидрогеологические основы вертикального дренажа / П. Н. Костюкович // Наука и техника. – 1979. – С. 223–250.

89. Костяков, А. Н. Основы мелиорации / А. Н. Костяков. – М.: Сельхозиздат, 1960. – 624 с.

90. Кравцов, А. М. Повышение конкурентоспособности продукции растениеводства за счет модернизации систем орошения / А. М. Кравцов, Д. С. Шахрай // Формирование организационно-экономических условий эффективного функционирования АПК: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., 27–28 мая 2021 г., г. Минск / БГАТУ. – Минск, 2021. – С. 128–132.

91. Кривонос, И. М. Из опыта осушения слабопроницаемых почв / И. М. Кривонос // Труды СевНИИГиМ. – М.: Россельхозиздат, 1968. – Т. 26 – С. 71–82.

92. Кривонос, И. М. Поглотители и водоприемные колодцы на дренажных системах / И. М. Кривонос // Труды СевНИИГиМ. – Л.: СевНИИГиМ, 1963. – Т. 20. – С. 88–93.

93. Кудельский, А.В. Подземные воды Беларуси / А.В. Кудельский, В. И. Пашкевич, М. Г. Ясовеев. – Минск : Ин-т геолог.наук НАН Беларуси, 1998. – 260 с.

94. Кумачёв, Л. И. Причины ухудшения работы закрытого дренажа: традиционные и новые взгляды / Л. И. Кумачёв // Мелиорация и вод. хоз-во XXI века. Наука и образование : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посв. 170-летию Белорус. гос. с.-х. академии, 4–6 июня 2009 г., г. Горки. – Горки, 2009. – С. 171–175.

95. Купопатенко, Ф. К. Укрупнение пахотных массивов в районах расположения мощных лёссов / Ф. К. Куропатенко // Землеустройство, планировка сельских населенных пунктов и геодезия: сб. науч. тр. – Горки, 1977. – Вып. 32. – С. 12–15.

96. Лихацевич, А. П. Мелиорация земель в Беларуси / А. П. Лихацевич, А. С. Мееровский, Н. К. Вахонин. – Минск, 2001. – 308 с.

97. Лихацевич, А. П. Противопожарные мероприятия на торфяниках с использованием подземных вод. Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация / А. П. Лихацевич, В. Т. Климков, А. И. Митрахович // II международная научно-практическая конференция. – Минск, 2003. – С.39–41.

98. Лукьянас, А. Л. Эффективность мероприятий по улучшению притока воды к дренам в тяжелых грунтах / А. Л. Лукьянас, Б. И. Блажис, В. Б. Шаулис // Осушение и окультуривание минеральных земель гумидной зоны : тез. докл. – Таллин, 1983. – С. 8–9.

99. Лютин, Д. Л. Математическое решение для гончарного дренажа в слоистых грунтах / Д. Л. Лютин, Р.Е. Гаскел. – Вашингтон, 1950. – Т. 31. – С. 595–602.

100. Мажайский, Ю. А. Оптимизация параметров водного режима осушенных и сопредельных земель с учетом надежности мелиоративных систем / Ю. А. Мажайский. – Рязань: РГАТУ, 2012. – 376 с.

101. Мажайский, Ю. А. Природообустройство Полесья: монография : в 4 кн. / под общ. науч. ред. Ю. А. Мажайского, А. Н. Рокочинского, А. А. Волчека, О. П. Мешика, Е. Езнаха. – Рязань : ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2018. – Книга 1 : Белорусское Полесье. –Т. 1. – 408 с.

102. Мажайский, Ю. А. Природообустройство Полесья : монография: в 4 кн. / под общей научной редакцией Ю. А. Мажайского А. Н. Рокочинского, А. А. Волчека, О. П. Мешика, Е. Езнаха. – Рязань : ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2018. – Кн. 1 : Белорусское Полесье. – Т. 2.– 2019. – 502 с.

103. Мажайский, Ю. А. Мелиорация Полесья : монография : в 4 кн. / под общ. науч. ред. Ю. А. Мажайского [и др.]; сост.: Р. Н. Коптюк, Л. А. Волкова, Н. В. Приходько. – Рязань : Мещерский филиал ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2017. – Кн. 2 : Мелиорация Украинского Полесья. – Т. 1. – 902 с.

104. Мажайский, Ю. А. Природообустройство Полесья : монография : в 4 кн. / под общ. науч. ред. Ю. А. Мажайского [и др.]. –Рязань : Мещерский филиал ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2019. – Кн. 4 : Полесья Юго-Западной России. – Т. 1. – 354 с.

105. Маслов, Б. С. Опыт осушения тяжелых почв и задачи науки / Б. С. Маслов // Осушение тяжелых почв. – М., 1981. – С. 5–20.

106. Масловский, Е. А. Глубокий дренаж (опыт 25-летней эксплуатации вертикального дренажа с сифонным водоотводом) / Е. А. Масловский, С. К. Абрамов. – М. : Стройиздат, 1964. – 130 с.

107. Мацелюх, П. М. Осушение земель в условиях западного рельефа / П. М. Мацелюх, Ю. Т. Череповский, В. Л. Фридрихсон // Мелиорация и водное хозяйство : респуб. межведом. темат. науч.-техн. сб. – Киев, 1990. – Вып. 73. – С. 22–24.

108. Медведев, В. В. Изменчивость оптимальной плотности сложения почв и ее причины / В. В. Медведев // Почвоведение. – 1990. – № 5. – С. 20–29.

109. Медведев, Н. Посевы просят влаги. / Н. Медведев // Белорусская нива. – Минск, 2008. – С.5.

110. Мееровский, А. С. Типология мелиорируемых земель Беларуси / А. С. Мееровский, Т. А. Романова, А. М. Котович // Тр. БелНИИМиЛ. – 1995. –Т XLII. – С. 158–185.

111. Меламут, Д. Л. Гидромеханизация в мелиоративном и водохозяйственном строительстве / Д. Л. Меламут. – М. : Стройиздат, 1981. – 303 с.

112. Мелиорация земель в Беларуси / Лихацевич А. П, Мееровский А. С., Вахонин Н. К. // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Академия аграрных наук, Белорусский научно-исследовательский институт мелиорации и луговодства – Минск: БелНИИМиЛ, 2001. – 308 с.

113. Мелиорация и водное хозяйство. Осушение : справочник / Под ред. Б. С. Маслова. – М.: Ассоциация ЭкоСт, 2001. – 606 с.

114. Мелиорация и освоение поймы Припяти / А. Е. Волков, В. Ф. Московченко, М. Ф. Козлов и др.; под ред. С. Г. Скоропанова, Г. Д. Горбутовича. – Минск : Ураджай, 1982. – 247 с.

115. Мелиорация тяжелых минеральных почв: сб. науч. тр. / Сев. НИИ гидротехники и мелиорации; А. И. Климко (гл. ред.). – Ленинград : СевНИИГиМ, 1983. – 117 с.

116. Методические указания по гидравлическим расчетам пластмассовых трубопроводов / М-во мелиорации и водного хоз-ва СССР, Белор. науч.-исслед. ин-т мелиор. и водного хоз-ва. – Минск : [б. и.], 1973. – 28 с.

117. Мешик, О. П. Мелиорация земель как фактор сохранения историко-культурного наследия Полесского региона / О. П. Мешик // Реставрация историко-культурных объектов в Брестской области как

сохранение культурного наследия Республики Беларусь: сб. статей науч.-техн. семинара, 25 сентября 2019 г. / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Факультет инженерных систем и экологии, Кафедра инженерной экологии и химии ; редкол.: Э. А. Тур [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2019. – С. 48-50.

118. Митрахович, А. И. Влияние начальной влажности траншейной засыпки и срока эксплуатации на работоспособность дренажа / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук // Мелиорация. – 2021. – № 3 (97) – С. 13–21.

119. Митрахович, А.И. Возможности вертикального дренажа по регулированию водного режима почв в гумидной зоне / А. И. Митрахович, Н.М. Авраменко // Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства: материалы Международной науч.-практ. конф., посвященной памяти чл.-корр. РАСХН и НАНКС академиком МАЭП и РАВН Бочкарева Я.В. – Рязань, 2020. – Часть II. – С. 153–158.

120. Митрахович, А. И. Из опыта исследований осушительной способности дренажа на тяжелых почвах / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы II республиканской науч.-техн. конф., 28–29 апреля 2022 г., г. Минск / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 317–320.

121. Митрахович, А.И. Исследование способов сопряжения дренажных линий с учетом факторов их заилиения. / А.И. Митрахович, Э. Н. Шкутов, В.М. Макоед, И.Ч. Казьмирук, В. В. Лебедев // Мелиорация. – 2013. – № 1 (69) – С. 46–56.

122. Митрахович, А. И. Конструктивные решения мелиоративных систем при осушении лессовидных суглинков / А. И. Митрахович, И.Ч. Казьмирук // Охрана окружающей среды – основа безопасности страны (посвященная 100-летию КубГАУ) (29–31 марта 2022 г.): сб. статей по материалам Междунар. науч. экол. конф. / отв. за вып. А. Г. Кощаев. – Краснодар, 2022 – С. 297–300.

123. Митрахович, А. И. Обследование состояния мелиоративных систем / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук // Инновационные технологии и конструкции в гидротехническом, энергетическом и водно-транспортном строительстве : материалы 2-й Международной заочной науч.-практ. конф. в рамках Международного молодежного форума

«Креатив и инновации 2023», 30 нояб. 2023 г., г. Минск / сост.: И. В. Качанов, В. В. Власов. – Минск : БНТУ, 2023. – С. 17–20.

124. Митрахович, А. И. О производительности конструкции скважин на опытно-производственных системах вертикального дренажа в зоне Полесья / А. И. Митрахович, В. Т. Климов, А. П. Майорчик // Вода. – 2016. – № 07/08. – С. 2–3.

125. Митрахович, А. И. О регулировании водного режима почв на осушенных землях с учетом экстремальных погодных условий / А. И. Митрахович, Н. М. Авраменко // Мелиорация. – 2015. – № 2 (74). – С. 58–66.

126. Митрахович, А. И. Основные направления реконструкции мелиоративных систем в условиях Полесья / А. И. Митрахович, Н. М. Авраменко // Мелиорация. – 2009. – № 2. – С. 59–63.

127. Митрахович, А. И. Осушительная способность дренажа на тяжелых почвах / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук // Мелиорация. – 2022. – № 2 (100). – С. 15–19.

128. Митрахович, А. И. Осушительное действие скважин вертикального дренажа на болотах со сложными природными условиями. / А. И. Митрахович // Мелиорация и вод. хоз-во. Экспресс-информация. Осушение и осушительные системы. – Москва, 1986. – Серия 2. – Вып. 8. – С. 5–13.

129. Митрахович, А. И. Оценка работоспособности и надежности систем вертикального дренажа в Республике Беларусь / А. И. Митрахович // Мелиорация переувлажненных земель: сб. тр. БелНИИ-МиЛ. – 1998. – Т. XIV. – С. 45–52.

130. Митрахович, А. И. Оценка эффективности осушения лессовидных суглинков / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук, С. В. Набздор // Мелиорация. – 2010. – № 1 (63) – С. 77–85.

131. Митрахович, А. И. Повышение эффективности работы дренажа на базе новых конструктивных элементов / Митрахович А. И., Казьмирук И. Ч., Кондратьев В. Н., Авраменко Н. М. // Мелиорация. – 2018. – № 2 (84) – С. 5–12.

132. Митрахович, А. И. Применение новых водопоглощающих устройств на мелиоративной сети / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 16-й Междунар. науч.-техн. конф. – Минск : БНТУ, 2018. – Т. 1. – С. 173.

133. Митрахович, А. И. Принципы проектирования параметров выборочного дренажа / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук // Современные направления в проектировании, строительстве и эксплуатации водохозяйственных и энергетических объектов : материалы студенческой науч.-техн. конф. в рамках 19-й Междунар. науч.-практ. конф. «Наука – образованию, производству, экономике», 13–14 дек. 2021 года, г. Минск / редкол.: В. В. Ивашечкин [и др.]; сост.: И. В. Качанов, В. В. Власов. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 109–114.

134. Митрахович, А. И. Процессы заиления дрен и их самоочистка / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук // Мелиорация. – 2017. – № 4. – С. 5–11.

135. Митрахович, А. И. Регулирование водного режима почв вертикальным дренажем / А. И. Митрахович, Н. М. Авраменко // Мелиорация переувлажненных земель: сб. науч. работ. – Минск, 2002. – Том XLIX. – С. 78–82.

136. Митрахович, А. И. Сифоны на системах вертикального дренажа / А. И. Митрахович, В. Н. Немиро // Мелиорация и вод. хоз-во. Сер. 2. Экспресс-информация. Эксплуатация мелиоративных систем. – М. : ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1977. – Вып. 3. – С. 6–12.

137. Митрахович, А. И. Способы осушения лессовидных суглинков Беларуси / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук // Высокопродуктивное и экологически чистое агрохозяйство на мелиорированных землях : материалы междунар. науч.-практ. конф., 30 сент. 2019 г., г. Тверь / ФГБНУ ВНИИМЗ. – Тверь, 2019. – С.294–300.

138. Митрахович, А. И. Условия формирования дренажного стока на минеральных суглинистых почвах / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук // Инновационные технологии в мелиорации и сельскохозяйственном использовании мелиорированных земель: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., 15–17 сент. 2010 г., г. Минск. – Минск, 2010. – С. 169–171.

139. Митрахович, А. И. Факторы, влияющие на осушительную способность дренажа в слабопроницаемых грунтах / А. И. Митрахович, В. Т. Климов, И. Ч. Казьмирук // Достижения и перспективы инновационного развития мелиоративной науки Беларуси : доклады междунар. науч. конф., 14–16 дек. 2010 г., г. Минск. – Минск, 2010. – С. 261–266.

140. Митрахович, А. И. Фильтры водозаборных скважин с пористой водоприёмной поверхностью из полиэтилена / А. И. Митрахович, В. Т. Климов, В. А. Немиро // Вода. – 2003. – № 6. – С. 21–22.

141. Митрахович, А. И. Формирование дренажного стока и эффективность работы дренажа на землях сельскохозяйственного назначения / А. И. Митрахович, И. Ч. Казьмирук // Материалы Международ. науч.-практ. конф., посвящ. 110-летию Института мелиорации и 110-летию со дня рождения акад. С. Г. Скоропанова, 5–6 нояб. 2020 г., г. Минск. – Минск, 2021. – С. 78–82.

142. Митрахович, А. И. Формирование стока на суглинистых почвогрунтах / А. И. Митрахович, В. М. Макоед, И. Ч. Казьмирук // Мелиорация. – 2021. – № 2(96) – С 23–28.

143. Михайлов, Г. И. Водный режим почв на западном рельефе / Г. И. Михайлов // Мелиорация и водное хозяйство XXI века. Наука и образование. – Горки, 2009. – С. 88–91.

144. Михальцевич, А. И. Роль орошения в интенсификации кормопроизводства и овощеводства в БССР / А. И. Михальцевич // Мелиорация переувлажненных земель: сб. науч. тр. – Минск, 1985. – Вып. XXXIV. – С. 63–69.

145. Мурашко, А. И. Вертикальный дренаж в сложных природных условиях / А. И. Мурашко, А. И. Митрахович // Мелиорация переувлажненных земель: сб. науч. работ. – Минск, 1986. – Том XXXIV. – С. 120–127.

146. Мурашко, А. И. Горизонтальный пластмассовый дренаж / А. И. Мурашко. – Минск : Ураджай, 1973. – 207 с.

147. Мурашко, А. И. Осушение земель вертикальным дренажем / А. И. Мурашко [и др.]. – Минск: Ураджай, 1980. – 240 с.

148. Мурашко, А. И. Сельскохозяйственный дренаж в гумидной зоне / А. И. Мурашко. – М. : Колос, 1982. – 272 с.

149. Мурашко, А. И. Фильтрационные расчеты горизонтального трубчатого дренажа / А. И. Мурашко, Е. Г. Сапожников // Конструкции и расчеты осушительно-увлажнительных систем: тр БелНИИМВХ. – Минск, 1976. – Вып. 2. – С. 22–55.

150. Оводов, В. С. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение / В. С. Оводов. – М. : Колос, 1984. – 473 с.

151. О мелиорации земель: Закон Респ. Беларусь от 29 дек. 2023 г. № 331-З. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь (дата обращения 17.03.2024).

152. Печенина, В.С. Изменение водопроницаемости дренажных засыпок во времени //Экспресс-информация. – Минск, 1975. – Вып. 12. – С. 3– 11.

153. Плюснин, И. И. Мелиоративное почвоведение / И. И. Плюснин, А. И. Голованов. – М. : Колос, 1983 г. – 318 с.

154. Причины отказа действия дренажа в Эстонской ССР / К. Ф. Алеканд [и др.] // Гидротехника и мелиорация. – 1981. – № 3. – С. 57–59.

155. Прожорина Т. И. Химический анализ почв / Т. И. Прожорина, Е. Д. Затулей. . – Воронеж : Издательско-полиграфический центр ВГУ, 2016. – 30 с.

156. Пупонин, А. И. Депрессия урожая сельскохозяйственных культур при уплотнении почвы и приемы ее снижения. / А. И. Пупонин и др. //Сб. науч. тр. ВИМ. – 1988. – С. 75–86.

157. Рекомендации по проектированию мероприятий для организации поверхностного стока на осушаемых минеральных землях / сост.: Ш. И. Брусиловский [и др.]. – Минск.: БелНИИМиВХ, 1983. – 56 с.

158. Рудой, А. У. Исследование работы мелиоративных систем в глееватых почвах тяжелого механического состава / А. У. Рудой, В. М. Макоед // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. работ БелНИИМиЛ. – Минск, 1998. – Т. 45. – С. 52–65.

159. Рудой, А. У. Роль мероприятий по организации поверхностного стока в ускорении отвода поверхностных вод с замкнутых понижений (западин) / А. У. Рудой // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. работ БелНИИМиЛ. – Минск, 1997. – Т. 44. – С. 74–83.

160. Рудой, А. У. Особенности работы дренажа в тяжелых почвах разной степени заболоченности / А. У. Рудой, В. М. Макоед // Проблемы мелиорации и водного хозяйства на современном этапе: Материалы междунар. науч.-практ. конф. – Горки, 1999. – Ч. 1. – С. 148–152.

161. Ругалева, Н. Н. Новые данные о действии сифонов / Н. Н. Ругалева // Водоснабжение и санитарная техника. – 1958. – № 5. – С. 24–28.

162. Руководство по проектированию и изысканиям объектов мелиоративного и водохозяйственного строительства в Белорусской

ССР (РПИ – 82). Осушительные и осушительно-увлажнительные системы / Белгипроводхоз. – Минск: [б. и.], 1985. – 280 с.

163. Русецкий, А. П. Оценка продуктивности мелиорированных земель / А. П. Русецкий, В. И. Бохонко, В. С. Филипенко // *Веснік беларускага Дзяржаўнага эканамічнага універсітэта*. – 2001. – № 2. – С. 27–32.

164. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации / Под ред. А. П. Лихацевича. – Минск : Тэхналогія, 2000. – 436 с.

165. Сивицкис, К. К. Осушительная эффективность дренажа в замкнутых впадинах суглинистых почвогрунтов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Сивицкис, К. К.; БелНИИМиЛ. – Минск, 1991. – 21 с.

166. Сохранение и повышение продуктивности мелиорируемых земель центра нечерноземной зоны России и Беларуси : монография / Под общ. ред. Ю. А. Мажайского, А. П. Лихацевича. – Рязань : МНТЦ, 2005. – 582 с.

167. Справочник мелиоратора / В. А. Анисимов [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Россельхозиздат, 1980. – 255 с.

168. Старинский, В. П. Водозаборные и очистные сооружения коммунальных водопроводов: учебное пособие / В. П. Старинский, Л. Г. Михайлик. – Минск : Вышэйшая школа, 1989. – 269 с.

169. Степанов, И.Н. Формы в мире почв / И. Н. Степанов. – М.: Наука, 1986. – 190 с.

170. Техничко-экономическое обоснование обеспеченности максимальных расходов весеннего половодья при расчете осушительных каналов и водоприемников / В. Ф. Шебеко [и др.] // *Мелиорация переувлажненных земель : Труды БелНИИМиВХ*. – Минск, 1972. – Т. XX. – С. 30–53.

171. Технические указания на проектирование совмещенных осушительно-увлажнительных систем : НТД 33.04.002-85. – Киев, 1985. – 58 с.

172. Технический кодекс установившейся практики. Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования : ТКП 45-3.04-8-2005 (02250). – Минск, 2006. – 106 с.

173. Технический кодекс установившейся практики. Реконструкция осушительных систем. Правила проектирования : ТКП 45-3.04-177-2009 (02250). – Минск, 2010. – 60 с.

174. Томберг, У. Х. Мелиоративное состояние осушенных земель в Эстонской ССР / У. Х. Томберг // Гидротехника и мелиорация. – 1983. – № 8. – С. 32–34.

175. Томин, Е. Д. Бестраншейное строительство закрытого дренажа / Е. Д. Томин. – М. : Колос, 1984. – 240 с.

176. Томсон, Х. Ю. Исследование действия глубокого дренажа на тяжелых глинистых почвах / Х. Ю. Томсон // Науч. тр. Эстон. НИИ земледелия и мелиорации. – Таллин, 1985. – С. 139–147.

177. Томсон, Х. Ю. О водопроницаемости дренажной засыпки в тяжелых почвах / Х. Ю. Томсон // Материалы конференции молодых ученых. – Минск, 1969. – Ч. 2. – С. 27–30.

178. Томсон, Х. Ю. Осушительная способность дренажа на глинистых почвах Эстонии / Х. Ю. Томсон // Науч.-техн. информация по мелиорации и вод. х-ву. – 1991. – № 10. – С. 37–39.

179. ВУ 20385. Устройство для осушения бессточного понижения пат.: опубл. 29.11.2016 / А. И. Митрахович, И. Ч. Казмирук, Н. М. Авраменко. – 8 с.

180. Хохлов, В. И. Совершенствование конструкции горизонтального дренажа за счет создания водоотталкивающих поверхностей в дренажных трубах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Хохлов В. И. – М., 2013. – 20 с.

181. Черноухов, А. М. Пути повышения эффективности мелиорации тяжелых переувлажненных почв Дальнего Востока / А. М. Черноухов // Интенсификация растениеводства на Дальнем Востоке: сб. науч. ст. ВАСХНИЛ, Сибир. отд. ДальНИИСХ. – Новосибирск, 1985. – С. 12–18.

182. Шкабаро, Л. С. Вопросы оптимизации принципиальных схем конструкций закрытого дренажа сельскохозяйственных земель / Л. С. Шкабаро // Мелиорация переувлажненных земель. – 2005. – № 2–С. 56–68.

183. Шкинчис, Ц. Н. Причины переувлажнения дренированных земель в многоводные годы (на примере Латвийской ССР) / Ц. Н. Шкинчис // Гидротехника и мелиорация. – 1981. – № 6. – С. 45–48.

184. Шкинчис, Ц. Н. Проблемы гидрологии дренажа / Ц. Н. Шкинчис. – Л. : Гидрометеиздат, 1974. – 347 с.

185. Шкутов, Э.Н. Совершенствование режимов работы и конструкций польдерных насосных станций / Э. Н. Шкутов, В. П. Иванов, В. А. Деревянко // Мелиорация. – 2014. – № 2 (72) – С. 30–47.

186. Шкутов, Э. Н Эволюция свойств осушенных торфяных почв Белорусского Полесья и их плодородие / Э. Н. Шкутов, Л. Н. Лученок // Мелиорация. – 2011. – № 1 (65) – С. 137–147.

187. Шкутов, Э.Н Оценка эффективности реконструкции мелиоративных систем / Э.Н. Шкутов // Мелиорация. – 2009. – № 2 (62) – С. 64–73.

188. Штина, Э.А. Экология почвенных водорослей / Э. А. Штина, М. М. Голлербах. – М. : Наука, 1976. – 143 с.

189. Штыков, В. И. Прогрессивные конструкции дренажа для осушения слабоводопроницаемых грунтов / В. И. Штыков, А. И. Климко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1997. – № 1. – С. 43–45.

190. Шупилов, Я. М. Полевой фильтрационный прибор ППФ / Я. М. Шупилов, П. К. Черник. – Минск, 1981. – 2 с.

191. Эггельсманн, Р. Руководство по дренажу / Р. Эггельсманн. – М. : Колос, 1984. – 248 с.

192. Эглий, Э. Х. К вопросу о методах исследований фильтрующих материалов для защиты дрен от заиления / Э. Х. Эглий // Полимеры в мелиорации и водном хозяйстве. – Елгава, 1975. – Вып. 2. – С. 58–65.

193. Юрченков, Н. П. Технические указания по ремонту и восстановлению закрытого дренажа в Калининградской области. / Н. П. Юрченков. – Калининград : [б. и.], 1977. – 52 с.

194. 95 лет истории развития мелиоративной науки в Беларуси (75-летию Института мелиорации и луговодства Национальной академии наук посвящается) / под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора, чл.-корр. НАН Беларуси А. П. Лихацевича.– Минск, 2005. – 256 с.

195. Яковлев, Б. И. Методы мелиорации тяжелых минеральных почв в условиях Белорусской ССР / Б. И. Яковлев // Тр. БСХА. – Горки, 1951.– Т. 20. – С. 86–98.

196. Backfill alteration effects on pipe drainage of a clay soil / G. S. Taylor, S. S. Hundal, N. R. Fausey, G. O. Schwab// Advances in drainage Agric. Res. & Development Center. – 1981. – N 138–80. – P. 139–148.

197. Cannell, R. Q. A study of mole drainage with simplified cultivation for autumn-sown crops on a clay soil / R. Q. Cannell, D. G. Christian, F. K. G. Henderson // *Soil and Tillage Research*. – 1986. – Vol. 7, Iss. 3. – P. 251–272.

198. Dierickx, W. Field Experience and Laboratory Research on Drainage Envelopes. / W. Dierickx // *International Seminar on Land Drainage*. – 1986. – P. 27–34.

199. Herve, J. Some aspects of sedimentation and logging in heavy soils / J. Herve // *Land Drainage*. – 1982. – № 5. – P. 203–211.

200. Miller, E. Sediment movement into subsurface drains from backfill profiles / E. Miller, E. Monke // *Trans. ASAE*. – Mich, 1980. – P. 1–18.

201. Rimidis, A. Drenazo su organiniiais filtrais vandens kokybes rodikliai / A. Rimidis // *Lietuvos vandens ukio institutas*. – 1998.

202. Ritzema, H. P. Drainage principles and applications, ILRI Publication 16 / H. P. Ritzema // *International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI)*, P.O. – Netherlands : Wageningen, 1994. – 1125 p.

203. Schläfke, F. Zusatzeinrichtung zum Drangrabenbagger ETZ-202A / F. Schläfke, U. Hayn // *Melior. Landwirsch. Bau*. – 1986. – Bd 20. – N. 10. – S. 432–433.

204. Schultz, B. Drainage Works in the Zuiderzee Project / B. Schultz // *Verhoeven B. ICID BULLETIN*, 1987. – № 02. – P. 59–71.

205. Kovacs, M. Filter characteristics of synthetic fabric / M. Kovacs. – *Period. polytechn. Civ. Ehg.*, 1982. – N. 3–4. – P. 231–239.

206. Taylor, G. Backfill alterations and drainage of day soils / G. Taylor, N. R. Fausey // *Advances in Drainage. Proc. of the Fourth National Drainage Symposium. ASAE, Publication 12-82*. – 1982. – P. 139–147.

207. Lietuvos statybininkų asociacija Lituvos tsrmuvum lhmmti, rvopi Nurodymai melioracijos projekty sudarynii I dalis. Nusausinimas. – Kaunas, 1966.

208. Rankl, M. Colloids Surfaces / M. Rankl, S. Laib, S. Seeger // *B 30, Biointerfaces – Amsterdam*, 2003. Vol. 30. – № 3. – P. 177–186.

209. Rulison, C. Adhesion Energy and Interfacial Tension / C. Rulison // *Application Note 232e, Augustine Scientific*. – United States, 2003. – p. 136–148.

210. Taylor, G. S. Backfill Alteration Effects on Pipe Drainage of a Clay Soil. *Advances in Drainage* / G. S. Taylor, N. R. Fausey. – United States : [w. p.] , 1982. – p. 139–148.

211. Tisdall, F. Low Cost Drainage // F. Tisdall // *Agriculture in Northern Islands*. – 1982. – V/2, № 11 – P. 10–11.

Научное издание

МИТРАХОВИЧ Александр Иванович

АВРАМЕНКО Николай Михайлович

КАЗЬМИРУК Инна Чеславовна

**РЕКОНСТРУКЦИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ
СИСТЕМ**

Подписано в печать 08.05.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 16,45. Уч.-изд. л. 13,58. Тираж 50. Заказ 174.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.