



УЧЕБНИК



ПРИРОДОБУСТРОЙСТВО



«КолосС»



УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕДИЙ

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Под редакцией доктора технических наук
А. И. Голованова

Допущено Министерством сельского хозяйства Рос-
сийской Федерации в качестве учебника для сту-
дентов высших учебных заведений, обучающихся по
направлениям 280400 «Природообустройство»,
280300 «Водные ресурсы и водопользование»



МОСКВА «КолосС» 2008

УДК 502.3 (075.8)
ББК 20.18я73
П77

Издано при финансовой поддержке Фе-
дерального агентства по печати и массо-
вым коммуникациям в рамках федеральной
целевой программы «Культура России»

Авторы: А. И. Голованов, Ф. М. Зимин, Д. В. Козлов, И. В. Корнеев,
И. С. Румянцев, Т. И. Сурикова, Ю. И. Сухарев, В. В. Шабанов

Редактор Н. М. Щербакова

Рецензенты: действительный член Российской академии
сельскохозяйственных наук, профессор, доктор технических наук
И. П. Айдаров и доктор технических наук, профессор А. Д. Гумба-
ров (Кубанский аграрный университет)

Природообустройство / А. И. Голованов, Ф. М. Зимин,
П77 Д. В. Козлов и др.; Под ред. А. И. Голованова. — М.: КолосС,
2008. — 552 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студен-
тов высш. учеб. заведений).

ISBN 978—5—9532—0480—4

Рассмотрены принципы рационального природопользования и приро-
дообустройства, геосистемы как объекты природообустройства, культурные
ландшафты, основные природные законы и моделирование природных
процессов. Приведены основные технические приемы орошения и осуше-
ния земель различного назначения, восстановления нарушенных и очистки
загрязненных земель, борьбы с природными стихиями (наводнениями,
подтоплением, эрозией, оползнями, селями и т. п.). Уделено внимание
обустройству водных объектов.

Для студентов вузов по направлениям 280400 «Природообустройство» и
280300 «Водные ресурсы и водопользование», а также специалистов по при-
родопользованию, экономике и организации водного хозяйства.

УДК 502.3 (075.8)
ББК 20.18я73

Original-макет книги является собственностью издательства «КолосС»,
и его воспроизводство в любом виде, включая электронный,
без согласия издателя запрещено.

ISBN 978—5—9532—0480—4

© Издательство «КолосС», 2008
© Авторский коллектив, 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

Как только человек перешел к оседлому образу жизни, он был объективно вынужден изменять компоненты природы для повышения их полезности, возможности более эффективного использования природных ресурсов. Изначально он стал заниматься орошением и осушением сельскохозяйственных угодий, затем обустройством земель населенных пунктов, противостоять природным стихиям (засухам, наводнениям, подтоплению земель, размыву берегов, оползням и т. п.), стал регулировать сток рек. Разрушение почвенного покрова, загрязнение земель, истощение водных ресурсов, возникающие в процессе природопользования, заставили человека заниматься восстановлением (рекультивацией) территорий.

Широкомасштабные работы по изменению природной среды во благо человека из-за ряда объективных и субъективных причин сами стали приводить к негативным последствиям как на улучшаемых территориях, так и на прилегающих землях. Это, наряду с интенсивным природопользованием, привело к современному неблагоприятному состоянию окружающей среды и даже к экологическому кризису.

Разнообразную деятельность по преобразованию и восстановлению природных компонентов ученые Московского государственного университета природообустройства (МГУП) (И. Г. Галямина, А. И. Голованов, И. П. Айдаров) в 1993 г. предложили объединить одним широким понятием «природообустройство», что позволило выработать общие подходы к модификации свойств природных компонентов, согласованию природопользования с природообустройством, сформу-

лизовать общие требования к природообустройству, обеспечивающие сохранение и воспроизводство природных ресурсов, гармоничное развитие человеческого общества и окружающей среды. Природообустройство стало общепринятым направлением в подготовке специалистов и формируется как новое научное направление, в котором познаются общие закономерности создания и управления особыми техноприродными комплексами.

Природообустройство включает мелиорацию земель различного назначения, восстановление (рекультивацию) нарушенных и загрязненных земель, природоохранное обустройство территорий, борьбу с природными стихиями.

По нормам русского языка одно из значений префикса «об», «обо», «обу» — совершить всестороннее законченное действие над объектом, что также раскрывает смысл русского слова «природообустройство». Примерный английский эквивалент этого понятия — Environmental engineering, т. е. инженерия окружающей среды, активное воздействие на окружающую среду с определенными целями.

Природообустройство конкретно наполняет инженерно-экологическую деятельность, наряду с другими деятельностями практически реализует концепцию устойчивого развития мира и отдельных стран. Термин «устойчивое развитие» вошел в оборот после 1987 г., когда в докладе Всемирной комиссии ООН по окружающей среде и развитию был поставлен вопрос о необходимости поиска новой модели развития цивилизации. Окончательно он был сформулирован на Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 г.). Устойчивое развитие должно обеспечивать сбалансированное решение социально-экономических задач и проблем сохранения благоприятной окружающей среды и природно-ресурсного потенциала в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений людей. Улучшение качества жизни людей должно обеспечиваться в тех пределах хозяйственной емкости биосферы, превышение которых приводит к разрушению естественного биотического механизма регуляции окружающей среды и ее глобальным изменениям.

Именно природообустройство способно увеличить хозяйственную емкость биосферы, восстанавли-

вать ее, ликвидировать негативные последствия природопользования.

Природообустройство придает новое качество территории как окружающей среде, повышает безопасность существования человека и природы. Под качеством окружающей среды в данной местности понимают ценностную характеристику функционального единства существенных ее свойств, новую внутреннюю и внешнюю определенность, относительную устойчивость, отличие ее от одних местностей и сходство с другими. Мелиорация земель различного назначения придает им новое качество в соответствии с требованиями конкретных землепользователей, например, в сельском хозяйстве — это прежде всего плодородие почвы, при этом почва выступает как среда обитания сельскохозяйственных растений. При мелиорации земель лесного фонда учитывают требования леса к окружающей среде, земель поселений — требования градостроительства к рельефу местности, к прочности грунтов как оснований сооружений, глубине и качеству подземных вод, контактирующих с подземными сооружениями; санитарно-гигиенические требования к качеству воздуха, почв, вод и др. При рекультивации земель стоит задача восстановления качества окружающей среды, нарушенной при интенсивном природопользовании. Природоохранное обустройство территорий и борьба с природными стихиями также придает окружающей среде новое качество, повышает безопасность существования человека и природы.

Природообустройство, по сути, — активное управление окружающей средой. В последние годы появился и активно используется термин «управление окружающей средой». Государственным стандартом РФ установлены принципы, состав и средства обеспечения функционирования системы управления окружающей средой (ГОСТ Р ИССО 14004—98), под которой понимают часть общей системы административного управления организации, включающую организационную структуру, планирование, ответственность, методы, процедуры, процессы и ресурсы, необходимые для разработки, внедрения, реализации, анализа и поддержания экологической политики. Этот ГОСТ в общем виде регулирует деятельность всех организаций, включая и организации природообустройства, так как работы по обустройству природы сами потенциально

опасны и проводить их необходимо с жесткими экологическими ограничениями, но он не стандартизирует конкретно деятельность по обустройству природы.

В основу данного учебника положены фундаментальные исследования ученых-географов о геосистемах (ландшафтах), синтезирующие знания о природных объектах и их функционировании в целом, ученых-экологов, знания наук о земле, знания мелиоративных наук, использованы методологические разработки кафедры философии МГУП (доц. Р. М. Орлов), последние научные и методические разработки МГУП, Новочеркасской инженерно-мелиоративной академии, Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации (ВНИИГИМ) и др.

Часть I

ТЕОРИЯ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

1.1. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО КАК ОТНОШЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА И ПРИРОДЫ

Деятельностные отношения человека и окружающей его природы можно разделить на природоведение, природопользование и природообустройство. В этих двукорневых словах присутствует понятие «природа» и указаны активные действия человека: ведение (изучение), пользование, обустройство. Иными словами, здесь подразумевается субъект — человек и объект его деятельности — природа, конкретизируются отношения человека и природы на современном этапе. Даже при изучении самого себя имеется в виду человек как субъект и человек как объект изучения. Здесь под природой подразумевают все то, что окружает человека, т. е. совокупность естественных условий его существования. Вместе с тем в русском языке в понятие «природа» вкладывают и другие смыслы:

самый общий: все существующее во Вселенной — неорганический и органический мир, включая и человека, т. е. все живое и неживое (косное);

бытовой: вне города — поехать на природу;

переносный: сущность — природа явления.

Сужение понятия природы до среды, окружающей человека, чисто методологическое. Оно вытекает из теории больших систем. Природу в самом общем смысле можно представить как сверхсистему, состоящую из окружающей человека природной среды (надсистемы) и особой системы — человеческого общества. Такое разделение сверхсистемы позволяет человеку выявлять, изучать и, в некоторой степени, организовывать отношения между ее составляющими, что при возросших возможностях человека и общества («при его могуществе») становится очень актуальным, необходимым и для его выживания как биологического вида, и для сохранения природы.

Именно понятие природы как окружающей человека среды определяет его действия: именно он изучает природу, именно он ею пользуется и обустроивает для своих нужд. Это существенно, так

как некоторые ученые, например, трактуют природопользование излишне расширенно, включая в него и то, что заяц ест морковку, волк ест зайца, комар сосет кровь из человека. Это естественные природные процессы, они сами оптимизируются и без вмешательства человека.

Вместе с тем человек порожден природой и тем самым является ее частью, но человек — единственное существо, способное постигать природу и самого себя. Эта двойственность человека усложняет создание теории отношения природы и человека. Философы, например В. Хёсле, отмечают наличие «включающего» и «противополагающего» понятий природы. Отношения человека и природы эволюционизировались по мере увеличения его численности, интеллектуального развития.

Отношения человека и природы вытекают из того, что он, как и другие живые организмы, — материальная саморазвивающаяся система. Саморазвитие заключается в том, что он содержит свои внутренние источники развития в виде разрешения заключенных в нем противоречий. Человек активно регулирует обмен энергией и веществом с окружающей средой (неизбежные потребление и отходы), формирует условия своего собственного существования, преобразуя окружающую среду.

Выстраивая современные отношения человека и окружающей его природы, надо помнить, что человечеству нужна природа того эволюционного отрезка, в котором оно возникло и эволюционизировало; «коренное», в геологическом смысле, преобразование среды жизни было бы смертельным для людей. В разумных пределах человек должен управлять природной средой, что замедляет энтропийные процессы (энтропия — мера внутренней неупорядоченности системы) и дает возможность дальнейшего социально-экономического развития. В принципе можно развивать среду жизни в космосе, но земная жизнь является порождением биосферы земного типа и не может поколениями существовать вне ее уникальных условий.

Специфическая черта современных отношений человека и природы — понимание того, что от неограниченной эксплуатации природы и ее безграничного преобразования следует переходить к экономии природных ресурсов и осторожному изменению природной среды жизни. Человек сейчас отказывается от позиций антропоцентризма, когда он считал себя всемогущим, царем природы, не ждущим милостей от природы, берущим в долг с обещанием потом исправить нарушенную природу. Сторонники антропоцентризма ставят суверенитет человеческого общества выше суверенитета природы. Взаимоотношения человека и природы они видят как деятельность по использованию и преобразованию компонентов природы во имя человека, его потребностей и инте-

ресов. Это, например, нашло отражение в долго существовавшей цели мелиорации сельскохозяйственных земель: получение (любой ценой!) высокого и устойчивого (?) урожая ограниченного набора сельскохозяйственных культур. Примеры: только хлопчатник в Средней Азии, только рис в низовьях Кубани, только овощи и картофель на осушенных торфяниках Белоруссии и России, орошение больших территорий с черноземными почвами устаревшими технологиями.

Другая, противоположная, крайность — идеология экологизма, которая включает в себе призыв к прекращению борьбы с природой, к остановке научно-технического прогресса, объявляет человеческое общество составной частью природы, призывает человека к слиянию с ней, к растворению в ней.

В действительности, и антропоцентризм, и экологизм утопичны и ведут человека в тупик. Забота о человеке в антропоцентрическом мировоззрении иллюзорна, так как в конце концов оборачивается экологическим кризисом, разрушением природных (естественных) основ существования человечества. Столь же иллюзорен и экологизм, поскольку, объявляя человека частью биосферы, он, по существу, игнорирует качественные особенности развития человеческого общества, ликвидирует суверенитет человеческой личности.

Человек должен идти по единственно возможному пути — экологически безопасному и экономически эффективному коридору создания техноприродных или социоприродных систем, который обеспечил бы гармонический синтез изменений природных систем с возможностью их дальнейшего функционирования, наиболее полной продуктивностью, без потери устойчивости и тем более без разрушения.

Нельзя ставить вопрос — что важнее: экономическое развитие человеческого общества или сохранение природы? Если преследовать только экономические цели, то чрезмерная разрушительная эксплуатация природы готовит нам скорый конец. Если законсервировать всю природу, то экономическое развитие остановилось бы, мы должны перестать есть, пить, дышать, т. е. вычеркнули бы себя из природы, но человек тоже часть природы в широком смысле, ее дитя. Следовательно, экономическое развитие должно быть таким, чтобы давление человека на природу не превышало разумного уровня. Отсюда вытекает необходимость разумного (рационального) природопользования и природообустройства.

Отношения человека и природы должны в конечном счете обеспечить гармоничное сочетание суверенных интересов человека и общества со столь же суверенными «интересами» природы (Р. М. Орлов).

Человек в своей жизнедеятельности не может отказаться ни от использования природы, ни от изменения компонентов природы, ни от научно-технического прогресса. Следовательно, необходимо познание и использование в практической деятельности законов формирования, функционирования и развития особых техноприродных систем. Необходимо научное обоснование синтеза природных процессов и деятельности человека. Законы формирования, функционирования и развития техноприродных систем не являются ни чисто природными, ни чисто социальными, они дают знания об особых процессах при взаимодействии человека и природы. Учет этих законов как раз и должен обеспечить коэволюцию, т. е. совместное развитие природы и человеческого общества.

Чтобы преодолеть крайности антропоцентризма и чистого экологизма, необходимо разрабатывать стратегию движения общества от ресурсно-потребительской деятельности к сберегающе-созидающей. Поэтому наряду с природопользованием возникает еще большая необходимость в осознанной деятельности — природообустройстве и природовоспроизводстве. Односторонний процесс движения изъятых из природы ресурсов в общество, который характерен для современных форм природопользования, должен быть дополнен противоположным процессом движения вещества и энергии в компоненты природы (Р. М. Орлов).

Концепция коэволюции нуждается в конкретизации, насыщении вещественно определенной деятельностью. Практическое осуществление ее положений — начало создания культурных ландшафтов, где деятельность человека гармонизирована в его интересах и в интересах природы.

Окружающую человека среду можно представить как состоящую из четырех неразрывно взаимосвязанных подсистем: собственно природной среды; квазиприродной, т. е. модифицированной человеком природной среды; искусственной, или артеприродной, среды и социальной среды.

Собственно природная среда в данном понимании — факторы и условия существования человека чисто естественного происхождения (факторы — материальные, энергетические и информационные компоненты, обеспечивающие жизнь; условия — обстоятельства, в которых развивается жизнь), имеющие свойства самоподдержания и саморегуляции без постоянного вмешательства человека. Это не означает, что человек не изменяет природную среду.

Квазиприродная среда — пахотные или иные преобразованные человеком угодья, внедренные в природную среду культурные растения и домашние животные, грунтовые дороги, внешнее пространство населенных мест, зеленые насаждения (сады, парки, газоны, бульвары), водохранилища на реках, каналы в земляном

русле и т. п. Эти элементы имеют природное происхождение, но, являясь инородными для конкретных природных объектов, не обладают системным самоподдержанием. Их долговременное существование возможно только при поддержке человеком.

Артеприродная среда — весь искусственный мир, созданный человеком в основном для удовлетворения своих потребностей, вещественно-энергетически не имеющий аналогов в естественной природе, чуждый ей и разрушающийся без непрерывного обновления. К ней относятся здания, сооружения, дороги с твердым покрытием, трубопроводы, бетонированные каналы, искусственные водоемы (бассейны) и т. п. Для их создания человек очень часто использует или преобразованные вещества, или полностью искусственные, не имеющиеся в природе. Эти вещества с трудом входят в естественные геохимические циклы, возникает проблема с их хранением после использования. Правда, несмотря на свою искусственность, артеприродная среда подчиняется тем же объективным законам природы (тяжести, теплопроводности, электропроводности и др.).

И квазиприродная, и артеприродная среда не существуют изолированно, человек их встраивает в природные системы, образуя вышеупомянутые техноприродные или социоприродные системы. Поэтому эти новые системы не являются полностью антропогенными, природная составляющая для них является базовой, что отражено в их названии. С этих позиций вариант названия «природно-техническая система» представляется некорректным, тем более — «антропогенный ландшафт» и т. п.

Социальная среда — культурно-психологический, информационный, политический климат, создаваемый для личности, социальных групп и человечества в целом самими людьми и слагающийся из влияния людей как социально-биологических существ друг на друга в коллективах с помощью средств материального, энергетического и информационного воздействия. Социальная среда интегрируется с природной, квазиприродной и артеприродной средами, формируя «качество среды жизни». Уровень природопользования и природообустройства в нем — незаменимая составляющая.

Понятие «окружающая среда» эквивалентно греческому *oikos* — экос (дом, родина). Науку о взаимодействии человека (в общем понимании — живых организмов) и окружающей среды называют экологией, по-русски — это «домоведение», т. е. наука о доме, а наука экономика — «домоводство». Так получилось, что вначале в бытовой речи, а затем и в научной литературе слово «экология» (наука) заменило предмет, который она изучает, т. е. экос, дом для человечества (живых организмов), природу как окружающую среду. Стали неудачно говорить: «плохая экология»

(может ли быть плохая математика или биология?), «экологические условия» вместо «качество окружающей среды» и т. п.

Молодая наука экология стала очень модной, пока еще рыхлой, слабоструктурированной. Сейчас различают биоэкологию, геоэкологию, экологию человека, социальную экологию, прикладную экологию (имеющие подразделения) и многие другие. В книге Н.Ф. Реймерса «Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы)» сформулированы порядка 240 гипотез, законов, принципов, правил и афоризмов. Из всего этого множества ниже сформулированы основные принципы природопользования и природообустройства, выполнение которых должно обеспечить заявленные выше отношения человека и природы, сделать их рациональными.

1.2. ОБЪЕКТЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Дадим вначале определения природоведению, природопользованию и природообустройству:

природоведение — познание объективных законов возникновения, развития, функционирования отдельных компонентов природы и их совокупности в виде природно-территориальных комплексов или геосистем различного размера. Заметим, что наряду с объективными законами природы (законы Ньютона, Ома, Генри) и законами формирования человеческого общества, которые человек познает, он придумывает «правила игры» — правила поведения человека в обществе: мораль, право, правила дорожного движения, правила игры в футбол и т. п.; специалисты создают для себя стандарты, технические условия, нормы, но все это предмет соглашения между людьми, является субъективным и может быть в любой момент изменено при согласии достаточно большого числа людей;

природопользование — извлечение из природных объектов вещества, энергии и информации, необходимых в общественном производстве; получение услуг от природных объектов (рекреационных, оздоровительных, воспитательных, научных и т. п.); использование природных объектов как пространственного базиса для размещения антропогенных объектов (населенных пунктов, объектов промышленности, транспорта, связи, природообустройства, обороны); использование природных объектов для размещения отходов антропогенной деятельности (газообразных, жидких, твердых, органических и неорганических);

природообустройство — согласование требований природопользователей и свойств природы, придание ее компонентам новых

свойств, повышающих потребительскую стоимость или полезность компонентов природы, восстановление нарушенных компонентов.

Необходимо обозначить объекты природопользования и природообустройства. Если понимать природу как окружающую человека среду, то ее можно представить как географическую оболочку, состоящую из пяти компонентов:

масс твердой земной коры;

масс вод во всех состояниях (жидкое, парообразное, твердое — лед);

воздушных масс;

почвы;

биоты, или живых организмов и органических остатков, имеющих большое значение в биологическом круговороте.

Географы для упрощения анализа природных процессов и устройства оболочки Земли делят ее на *геосферы* — концентрические сплошные или прерывистые оболочки Земли, различающиеся между собой по преобладающему компоненту, по химическому составу, агрегатному состоянию и физическим свойствам, возникшие в результате дифференциации вещества Земли:

атмосферу и ее нижнюю часть — тропосферу;

педосферу (почвенную оболочку, от лат. *pedis* — нога, педология — устаревшее название почвоведения, пед — представительный объем почвы);

гидросферу — прерывистую водную оболочку, состоящую из океанов, морей, поверхностных вод суши, льда и снега высокогорий, Арктики и Антарктики, подземных и почвенных вод, атмосферной влаги, воды, содержащейся в живых организмах;

литосферу — внешнюю сферу «твердой» Земли, включающую земную кору и верхний слой мантии, состоящую из горных пород или геологических отложений разного происхождения. Горные породы в зоне выветривания называют еще грунтами, являющимися объектами инженерно-строительной деятельности человека и используемыми в качестве основания зданий и других инженерных сооружений, материала для сооружений (дорог, насыпей, плотин) и среды для размещения подземных сооружений (тоннелей, трубопроводов, хранилищ). Формально почвенная оболочка также принадлежит литосфере, но, по существу, это особое природное органо-минеральное средообразующее тело, обладающее уникальным свойством — плодородием, обеспечивающим жизнь на Земле, поэтому требует особого выделения, учета, использования, охраны.

Каждая из указанных сфер помимо определяющего компонента содержит и другие: в атмосфере присутствуют вода, твердые частицы, аэрозоли, микроорганизмы; в воде — растворенный воз-

дух, который важен для живых организмов, разнообразные живые организмы, твердые частицы в виде взвесей, взвешенных и влекомых наносов; почва — вообще комплексное природное тело (биокосное), непременно состоящее из измельченной горной породы, почвенной влаги (раствора), почвенного воздуха, по составу существенно отличающегося от атмосферного, живых организмов, в том числе и микроорганизмов, органических остатков разной степени разложения (гумус); в литосфере помимо горных пород имеются воздух, вода, живые организмы и их остатки (геологические породы биогенного происхождения — торф, каменный уголь, нефть, газ).

В последнее время стали выделять биосферу — нижнюю часть атмосферы, всю гидросферу и верхнюю часть литосферы Земли, населенные живыми организмами, т. е. область существования живого вещества. *Биосфера* — самая крупная (глобальная) экосистема Земли — сфера системного взаимодействия живого и косного вещества на планете. Биосфера представлена иерархиями экосистем и геосистем с разным сочетанием биоты и сферы ее обитания.

По В. И. Вернадскому, пределы биосферы обусловлены условиями существования жизни. Она ограничена по высоте 6 км над уровнем моря. До этой высоты сохраняются положительные температуры в атмосфере и могут жить растения, содержащие хлорофилл. Например, продуценты находят в Гималаях на высоте 6,2 км. Выше, в эоловой (ветровой) зоне, обитают лишь пауки, ногохвостки и некоторые клещи, питающиеся зернами растительной пыльцы, спорами растений, микроорганизмами и другими органическими частицами, заносимыми ветром. Еще выше живые организмы попадают лишь случайно, а микроорганизмы могут сохранять жизнь в виде спор.

Нижний предел существования жизни традиционно ограничивают дном океана и изотермой 100 °С. Наиболее глубокая отметка дна океана расположена на глубине около 11 км, а по данным сверхглубокого бурения на Кольском полуострове (на 6 км), фактическая жизнь распространяется в литосфере до глубины 3...4 км.

По новейшим представлениям пределы биосферы намного шире, поскольку в гидротермах дна океана (их назвали «черными курильщиками» из-за темного цвета извергающихся вод) на глубинах около 3 км обнаружены организмы, живущие при температуре до 250 °С. При такой температуре вода под давлением 30 Па не кипит. И так как пределы жизни ограничены точками превращения воды в пар и сворачиванием белков, то жизнь там принципиально возможна. Перегретая жидкая вода обнаружена в литосфере до глубин 10,5 км. Глубже 25 км, по оценкам геологов, должна существовать критическая температура в 460 °С, при которой

независимо от давления вода превращается в пар и жизнь принципиально невозможна. Таким образом, вертикальная мощность биосферы в океанической области Земли достигает чуть более 17 км, а в сухопутной — до 12 км.

В биосфере живые организмы (биота) и среда их обитания органически связаны и взаимодействуют друг с другом, образуя целостную динамическую систему. Термин «биосфера» введен в 1875 г. австрийским ученым Э. Зюссом. Учение о биосфере как об активной оболочке Земли, в которой совокупная деятельность живых организмов (в том числе человека) проявляется как геохимический фактор планетарного масштаба, создано В. И. Вернадским (1926). Учение о биосфере оказало огромное влияние на развитие многих наук и на понимание и решение проблем, связанных с взаимоотношением природы и общества.

Если сопоставить толщину биосферы и радиус земного шара: 12 км к 6360 км, то можно увидеть, что жизнь расположена в тончайшем слое, среднюю температуру которого природа поддерживает около 15 °С. Человек может нарушить это хрупкое равновесие. Поэтому глобальному взаимодействию между биосферой и развивающимся человечеством нужно уделять пристальное внимание.

Развитие системы «биосфера — человек» следует рассматривать в совокупности, так как каждая часть этой системы не изолирована, а взаимодействует с другой и влияет на нее. Влияние человека на биосферу может быть положительным и отрицательным. В этом случае биосфера может «реагировать» неблагоприятным для человека образом. Так, сжигание больших количеств органического топлива приводит к потеплению атмосферы. При стабильности средних температур дополнительная энергия реализуется в виде вихрей, ураганов, наводнений и других неблагоприятных для человека проявлений. История взаимодействия человека и природы полна не только светлых, радостных, но и трагических страниц.

Помимо биосферы выделяют также ее часть — биогеосферу — область высокой концентрации живого вещества, толщина которой варьирует от нескольких метров в степях, пустынях, тундрах до десятков и сотен метров в лесных сообществах и морях. Элементарные ячейки биогеосферы — биогеоценозы. Биогеосфера — единственная оболочка Земли, в которой возможны постоянное нахождение и нормальная всесторонняя деятельность человека. Из нее человечество черпает почти все необходимые ему ресурсы: воду, кислород, топливо, продовольствие, сырье для промышленности, строительства и др. Биогеосфера в свою очередь испытывает со стороны человечества непрерывно растущие разнообразные и глубокие воздействия, вплоть до разрушительных. Близким по

объему к биосфере является представление о ландшафтной оболочке Земли.

Помимо членения Земли на компоненты и сферы современное природоведение, в частности физическая география, предлагает членение территорий на *геосистемы* — природные тела, включающие взаимообусловленный набор всех компонентов природы и развивающиеся как единое целое. Иерархия геосистем суши, их свойства, знание которых необходимо при природопользовании и природообустройстве, приведены в разделе 2.1.

В экологии одно из основных понятий — «экосистема» — природный комплекс (биокосная система), образованный живыми организмами (биоценоз) и средой их обитания (косной, например атмосфера, или биокосной — почва, водоем и т. п.), связанными между собой обменом веществ и энергии. Понятие «экосистема» можно применять к объектам разной сложности и размеров. Примеры экосистем — пруд с обитающими в нем растениями, рыбами, беспозвоночными животными, микроорганизмами, донными отложениями, с характерными для него изменениями температуры, количеством растворенного в воде кислорода, составом воды и т. п.; лес с лесной подстилкой, почвой, микроорганизмами, с населяющими его птицами, травоядными и хищными млекопитающими, с характерными для него распределением температуры и влажности воздуха, света, почвенных вод и других факторов среды, с присущим ему обменом веществ и энергии. Гниющий пень в лесу с живущими на нем и в нем организмами и условиями обитания тоже можно рассматривать как экосистему. Цветочный горшок с геранью тоже экосистема. Этот термин применим как к природным, так и к искусственным экосистемам, таким, например, как сельскохозяйственные угодья, сады, парки и даже поме-

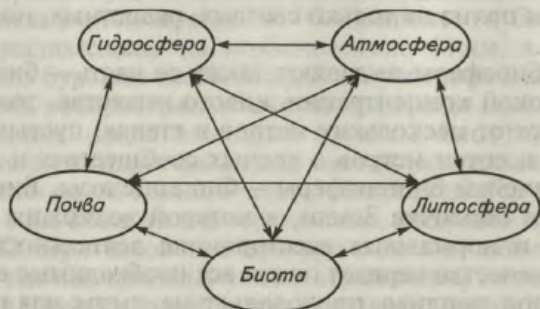


Рис. 1.1. Схема связей, изучаемых при геосистемном подходе

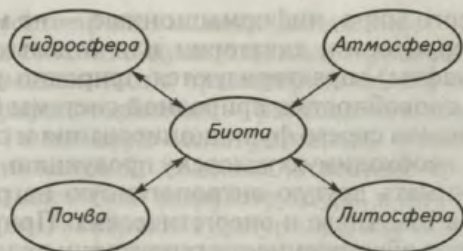


Рис. 1.2. Схема связей, изучаемых при экосистемном подходе

щение с людьми и т. п. Ввиду многозначности этого термина, безмасштабности и некоторой неопределенности использование его в природопользовании и природообустройстве представляется менее предпочтительным, чем геосистема или синонимы: природный объект, природная система, природно-территориальный комплекс. Это объясняется и тем, что при геосистемном подходе изучают все связи между компонентами и сферами (рис. 1.1), а при экосистемном — только между биотой и остальными косными компонентами (рис. 1.2): иными словами, экосистемный подход избыточно биоцентричен.

1.2.1. ОБЪЕКТЫ, РЕСУРСЫ И ВИДЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Исходя из определения природопользования, человек пользуется различными природными ресурсами, которые помимо названия должны иметь меру, т. е. количественное выражение. Например, вода в реке есть, но ее ирригационный ресурс равен нулю из-за непригодности для полива конкретной почвы или эту воду нельзя изъять, исходя из сохранности реки (ресурс ирригационного водопользования нулевой). Судоходный ресурс реки может быть невелик из-за малых глубин, но рекреационный — значителен.

Ресурсы вообще — денежные средства, ценности, запасы, возможности, источники дохода; различают природные, материальные, трудовые, финансовые ресурсы. *Природный ресурс* — допустимый объем изъятия вещества и энергии, допустимая антропогенная нагрузка на природные объекты, обеспечивающие сохранение объектов, экологическую безопасность для человека и природы. Главные виды природных ресурсов: солнечная энергия, энергия приливов и отливов, внутриземное тепло, водные, земельные, минеральные (в том числе топливно-энергетические), растительные,

ресурсы животного мира, информационные — не могут быть безразмерными. Территории, акватории или отдельные природные объекты (ландшафты) характеризуются природно-ресурсным потенциалом, т. е. способностью природной системы без ущерба для себя (для механизмов своего функционирования и самовосстановления) отдавать необходимую человеку продукцию, оказывать ему услуги, воспринимать другую антропогенную нагрузку, включая прием отходов, в том числе и энергетических. Природный ресурс зависит от степени обустроенности территории человеком, он может его повышать, например, улучшая тепло- и влагообеспеченность, природную устойчивость, самовосстановление.

Воздействие человека на природу измеряют не только объемом использованных ресурсов, но и влиянием на все компоненты природного объекта или природной системы. Поэтому объектом природопользования надо считать природный объект в целом, обеспечивая его сохранность, восстановление. Кстати, именно к природным объектам или системам (геосистемам, природно-территориальным комплексам, ландшафтам) применимо понятие *комплексного использования*, т. е. в различных целях: например, озеро можно использовать для водоснабжения, судоходства, рыболовства, отдыха и т. п. Возможно повторное использование некоторых ресурсов (например, воды), но не комплексное. Да и охранять лучше природные объекты, а не отдельные ресурсы, хотя последние можно поддерживать, восполнять: судоходные дноуглубительные работы, магазинирование (пополнение) подземных вод, пополнение рыбных запасов и др.

Мера природного ресурса нашла свое отражение в геологии: прогнозные запасы какого-либо ископаемого, разведанные запасы, утвержденные запасы. Мера имеют климатические ресурсы для целей сельского хозяйства или агроклиматические ресурсы: количество эффективных осадков, сумма биологически активных температур воздуха, количество фотосинтетически активной солнечной радиации, число дней с суховеями, с заморозками и т. п.

С позиций природообустройства природопользование можно разделить на землепользование, водопользование, недропользование, воздухопользование. При этом становятся явными объекты природообустройства: земли (территории), водные объекты, недра, приземные слои атмосферы.

При землепользовании природные объекты, природно-территориальные комплексы (геосистемы, ландшафты) человек представляет в виде земель, т. е. территорий с угодьями, находящихся в чем-то пользовании, владении, собственности. Землепользование может быть сельскохозяйственным (с размещением посевов, животноводческих ферм, аграрной инфраструктуры); лесохозяйственным (тоже с его инфраструктурой); водохозяйственным (раз-

мещение искусственных водных объектов); урбанистическим (размещение населенных пунктов); индустриальным (размещение объектов промышленности, транспорта, связи); природообустроительным и природоохранным — размещение объектов природообустройства (инженерно-мелиоративных, инженерно-экологических, обводнительных, водохозяйственных и других систем), элементов экологической инфраструктуры и др.; рекреационным, оздоровительным, историко-культурным, научным, образовательным; оборонным; для размещения отходов антропогенной деятельности (терриконы, отвалы, хвостохранилища, свалки или полигоны хранения отходов).

Разновидности водопользования: водоснабжение населенных пунктов, промышленности; ирригационное; гидроэнергетическое, в том числе приливные ГЭС; транспортное (судоходство, сплав леса); рыбохозяйственное; рекреационное, оздоровительное, научное, историко-культурное; оборонное; размещение стоков и отходов антропогенной деятельности, в том числе термальных вод.

Разновидности недропользования: добыча нерудных материалов, руд, энергоносителей (нефти, газа, углей), подземных вод (пресных, минерализованных, термальных); размещение антропогенных объектов (тоннелей, трубопроводов, хранилищ, убежищ), отходов антропогенной деятельности (радиоактивных отходов и т. п.).

Варианты воздухпользования: транспортное, оборонное, энергетическое, рекреационное, энергетическое, научное, размещение отходов, выбросов.

Такая классификация видов природопользования находит свое отражение в законодательных актах: Земельном кодексе, Водном кодексе, Лесном кодексе, Законе о недрах.

Благами природы пользуются не только человек, но и все другие живые организмы, образуя питательные (трофические) цепи. При этом живые организмы не только извлекают пищу из природы, но и размещают в ней продукты своей жизнедеятельности, поселяются в ней, частично преобразуют окружающую среду для своих нужд — строят жилища. Эти натуральные взаимоотношения животного мира с окружающей средой не стоит называть природопользованием, что уже было отмечено ранее. В деятельности человека можно обозначить *опосредованное природопользование*, когда культивируемые им растения используют питательные вещества, воду, воздух из почвы, домашние животные потребляют растительную пищу. Это уже не чисто природные процессы, человек ими управляет, контролирует взаимодействие живых организмов с окружающей средой. Например, экологически опасно функционирование крупных животноводческих ферм с тысячами и десятками тысяч голов скота или птицы. Возникают большие проблемы

с переработкой отходов жизнедеятельности. Большая нагрузка на почву требует активного поддержания ее плодородия. От почвенного промысла надо переходить к почвенному хозяйству.

Более подробные классификации видов природопользования и природных ресурсов, их характеристики приведены в соответствующих учебных пособиях и в научной литературе (см. книгу Н. Ф. Реймерса).

1.2.2. ОБЪЕКТЫ И ВИДЫ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Как было сказано ранее, природообустройство призвано повышать эффективность природопользования, восстанавливать нарушенные природные объекты, защищать природу и человека от стихийных бедствий.

В природообустройство входят:

мелиорация земель разного назначения: сельскохозяйственных, водного и лесного фондов, поселений, промышленности, транспорта, связи; рекреационного, оздоровительного, историко-культурного, научного, оборонного назначения. Нуждаются в улучшающих, обустроительных работах недра при добыче полезных ископаемых (осушение карьеров, шахт, укрепление откосов и т. п.). Обустройству необходимо для водных объектов — строительство комплексных гидроузлов, судоходных сооружений. Человек может воздействовать и на качество воздушной среды: увлажнение воздуха при суховеях, борьба с неурочными заморозками посредством лесонасаждений, искусственного увлажнения распыленной водой и др.;

рекультивация земель, т. е. восстановление свойств компонентов природы или даже самих компонентов после их использования, нарушенных при добыче полезных ископаемых, в результате строительства; восстановление растительного покрова; восстановление (возобновление) запасов и качества подземных и поверхностных вод; очистка загрязненных территорий. В рекультивации нуждаются и недра (заполнение выработанных полостей) и водные объекты (восстановление нарушенного гидрологического режима, водной биоты, очистка вод);

природоохранное обустройство территорий: борьба с водной и ветровой эрозией, восстановление естественной гидрографической сети, особенно малых рек, водоохранных зон; защита от некоторых природных стихий (наводнений, подтоплений, оползней, размыва берегов, селей).

Таким образом, природообустройство — это особый вид деятельности, отличающийся от природопользования. Природообустройство глубоко вмешивается в природные процессы, вызывает изменения в развитии и функционировании природных систем и

связано с расходом большого количества материальных, энергетических, трудовых и денежных ресурсов. Поэтому проводят его в условиях гласности, на определенной правовой основе, после всесторонней независимой высокопрофессиональной экспертизы, его последствия после осуществления прогнозируют и контролируют.

Природообустройство тесно связано с природопользованием, часто предшествует ему, иногда его проводят после смены вида использования природных объектов, часто одновременно, хотя четкой границы между двумя этими видами деятельности нет. Любой вид природопользования сталкивается с необходимостью некоторого изменения свойств природных компонентов для более эффективного их использования, причем эти изменения непосредственно входят в состав технологии природопользования.

Отличие природообустройства от природопользования заключается в том, что осуществляют их разными технологиями. Например, сельскохозяйственное производство — типичное природопользование и в зависимости от климатических особенностей зоны включает агротехнические приемы сбережения влаги (лесонасаждения, снегозадержание, уменьшение поверхностного стока и др.) в засушливых местностях или приемы по уменьшению переувлажнения (планировку поверхности, узкозагонную вспашку, профилирование, грядование) в зоне избыточного увлажнения. При недостаточности этих приемов проводят оросительные или осушительные мелиорации, технологии которых отличаются от сельскохозяйственного производства и осуществляют их другие специалисты.

При функционировании металлургического или химического предприятия задача природопользователя — максимально сокращать вредные выбросы, загрязняющие природную среду, совершенствуя свои технологии производства, а задача природообустроителя — очистка загрязненных территорий: почв, вод, геологических пород. Очевидно, что металлург или химик заниматься этим не могут.

Отличия природопользования от природообустройства заключаются также в объекте и средстве труда. Например, в растениеводстве объект труда — культивируемое растение, а почва наряду с машинами, механизмами, удобрениями — средство труда. При мелиорации сельскохозяйственных земель основным объектом труда является почва, а насосы, каналы, дождевальные машины, дренажи — средствами труда.

Границу между природопользованием и природообустройством можно обозначить количественно, оценивая степень вмешательства человека в круговороты вещества и энергии. Например, указанные ранее водосохраняющие технологии богарного

земледелия в засушливых районах не приводят к увеличению общей обводненности территории, количество атмосферных осадков не меняется, а улучшается полезное использование влаги. При орошении в этих районах искусственная водоподача в 1,5...2 раза превышает осадки за лето. При осушении практически исключают приток поверхностных вод и сокращают приток подземных вод, значительно увеличивают дренированность, уменьшая общую природную обводненность на 10...20 % и более. Ориентировочно при природообустройстве человек изменяет круговороты более чем на 10 %.

Природообустройство нуждается в собственных научных и практических знаниях.

При природообустройстве очень важно четко обозначить объект этой деятельности. Это имеет не только методологическое, но и большое практическое значение. Воздействие на отдельные компоненты природы — это, в сущности, абстракция, ибо эти компоненты не автономны. Это только кажется плохому специалисту, что он может лишь что-то поменять, оставив все остальное неизменным. Построив плотину на реке, чтобы сделать ее судоходной, он не только изменил уровень воды на отдельном участке реки, но и повлиял на прилегающие земли, подтопив их, на температурный режим воды в реке и т. д. Полив почву, он не только изменил ее свойства и состояние, но и питание подземных вод, их отток в дрены, химизм подземных вод, изменил физико-механические свойства грунтов, свойства приземного слоя атмосферы.

При природообустройстве, равно как и при природопользовании, надо рассматривать целостные геосистемы, из которых состоят обустраиваемые земли. Конечно, в каждом конкретном случае можно выделить главный объект природообустройства — определенный компонент геосистемы, не забывая, что он тесно связан с другими. Например, при мелиорации сельскохозяйственных земель главный объект деятельности — почва как среда и средство для жизни растений. В других случаях это могут быть поверхностные или подземные воды, грунты как основания для сооружений и др.

Объектом природообустройства, как и природопользования, должна быть такая геосистема, в пределах которой непосредственно проявляются осуществляемые человеком преобразования для целей конкретного природопользования. При этом, исходя из наличия межсистемных связей, при проведении преобразований необходимо отслеживать ближние и дальние последствия, т. е. оценивать влияние работ по природообустройству и природопользованию на соседние геосистемы.

Помимо обустройства природы человек осуществляет *инженерное обустройство территорий* перед их использованием: создает

транспортные коммуникации, системы энергоснабжения, связи, водоснабжения и т. п.

Природопользование может быть и экстенсивным — охота, ограниченное скотоводство, рыболовство, выборочная рубка леса; при таком природопользовании природообустройство практически не нужно. По мере интенсификации природопользования возрастают потребности в природообустройстве: становятся более жесткими требования растений к факторам и условиям жизни, к диапазону и точности их регулирования, что заставляет применять новые технологии природообустройства, возрастают требования к количеству и качеству других ресурсов, увеличивается антропогенная нагрузка на природные системы, вызывая рост объемов работ по восстановлению нарушенных компонентов природы, безопасному хранению отходов. Ужесточаются требования к противостихийным мероприятиям — их надежности.

Природообустройство — один из важных элементов национальной безопасности страны, характеризующей состояние защищенности жизни, здоровья, прав человека, интересов и ценностей общества и государства от различных ущербов.

Национальная безопасность складывается из экономической (финансовой, природоресурсной, энергетической), экологической (защищенность от природных стихий, от негативных последствий деятельности человека), социальной (продовольственной, в сфере здравоохранения, в сфере прав человека), политической (внутри- и внешнеполитической, военной), информационной. Очевидно, что легче предотвращать состояние опасности, чем бороться с ним. Природообустройство ставит перед собой прямые задачи, имеющие отношение к природоресурсной, энергетической, продовольственной безопасности, безопасности в сфере прав человека, экологии и здравоохранения.

1.3. ПРИНЦИПЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Человек накопил большой опыт в природопользовании, применении отдельных приемов природообустройства, но необходимы познание общих закономерностей этих видов деятельности, выработка общих принципов, обеспечивающих гармоничное развитие природных систем и человеческого общества, т. е. коэволюцию. Именно широкомасштабность природопользования вызвала тревогу общества, поэтому потребовалось принять определенные ограничения как при использовании природных ресурсов, так и при переустройстве природы, что отражено в известном правиле

эколого-экономического восприятия Дж. М. Стайкса, включающем четыре стадии: вначале ни разговоров, ни действий; затем разговоры, но бездействие; далее разговоры, начало действий; и наконец, решительные действия.

По-видимому, Россия сейчас находится на третьей стадии, более развитые страны вступили уже в четвертую стадию.

Н. Ф. Реймерс предложил следующую схему экономико-экологических общественных отношений, также состоящую из четырех этапов:

экономическое развитие при отсутствии экологических ограничений;

возникновение экологических ограничений;

доминанта охраны среды с экологическими и технологическими ограничениями;

все ради выживания.

По этой схеме Россия находится где-то между вторым и третьим этапами, в нашем общественном сознании и в политике государства отмечаются признаки управляемой хозяйственной деятельности, подкрепляемой правовыми документами, исполнение которых еще неудовлетворительное.

Под принципом будем понимать основное, исходное положение какой-нибудь теории, учения, науки. Например, известны основные принципы (законы) земледелия:

незаменимости и равнозначности факторов жизни растений;

оптимама: каждый фактор имеет оптимальное для продуктивности растений значение;

совокупности действия факторов: максимальная продуктивность имеет место, когда все факторы в оптимуме;

соответствия: оптимальное значение фактора меняется по мере развития растения;

возврата в почву питательных веществ;

плодосмена.

Эти давно сформулированные принципы отражают прежде всего желание обеспечить максимальную продуктивность сельскохозяйственных культур и практически не принимают во внимание сохранение природы, в частности плодородия почв, и поэтому не являются полными. Принципы природопользования и природообустройства должны быть более полными, всесторонними, иметь общий характер, а главное, обеспечить природоохранную составляющую этой деятельности.

По своей сути природообустройство тесно связано с природопользованием, ориентировано на его особенности; эффективность и экологическая безопасность природообустройства во многом зависят от правильно выбранного вида природопользования. Поэтому принципы природообустройства должны содержать много мо-

ментов, относящихся к оптимизации природопользования, направленной на охрану природы.

В теории рационального природопользования отражены следующие принципиальные положения:

знания о природе и природопользовании должны быть глобальными, а действия — локальными;

у природы нельзя брать того, без чего можно обойтись;

жизненное пространство нужно не отвоевывать у природной экосистемы, а создавать;

природу нужно не покорять, а с ней сотрудничать;

любой биотический элемент экосистемы имеет такие же «права на ресурсы», как и человек;

при взаимоотношениях человека с природой он должен поступать так, чтобы ему не было стыдно за свои действия (нравственное природопользование); использовать природные ресурсы может только нравственный человек;

вторичное использование ресурса эффективно и нравственно, оно должно всячески поощряться.

Рациональное природопользование направлено на обеспечение условий существования человечества и получение материальных благ, на эффективное использование каждого природного территориального комплекса, на предотвращение или максимальное снижение возможных вредных последствий процессов производства или других видов человеческой деятельности, на поддержание и повышение продуктивности и привлекательности природы, обеспечение и регулирование экономического освоения ее ресурсов.

Составные части рационального природопользования — охрана, освоение и преобразование природы, восстановление нарушенных компонентов природы, восполнение природных ресурсов. Они проявляются в различных формах по отношению к различным типам природных ресурсов. При использовании практически неисчерпаемых ресурсов (энергия солнечного и подземного тепла, приливов и отливов и т. п.) рациональность природопользования характеризуется прежде всего наименьшими эксплуатационными расходами, наибольшими коэффициентами полезного действия добывающих производств и установок. Для ресурсов исчерпаемых и при этом невозобновимых (например, минеральных) важны комплексность и экономичность добычи, сокращение отходов и т. п. Извлекаемость многих ресурсов редко превышает 50 %, что приводит к расширению площади разрабатываемых месторождений, к дополнительному нарушению и загрязнению окружающей среды, уменьшает запасы ресурса, увеличивает объем отходов, содержащих в невысоких концентрациях полезные для человека вещества.

Охрана ресурсов, восполняемых в ходе использования, должна быть направлена на поддержание их продуктивности и ресурсооборота, а эксплуатация должна обеспечивать их экономичную комплексную и безотходную добычу и сопровождаться мероприятиями по предотвращению ущерба смежным видам ресурсов и окружающей среде в целом. Показательной является недостаточная эффективность использования водных ресурсов для водоснабжения и ирригации, потери очень ценной пресной воды в таких системах составляют 30...40 % забранной. Эти потери не только бесполезны и уменьшают объем ресурса, но и вредны, так как даже пресная вода в избыточном количестве в природных системах является своеобразным загрязнителем, поскольку ее избыток приводит к негативным последствиям: подъему уровня грунтовых вод, к заболачиванию, снижению плодородия почв, к угнетению роста и развития растений и полезной микрофлоры. Отсюда — значимость технического прогресса в отраслях природопользования и природообустройства, совершенствования управления технологическими процессами.

Рационализации природопользования можно добиться, разумно сокращая потребление в антропогенных экосистемах, а также путем селекции животных и растений для получения видов с широким диапазоном саморегулирования, т. е. экономно использующих природный ресурс, а также увеличивая тот или иной ресурс с помощью природообустройства, придания нового качества ресурсу. Например, недостаток плодородных земельных ресурсов может быть восполнен с помощью мелиорации земель, а недостаток тепловых ресурсов для растений — с помощью размещения их на «теплых» южных склонах, либо искусственного подогрева почвы, либо выращивая растения в теплицах.

Человек как биологическое существо несомненно принадлежит биосфере, на протяжении многих лет он вел себя во многом как животное, т. е. не использовал свой разум для рационализации своих отношений с природой. Это привело к существующему экологическому кризису. Основное качество человека, отличающее его от животного, — способность мыслить, что в той или иной степени наблюдается и у животных, но человек имеет такие нравственные качества, как стыд, совесть, боль за «ближнего» и др. Поэтому как существо нравственное человек должен «стоять над биосферой» для помощи живому и исправления ошибок всех поколений людей в отношениях с природой. Из этого следует, что природопользование должно быть не только рациональным, т. е. экономным, экологически безопасным, но и нравственным.

При формулировании принципов рационального природопользования и природообустройства использованы работы Н. Ф. Реймерса, разработки кафедры философии и кафедры мелиорации и

рекультивации земель Московского государственного университета природообустройства (МГУП):

принцип целостности природных объектов, подвергающихся обустройству или использованию, которые надо рассматривать как единые геосистемы; объектом природопользования и природообустройства должен быть не отдельный ресурс или компонент природы (поверхностные или подземные воды, почва, растение) и не произвольно выбранная территория (поле севооборота, земли отдельного хозяйства), а геосистема, занятая переустраиваемыми землями и включающая взаимообусловленный набор компонентов природы, развивающихся как единое целое (фация, урочище, местность, ландшафт или их совокупность, речной водосбор, имеющие естественные границы). Такой подход позволяет объективно вычленять территорию, где осуществляют ресурсопользование и проводят обустройство, наиболее полно учесть все связи между компонентами природы, их взаимовлияние, отследить дальние экологические последствия;

принцип сбалансированности хозяйственной деятельности на обустроенной территории с ресурсными и экологическими возможностями природных систем: например, выращивание сельскохозяйственных культур, наиболее соответствующих местным климатическим ресурсам, применение соответствующих систем земледелия, использование технологий природопользования, наиболее органично вписывающихся в функционирование природных систем; этим достигается уменьшение нужды в обустройстве природы, следовательно, вмешательство в природу будет меньше, а пользование ресурсом — дешевле;

принцип природных аналогий, т. е. применение направлений и технологий ресурсопользования и природообустройства, которые по возможности воспроизводят естественные процессы функционирования компонентов природы; например, если черноземные почвы исторически сформировались при увлажнении ливневыми дождями, то и полив их должен быть в виде искусственного дождя, рис же лучше выращивать на пойменных землях и поливать затоплением, так как это соответствует и его изначальным биологическим особенностям, и почвы, на которых он растет, также сформировались при длительном затоплении водами рек или при обильных муссонных дождях; если естественный отток избыточной воды с территории обычно происходит в виде комбинации поверхностного и подземного стока, то и искусственный дренаж территории должен сочетать оба этих способа. Этот принцип созвучен с правилом «мягкого» управления природой в противовес «жесткому». Выполняя этот принцип, можно добиться экосовместимости техники и технологий с природой, наносящих минимальный ущерб окружающей среде;

принцип необходимого разнообразия: квазиприродная система, создаваемая человеком при ресурсопользовании, должна быть возможно максимально разнообразна по своему составу (севообороты, плодосмен, сохранение естественных биogeоценозов на части площади, достаточная экологическая инфраструктура). Это подтверждается «правилом монокультуры» Ю. Одума, согласно которому созданные человеком монокультуры неустойчивы по своей природе; управляющая техногенная система тогда может успешно справиться со своей функцией, когда она будет устроена так же разнообразно, как и управляемая квазиприродная система; например, гидромелиоративная система, созданная человеком для управления водным режимом почвы, должна быть настолько разнообразна, насколько разнообразны условия формирования водного режима в разных частях конкретной геосистемы (разные типы водного питания при осушении, разная потребность в орошении). Этот принцип обосновывает, в частности, необходимость применения комплексных мелиораций, т. е. одновременного регулирования нескольких факторов, формирующих плодородие почвы и продуктивность возделываемых растений, а также сочетания разных приемов мелиорации на разных частях переустраиваемой территории;

принцип адекватности воздействий: управление квазиприродными системами необходимо строить на основе прямых и обратных связей, т. е. оборудовать техногенные системы средствами получения и обработки информации о состоянии природных систем (о развитии культивируемых растений, состоянии почвы, ее влажности, количестве доступных элементов питания; об осадках, испарении, притоке воды к водохранилищу, о водозаборе — при регулировании стока и т. п.), а также блоками по выработке управляющих сигналов и их реализации в зависимости от меняющейся во времени ситуации — это очень важно для управления природными процессами, происходящими при сильной изменчивости и слабой предсказуемости погодных условий;

принцип гармонизации круговоротов: нахождение наилучшего сочетания антропогенного и природного круговоротов веществ и энергии; человек, вмешиваясь в природные процессы, изменяет естественные и создает новые круговороты: например, природа часто выводит из геохимического круговорота токсичные вещества, соли, «захоранивает» их в глубоких пластах или в полузамкнутых геологических образованиях, а человек, интенсифицируя круговорот воды орошением и дренажем, «распечатывает эти склады», что может приводить к засолению почв, загрязнению речных вод;

принцип предсказуемости: природопользование и природообустройство должны опираться как на достоверные количественные

долголетние прогнозы изменения функционирования природных систем под действием управляющих воздействий, так и на прогнозы изменения экономической и социальной обстановки. Этому соответствует принцип «обманчивого благополучия», когда первые успехи от преобразования природы и природопользования могут в последующем измениться на неблагоприятные; для объективной оценки мероприятий нужны годы;

принцип одновременной эффективности и безопасности (не навреди!): эффективность может быть экономической — как результативность обустройства природы и последующего природопользования, соотношения между результатами хозяйственной деятельности и затратами труда; она характеризуется производительностью труда, фондоотдачей и материалоемкостью продукции, т. е. количеством исходных ресурсов, которые расходуются на тот или иной вид продукции: чем меньше материалоемкость, тем более рационально используются природные ресурсы (например, изделия, сделанные из вторичного сырья, менее материалоемки, т. е. экономят природные ресурсы).

Социальная эффективность характеризует уровень жизни населения, его здоровье, объем получаемых услуг (отдых, образование, воспитание).

Экологическая эффективность измеряется качеством среды жизни человека и биоты в целом, устойчивостью среды жизни; природопользование и природообустройство не должны наносить вред человеку, биоте и окружающей среде, в противном случае негативные последствия должны быть компенсированы или устранены (загрязняющий платит). Безопасности природопользования и природообустройства можно достичь, соблюдая меру преобразования природных систем (Н. Ф. Реймерс): устанавливая допустимую распашку земель, объемы и площадь орошения, степень осушения, химическую нагрузку на природу, площадь затопления при строительстве крупных водохранилищ и т. п.;

принцип комплексности природообустройства и природопользования: гораздо эффективнее всестороннее использование природного объекта, всех его полезностей, например рек — для водоснабжения, энергетики, судоходства, рыбозаведения, отдыха, приема очищенных сточных вод, или лесов с глубокой переработкой всей древесины, или полезных ископаемых с полным извлечением всех полезных веществ. Комплексные мелиорации впервые предложены на кафедре мелиорации МГУП (С. Ф. Аверьянов, В. В. Шабанов). Это одновременное регулирование нескольких факторов, формирующих плодородие почвы и продуктивности возделываемых растений, применение всех доступных способов мелиорации (см. также комплексное обустройство территорий, разд. 12). Поми-

мо этого многие природные объекты выполняют несколько разных функций: социально-экономические, экологические, природоохранные. Поэтому комплексность природообустройства заключается и в одновременной поддержке различных функций. Например, главным объектом мелиорации и рекультивации сельскохозяйственных земель является почва. Для человека она важна своим плодородием, это ее важная социально-экономическая функция. Одновременно почва выполняет ряд важнейших экологических функций: обладает защитными природоохранными свойствами, т. е. способна задерживать, связывать, разрушать вредные вещества, предохраняя другие компоненты природы от загрязнения; она качественно и количественно регулирует питание подземных вод, активно формирует поверхностный сток, оптимизируя соотношение поверхностного и подземного стока. На это обстоятельство обратил внимание И. П. Айдаров. Именно почва создала два механизма стока избыточных вод с водосбора в реки, отличающихся в сто тысяч раз по скорости (поверхностные потоки имеют скорость доли метра в секунду, а подземные — в сутки);

принцип нравственности, предложенный профессором В. В. Шабановым: безопасность природообустройства и природопользования с первого взгляда можно обеспечить соответствующими правилами, юридическими нормами (кодексами, законами, штрафами, поощрениями), но этого недостаточно, особенно в сфере воспитания, образования. Все больше ученых считают, что таким критерием самоконтроля деятельности человека может быть нравственность — один из самых важных факторов личной жизни, общественного развития и исторического прогресса. Она заключается в добровольном самодеятельном согласовании чувств, стремлений и действий членов общества с чувствами, стремлениями и действиями сограждан, их интересами и достоинством, с «интересами и достоинством» всего биотического сообщества, а также с косной природой в целом. По Канту, нравственность — чувство некоторой ощущаемой зависимости частной воли от общей воли. Принцип нравственности можно сформулировать как внутреннюю установку человека делать добро и не делать зла для природы в целом. В соответствии с этим нравственное природообустройство и природопользование можно рассматривать как систему взаимоотношений человека и природы, при которой человеку не бывает стыдно за свои действия;

принцип интеграции знаний: природопользование и природообустройство должны иметь свою собственную научную базу, которая использует знания наук о природе, социально-экономических наук и прикладных наук, обосновывающих инженерно-технические мероприятия, вместе с тем эти виды деятельности, синтезируя знания других наук, создают свои собственные знания (закон уве-

личения наукоемкости природопользования и природообустройства, по Н. Ф. Реймерсу).

Сама логика развития человеческого общества ставит перед ним принципиально новые задачи, приводит к появлению новых наук, необходимости в новых специальностях, внесению новых компонентов в воспитание и образование человека. Этим как раз и объясняется необходимость создания общей теории природопользования и природообустройства, выработки новых технологий ресурсопользования и обустройства. Перечисленные принципы должны реализовываться при обосновании методов и способов природообустройства на конкретных территориях.

Сформулированные принципы природопользования и природообустройства во многом основаны на законах экологии — это видно из сравнения принципов с законами Б. Коммонера, высказанными им в афористичной форме:

- природа знает лучше — принцип природных аналогий;
- все связано со всем — принцип целостности;
- все должно куда-то деваться — принцип безопасности;
- ничто не дается даром — принцип сбалансированности и эффективности.

Контрольные вопросы и задания. 1. В чем причины современного экологического кризиса? 2. Каковы формы отношений человека и природы? 3. Что такое природа? 4. Расскажите о геосферах Земли и компонентах геосистем. 5. Назовите составные части окружающей среды. 6. В чем связь и различие природопользования и природообустройства? 7. Перечислите объекты природопользования и природообустройства. 8. Что такое природный объект и природный ресурс? 9. Каковы цели природопользования и природообустройства? 10. Перечислите принципы природообустройства и рационального природопользования.

2. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ПРИРОДООБУСТРОЙСТВЕ

Окружающую человека среду, как уже было отмечено, можно представить в виде четырех взаимосвязанных подсистем: собственно природной среды, квазиприродной, артеприродной и социальной среды. При изучении этих сред, создании и управлении ими, что является содержанием природообустройства, используют системный подход и теорию больших систем.

Системный анализ часто применяют при исследовании систем, возникших при участии человека и существующих при активном его воздействии. Он рассматривает проблему создания и управления такими системами как нечто целое; при этом необходимо определить цели как всей системы, так и отдельных подсистем, очертить множество альтернативных путей достижения этих целей и в соответствии с некоторыми критериями выбрать наиболее эффективный. Очень часто системный анализ использует модели-

рование рассматриваемых систем как наиболее эффективное средство, во-первых, для изучения сложных объектов, а во-вторых, для прогнозирования поведения систем с учетом различных сценариев управления и других воздействий. Системный анализ опирается на системный подход и общую теорию систем.

Для использования системного подхода нужно определиться с понятием системы, рассмотреть ее свойства и законы системного поведения. В переводе с греческого *systema* — составленное из частей, соединенное. Существует много определений системы. Их анализ показывает, что это совокупность частей, элементов (однородных или разнородных, материальных или концептуальных), которые находятся в связи, взаимодействии, взаимовлиянии и образуют некую целостность, единство. За счет таких связей система приобретает свойства, которых не имеют отдельные составляющие. Можно сказать, что *система* — реальная или мыслимая совокупность частей, целостные свойства которой определяются взаимодействием между элементами системы.

Итак, внимание исследователя должно быть сосредоточено на элементах (частях, подсистемах) — как, например, ограждающая, регулирующая, проводящая сети осушительной системы или генетические горизонты в почве. Кроме элементов нужно рассматривать и взаимодействия между ними: например, в осушительной сети — взаимное расположение и соединение осушителей или дрен, коллекторов и каналов; в почве — потоки вещества (влаги, солей, питательных веществ), энергии и информации. Такой анализ позволит описать и изучить свойства и поведение системы в целом.

Постулаты теории систем. Теория систем и системный анализ опираются на ряд предпосылок, постулатов. Их можно сформулировать в следующем виде.

1. Все — система. Постулат гласит, что реальные и концептуальные сложные объекты можно рассматривать как состоящие из большого числа сложно и разнообразно связанных и взаимодействующих частей — другими словами, как системы. Это позволяет применять специальные научные методы для их изучения и создавать методы управления ими с помощью системного анализа.

2. Все — часть еще большей системы. Недостаточно изучать только внутреннее строение систем, поскольку каждая система является подсистемой более крупного объекта. Внешние связи системы раскрывают ее иерархическое положение, взаимодействие с другими системами. Знание внешних связей позволяет объяснять и предсказывать распространение воздействий из подсистемы в надсистему, что крайне важно при решении задач природообустройства.

3. Вселенная бесконечно систематизирована. Каждая система не только входит в состав более крупной надсистемы, но сама состоит из подсистем. Постулат указывает, что при изучении системы следует четко представлять свойства ее подсистем, влияющие на их функционирование.

4. Все системы бесконечно сложны. Сложность системы зависит от числа входящих в нее элементов и связей между ними. Но при анализе системы мы выделяем элементы по своему усмотрению так, чтобы можно было установить связи между ними и их число было не слишком велико. В полной системе число связей между элементами равно числу сочетаний из N по два, где N — число элементов. Так, два элемента имеют 1 связь, три — уже 3 связи, десять — 45 связей и т. д. При составлении математической модели каждая связь — это соотношение того или иного вида (равенство, неравенство, уравнение, статистическая связь), очень часто — сложного вида и обладающее существенной нелинейностью. Понятно, что чем больше система, тем сложнее ее анализировать. Поэтому при изучении систем строят обобщенные модели, состоящие из возможно меньшего числа элементов, но не приводящего к заметному снижению точности и прогностичности модели (такие модели называют оптимально сложными). Нельзя забывать, что в данном случае исследователь имеет дело лишь с более или менее адекватным подобием реального объекта.

Понятие больших систем возникло как выражение системного подхода к постановке и решению задач управления, свойственного кибернетике. Оно введено не с целью классификации систем (деления их на «большие» и «небольшие»), а чтобы выделить способ рассмотрения поведения управляемых систем большого масштаба с учетом всего многообразия протекающих в них явлений. Характерные особенности больших систем: наличие выделяемых частей (управляемых подсистем); участие в системе людей, машин и природной среды; наличие материальных, энергетических и информационных связей между частями систем, а также связей между рассматриваемой и другими системами.

При системном подходе используют методы, которые учитывают тесную взаимосвязь между большим числом факторов, определяющих поведение рассматриваемой системы; учитывается большая или меньшая неопределенность поведения системы в целом и отдельных ее частей как результат действия случайных факторов и участия в системе людей; принимают во внимание взаимовлияние системы и окружающей ее среды; учитывают изменения во времени свойств системы и внешней среды. Такой подход эффективен при изучении систем природообустройства, для которых традиционные методы, основанные на поочередном изучении отдельных черт системы или отдельных явлений или на

далеко идущем упрощении объекта рассмотрения, не дают результатов.

В общей теории больших систем рассматривают следующие проблемы:

языка, состоящую в формировании системы понятий, необходимых и достаточных для обсуждения вопросов, относящихся к большим системам, и для описания выявленных фактов и закономерностей, поскольку любое научное направление не может существовать и развиваться без языка, в терминах которого формулируются его идеи и методы (см. принцип интеграции знаний);

модели, включающую все задачи построения идеализированных (упрощенных) моделей реальных систем, пригодных для теоретического и экспериментального изучения их свойств. Основные задачи здесь сводятся к замене реальных систем, исследовать которые невозможно вследствие их большой сложности, системами более простыми и доступными для теоретических исследований. Главная трудность заключается в том, что создаваемые модели должны быть достаточно сложными, чтобы их свойства соответствовали свойствам оригиналов, и в то же время настолько простыми, чтобы их можно было описать и решать нужные задачи, пользуясь составленными описаниями. Это в полной мере относится к проблеме моделирования природных процессов при обустройстве природы;

декомпозиции — расчленения исходной системы на относительно обособленные части. Задача управления большой системой существенно упрощается, если представить ее в виде некоторого множества задач управления частями системы. Однако при этом приходится преодолевать трудности, связанные с выбором способа декомпозиции, который обеспечивал бы необходимое упрощение процедуры решения, но не вызывал бы слишком больших погрешностей из-за отбрасывания некоторых связей при расчленении системы на части. Например, на действующей оросительной системе функционируют чисто гидротехническая система водоподводящих, регулирующих, отводящих элементов, биотическая система в виде посевов сельскохозяйственных растений, хозяйствующая система как сельскохозяйственное предприятие;

агрегирования — объединения нескольких показателей одним, сводным, с целью упрощения решения задач управления большими системами; так же как и декомпозиция, имеет целью преодоление «барьера многомерности». Она заключается в выборе такого объединения показателей, которое существенно облегчило бы решение задач управления, но не приводило бы к недопустимым ошибкам, возникающим из-за уменьшения детальности описания системы. Например, при выборе расчетного года, определяющего

мощность оросительной системы, надо учитывать весеннее увлажнение, количество летних осадков, суммарное испарение, формирующие оросительную норму. Оценки года по отдельным показателям могут не совпадать, и только интегральный показатель, в данном случае сама оросительная норма, характеризует год во всем его многообразии;

стратегии — выбора способа оценки состояния системы и среды, выработки программы управляющих воздействий, обеспечивающей наилучшее достижение целей управления. Главные трудности в формировании стратегии управления связаны с необходимостью прогнозирования изменений системы и среды, которое принципиально не может быть точным. В природообустройстве главной трудностью является выработка стратегии управления на длительные отрезки времени в условиях большой изменчивости погодных условий: как организовать опорожнение и заполнение водохранилища, своевременно включать и выключать насосные станции, дождевальные машины, если сразу после полива пойдет дождь, и т. п. (см. принцип предсказуемости).

Наряду с перечисленными фундаментальными проблемами возникают прикладные функциональные и операционные задачи. К функциональным задачам относятся мероприятия, обеспечивающие выполнение системой ее назначения и поддержание ее работоспособности, развитие системы. Операционные задачи — планирование технологических операций, управление потоками вещества в технических системах.

Управление системами природообустройства основывается на совместном участии в процессе людей и технических средств, основу которых составляют ЭВМ и средства сбора, передачи, представления и хранения информации. Управленческий персонал вместе с техническими средствами образует автоматизированную систему управления, которая выполняет следующие функции: информационно-справочную, планирования, учета, отчетности, оперативного управления, управления ресурсами и запасами. При этом выполнение формализуемых операций возлагают на ЭВМ, а решения на основе неформальных методов принимают руководители (см. принцип адекватности воздействий).

Управление системами производства продукции на обустроенных землях осуществляют, как правило, на основе иерархической системы, высший орган которой управляет несколькими подразделениями низшей ступени, каждой из которых, в свою очередь, подчинены подразделения еще более низкой ступени, и т. д. Такая структура управления позволяет использовать преимущества централизованных и децентрализованных систем и в значительной степени освободиться от их недостатков. Характерная особенность ее — слияние систем управления технологическими процес-

сами и систем организационного управления в объединенные системы управления, в которых информация и технические средства используются наиболее эффективно и экономно.

2.1. ГЕОСИСТЕМЫ (ЛАНДШАФТЫ) КАК ОБЪЕКТЫ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Одна из фундаментальных проблем природообустройства, как и природопользования, — как встроиться человеку своей деятельностью в единое природное тело, которое необходимо выделить. Гидрологи делят поверхность суши на речные бассейны; геологи — на платформы, горные страны, синклинали, антиклинали; гидрогеологи — на бассейны подземных вод; почвоведы — на почвенные зоны, страны, области; геоботаники — на биоценозы. Примеров членения территории или ее районирования можно привести много. Их всех отличает субъективность, при этом учитываются не все связи между компонентами природы, хотя для решения частных задач такое районирование полезно.

Наиболее объективно эту проблему можно разрешить с помощью географических наук, которые в отличие от других изучают природу в целом, а не отдельные ее составляющие (почвоведение, геология, гидрология, климатология и др.).

Другая проблема — изучение новых, отсутствовавших в природе техноприродных или квазиприродных систем, познание законов их создания, функционирования, развития и управления ими.

Географам удалось в последние десятилетия построить довольно стройную теорию членения Земли на генетически однородные объекты разной крупности. Для этого они ввели понятие *геосистема* — как пространственно-временной комплекс (полная система!) всех компонентов природы, взаимообусловленных в своем размещении и развивающихся как единое целое.

Согласно этой теории планета Земля представляется как глобальная геосистема — эпигеосфера, т.е. природный комплекс, возникающий в слое взаимодействия и взаимопроникновения литосферы, гидросферы и атмосферы и сформировавшийся под воздействием солнечной энергии и органической жизни. Обычно в географическую оболочку включают 10...12-километровую толщу атмосферы, всю гидросферу и 4...5-километровый слой литосферы. В местах благоприятных сочетаний указанных компонентов в нее входит и очень специфическое природное тело — почва как продукт эволюции наружных слоев литосферы под действием живых и мертвых организмов. Суша глобальной геосистемы Земля состоит из ландшафтных зон, те, в свою очередь, из ландшафтных стран, далее следуют ландшафтные области, провинции, округа и

собственно ландшафты, которые делят на местности, а их — на урочища и далее на фации. От иерархического уровня геосистемы зависят ее внутренняя неоднородность, разнообразие, устойчивость, изменчивость. Наиболее изменчивы наименьшие геосистемы — фации.

Ранее уже отмечалось, что геосистемный подход к природообустройству более полный, чем экосистемный.

Вся суша представляется в виде совокупности ландшафтов. Под *ландшафтом* понимают генетически единую геосистему, однородную по зональным и азональным признакам и включающую специфический набор локальных геосистем: местностей, урочищ, фаций.

Понятие «ландшафт» имеет не только природоведческую, но и потребительскую ценность, так как ландшафт — это наименьшая территориальная единица, сохраняющая все типичные для данной зоны черты строения географической оболочки, в нем сочетаются и региональные, и локальные особенности природы, полно представлен характерный местный комплекс природных факторов, условий жизни и деятельности людей.

Ландшафт имеет однородный геологический фундамент, определенный состав горных пород, один генетический тип рельефа, единый местный климат и, как следствие, один зональный тип и подтип почв. В то же время части ландшафта располагаются на разных формах и элементах рельефа, отличаются друг от друга микроклиматическими условиями, водным режимом, растительным покровом, что приводит к образованию разновидностей почв, появлению азональных почв (пойменных, болотных, засоленных). Таким образом, каждому ландшафту свойствен такой набор компонентов и такое внутреннее строение, что делает каждый ландшафт в целом уникальным, имеющим много индивидуальных черт.

Ландшафты в зависимости от их местонахождения, сочетания свойств компонентов природы объединяют в типы, подтипы, классы, подклассы, виды. Тип ландшафта — наиболее крупная таксономическая единица, определяемая соотношением естественной обеспеченности теплом и влагой. Именно это соотношение предопределяет многие показатели функционирования ландшафта, его продуктивность, т. е. продуцирование биомассы. Человек может в широких пределах изменять влагообеспеченность ландшафтов, в несколько меньших — теплообеспеченность, регулируя тем самым его функционирование и производительность.

У ландшафта имеются природные, естественные границы, что позволяет составлять ландшафтные карты. Например, ученые географического факультета МГУ составили в 1987 г. ландшафтную карту Московской области в масштабе 1 : 600 000. Здесь на площа-

ди 46 000 км² (без Москвы) выделено 103 ландшафта. В среднем площадь одного ландшафта составляет около 450 км²; заметим, что средняя площадь одного колхоза или совхоза в Московской области была около 40 км², т. е. на территории одного ландшафта могут разместиться более десяти крупных хозяйств. На менее расчлененных территориях площадь одного ландшафта может достигать 1,5...2 тыс. км². Помимо сельскохозяйственных на каждом ландшафте расположены и другие земли: лесного и водного фондов, поселений, индустриальные, что усложняет преобразование ландшафтов, зато видно объективное взаимовлияние использования различных земель. Следовательно, ландшафт — это крупный выдел территории, который обладает индивидуальностью, единым происхождением, имеет сложную структуру, состоит из нескольких местностей, урочищ, фаций, всегда выполняет несколько социально-экономических и экологических функций: иными словами, на нем расположены земли разного назначения. Это обстоятельство значительно усложняет взаимоотношения человека и ландшафта, делает их многозначными и порой противоречивыми.

2.2. СВОЙСТВА ГЕОСИСТЕМ

Геосистемы как разновидность больших систем обладают общесистемными свойствами, а также особыми свойствами, присущими только им.

Общесистемные свойства. Они характерны для всех известных сложных объектов, которые называют системами, а также проявляются в природных и квазиприродных системах.

Целостность (эмерджентность). Это способность систем проявлять полностью свои свойства только при взаимодействии элементов; это важнейшее свойство, наличие которого, согласно определению, позволяет отнести объект к системам. Оно означает, что систему невозможно познать, изучая лишь составные части и не учитывая взаимодействия между ними. Распространяя свойство целостности на геосистемы, отметим, что их нужно рассматривать как совокупности взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов: компонентов природы или подсистем более низкого ранга. Так, невозможно достоверно судить о процессах в почве, не учитывая особенностей функционирования ландшафта в целом. С другой стороны, относительно замкнутые круговороты веществ на уровне ландшафта невозможно изучать, не имея информации о региональных и глобальных процессах.

Сложность. Свойство характеризуется числом элементов или возможных состояний системы. Важно понимать, что в соответствии с принципом «Вселенная бесконечно систематизирова-

на» можно представлять систему, состоящую из элементов различных уровней существования материи, вплоть до атомного, элементарного и даже кваркового. В таком случае во всех природных системах число элементов очень велико. Но также важно помнить, что при изучении геосистем нужно оставаться на уровне изучения процессов, значимых для ландшафта, местности, урочища, фации, поэтому рассматривают уже укрупненные элементы — природные тела: потоки атмосферного воздуха, почву и ее горизонты, водные объекты, фитоценозы, популяции животных и колонии микроорганизмов, грунты и гидрогеологические системы. При моделировании стараются рассматривать по возможности меньшее число элементов. Наиболее рациональный путь упрощения модели — выделение и описание взаимодействия между подсистемами, включающими в себя множество элементов. Важная для природообустройства система «почва — вода — атмосфера — растение» состоит из четырех подсистем, каждую из которых можно описывать более или менее сложной моделью в зависимости от поставленных задач.

Разнообразие. Система жизнеспособна только тогда, когда состоит из разнообразных элементов и связей. Минимальное число разных элементов — два (плюс и минус, северный и южный магнитные полюса, мужской и женский пол). В геосистемах это свойство выражается в *неоднородности* и *изменчивости* свойств компонентов природы в пространстве [которые могут быть детерминированными (упорядоченными), тогда можно говорить о выделении контуров, о трендах, следовательно, о картировании неоднородностей, и стохастическими (случайными), т. е. когда какое-то свойство (плотность, пористость, коэффициент теплопроводности и т. п.) меняется из точки в точку, не подчиняясь какой-либо функциональной закономерности]. Внутренняя неоднородность и изменчивость свойств повышают устойчивость геосистемы, но затрудняют принятие технических решений, так как регулярное воздействие на среду со случайными параметрами приводит к стохастическим, вероятностным результатам; например, поле поливают одной нормой, а влажность в разных его частях может после полива отличаться на 10...20 %, случайная неоднородность усложняет текущие наблюдения (мониторинг), для репрезентативности их надо проводить в нескольких точках.

Структурность. Она характеризует организацию системы. Степень развития структуры является отражением сложности системы и разнообразия ее элементов, а также видов связей элементов между собой. В геосистемах структурность выражается в виде пространственно-временной упорядоченности (организованности), определенным расположением частей и порядком их соединения; различают вертикальную, или ярусную, структуру, ука-

зывающую на взаиморасположение компонентов, и горизонтальную, или латеральную, структуру, раскрывающую порядок расположения геосистем низшего ранга, поэтому нужно рассматривать как вертикальные, или межкомпонентные, связи, так и горизонтальные, или межсистемные, связи. Система без выраженной структуры неустойчива и подвержена случайным воздействиям, которые ее «расшатывают». Так ведет себя песчаная дюна, перемещаемая ветром. Система со сложной жесткой структурой устойчива, но не способна развиваться и усложняться. Оросительная система, состоящая из насосной станции, трубопроводов, дождевальной техники, выдерживает нормальные эксплуатационные нагрузки, но самовосстанавливаться она не может и уж тем более не может самопроизвольно за счет внутренних факторов превратиться во что-то более совершенное. Системы со средневыраженной структурой занимают промежуточное положение; они обладают достаточной устойчивостью, но способны изменяться в некоторых пределах, а иногда и перестраиваться в другие системы со своей устойчивостью. Так, пожарище со временем превращается в луг, а он сменяется лесом. При создании квазиприродных и артеприродных систем разрушаются ранее существовавшие природные структуры и в них вносятся новые структуры, что делает их более «жесткими» и может снизить способность к развитию и адаптации. Природные структуры упрощаются человеком (монокультура взамен лугового разнотравья, планировка поверхности и ликвидация микрорельефа), системы становятся менее устойчивыми из-за меньшего разнообразия.

Четыре отмеченных свойства характерны для всех систем — от природных до политических. На этих свойствах основаны принципы целостности и необходимого разнообразия, которые позволяют создавать оптимальные техногенные подсистемы природообустройства с учетом наиболее общих закономерностей теории систем.

Свойства динамических систем. В природных системах связи имеют характер потоков вещества, энергии и информации. Это означает, что один элемент системы, например биота, влияет на другой (почву, гидросферу и пр.) не с помощью рычага или шестеренки, а с помощью движущихся в пространстве и времени веществ, энергии, а часто и информации (изменение излучения Солнца передает живым организмам информацию о природных циклических изменениях). Все такие системы называют динамическими, для них характерны следующие свойства.

Ф у н к ц и о н и р о в а н и е. Внутри динамических систем (к ним относятся и геосистемы) идут интегральные, взаимосвязанные и взаимовлияющие непрерывные процессы обмена вещества, энергии и информации и их преобразования, которые совершенно условно, для нужд частных наук о природе, человек подразде-

ляет на отдельные составляющие: физические, химические, биологические и т. д. В последнее время наметилась тенденция совместного рассмотрения некоторых процессов: геохимических, гидрофизических, биохимических и др.

Природообустройство ставит перед собой задачу управления потоками вещества и энергии в природе и гармонизации круговоротов, т. е. нахождения такого оптимального уровня воздействия, который не приводит к неблагоприятным изменениям в управляемой системе.

Единство, интегральность природных процессов представляет сложность для их моделирования. Например, при описании передвижения влаги в почве нужно учитывать, что этот процесс происходит не только под действием градиента напора, но и под действием поля температур, поля концентраций солей, электромагнитного поля, на состоянии которых отражается и само движение воды.

Открытость. Фундаментальная особенность динамических систем — постоянный обмен веществом, энергией и информацией с окружающей средой. Геосистемы обмениваются энергией, веществом и информацией с другими геосистемами, при этом поток энергии пронизывает все элементы, без этого невозможно существование геосистемы. Чем более высокоорганизована система, тем строже она регулирует обмен веществом и энергией с окружающей средой. Нельзя понимать открытость как абсолютную, она не может быть полной, необходима некоторая изоляция. Возможность существования динамической системы объясняется некоторым преобладанием мощности внутренних связей над внешними, иначе система «размазывается» и перемешивается с окружающей ее средой.

Устойчивость. Это способность восстанавливать или сохранять структуру и другие свойства при резком изменении внешних воздействий. Устойчивость возможна как раз в силу некоторой изолированности от окружающей среды, неполной открытости системы, которая обсуждена ранее. Устойчивость геосистем и компонентов природы повышается с увеличением их внутренней неоднородности и разнообразия. Например, развитая почва, будучи высокоорганизованной системой, способна поддерживать постоянный газовый состав воздуха в порах, малоизменяемый температурный режим. Природную устойчивость геосистем следует отличать от устойчивости природно-техногенных комплексов, которая заключается в способности выполнять заданные социально-экономические функции. Подробнее устойчивость природных систем и природно-техногенных комплексов обсуждена ниже.

Динамичность. Способность обратимо изменяться под действием периодически меняющихся, т. е. «привычных» для данной геосистемы внешних факторов без перестройки структуры

или с незначительной перестройкой; это обеспечивает геосистеме ее гибкость, «живучесть». Проявляется она при суточных, сезонных, годовых и многолетних циклах изменения солнечной радиации, свойств воздушных масс. Можно сказать, что совершенным техническим системам тоже присуща динамичность как способность противостоять периодическим воздействиям без разрушения, например способность бетона облицовки канала выдерживать неоднократное замораживание и оттаивание, «самозалечивающиеся» конструкции тела грунтовой плотины также обладают динамичностью.

Способность развиваться. Геосистемы эволюционно изменяются, т. е. происходит направленное необратимое изменение, приводящее к коренной перестройке структуры, т. е. к появлению новых геосистем; скорость изменения зависит от ранга геосистемы: быстрее изменяются фаии, затем — урочища, местности; время изменения ландшафтов и их групп измеряется геологическими масштабами. Эволюционные изменения можно в лучшем случае замедлить; приостановить или повернуть вспять невозможно без значительного нарушения устойчивости геосистемы. Это свойство нужно для адаптации системы к окружающей среде, оптимизации внутренних и внешних связей.

Среди динамических систем выделяют природные, обладающие уникальными свойствами.

Особые свойства геосистем. Среди динамических систем выделяют природные, обладающие уникальными свойствами.

Продуцирование биомассы — важнейшее свойство геосистем, заключающееся в синтезе органического вещества первичными продуцентами, важнейшие из которых на суше — зеленые растения, извлекающие диоксид углерода из атмосферы, а из почвы с водными растворами — зольные элементы и азот при обязательном использовании солнечной энергии. Человек энергично эксплуатирует это свойство в процессе природопользования и регулирует при обустройстве природы. Биомасса продуцируется и другими живыми организмами.

Способность почвообразования — отличительное свойство земных ландшафтов, заключающееся в образовании почвы, которая, являясь продуктом функционирования, стала и важным компонентом природы. *Почва* — особое природное тело, которое образуется в результате взаимодействия живых организмов и их остатков с наружными слоями литосферы, предварительно подвергшимися измельчению под действием воды, солнца, ветра (В. В. Докучаев). Почвы обладают неопределимым свойством — *плодородием*, т. е. способностью удовлетворять потребности сельскохозяйственных растений в факторах и условиях их роста и развития. Помимо этого почва выполняет важные экологические функции: регулируя по-

токи влаги и веществ, предохраняет другие компоненты природы от загрязнения; защищенная растениями почва гасит водную и ветровую эрозию; регулируя соотношение между поверхностным и подземным оттоком влаги, она формирует речной сток, обеспечивая, в частности, жизнь рек в летний засушливый период.

Нелинейность природных процессов. Трансформация энергии и вещества и обмен ими идут с переменной, часто замедляющейся скоростью: уменьшается скорость впитывания воды в почву, замедляется остывание почвы при похолодании, затухает скорость понижения уровня грунтовых вод при дренировании. В некоторых случаях возможны нелинейный ускоряющийся рост популяций живых организмов (эпидемии) или самоускоряющиеся физические процессы (ускорение свободного падения). Природные процессы могут быть периодическими и даже менять свое направление. Затухающие процессы повышают устойчивость геосистемы, тогда она не идет «враскачку». Нелинейные процессы сложнее изучать и моделировать.

2.3. УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕОСИСТЕМ

Для оценки техногенного воздействия, определения допустимого предела воздействия или допустимой антропогенной нагрузки на геосистему, за которыми наступают необратимые и нежелательные ее изменения, необходимо в каждом конкретном случае определять ее устойчивость к техногенным нагрузкам.

Всякая геосистема приспособлена к определенным условиям, в пределах которых она устойчива и нормально функционирует даже при возмущениях внешних природных факторов (динамичность геосистемы). Техногенные возмущения часто превышают природные, они более разнообразны, некоторые вообще отсутствуют в природе, например загрязнение искусственными веществами. Все это вызывает необходимость в специальных исследованиях реагирования геосистемы на конкретные воздействия, которые должны быть положены в основу проектов природопользования и природообустройства. Отметим важность долгосрочных количественных прогнозов поведения геосистем при разных вариантах техногенных воздействий.

Приведем общие критерии природной устойчивости геосистем. Прежде всего это высокая организованность, интенсивное функционирование и сбалансированность функций геосистем, включая высокую биологическую продуктивность и возобновимость растительного покрова. Эти качества определяются оптимальным соотношением тепла и влаги, выражаются степенью развитости почвенного покрова и в конечном счете — плодородием почв.

Так, почвы тундровых ландшафтов с недостатком тепла слабо-развиты, неустойчивы к техногенным нагрузкам, сильно ранимы и очень медленно восстанавливаются. В результате дефицита тепла активность биохимических процессов низкая, самоочищаемость от промышленных выбросов медленная. При разрушении растительного и почвенного покровов нарушается тепловое равновесие многолетнемерзлых пород, что вызывает просадки, разрушение фундаментов сооружений и т. п.

Тажные ландшафты в целом более устойчивы, так как лучше обеспечены теплом и имеют мощный растительный покров. Здесь формируются не очень плодородные подзолистые почвы, но отзывчивые на высокую культуру земледелия. Интенсивный влагооборот способствует удалению подвижных форм загрязняющих веществ, но биохимический круговорот еще медленный. Устойчивость геосистем в этой зоне снижается также из-за заболоченности, а также при сведении лесного покрова.

Высокой устойчивостью обладают ландшафты степной зоны, где наблюдается наиболее благоприятное (для условий России) соотношение тепла и влаги. Здесь под пологом мощной степной травянистой растительности в естественных условиях образовались одни из самых плодородных почв — черноземы. Высокая биохимическая активность степных ландшафтов способствует их интенсивному самоочищению. Но следует иметь в виду, что широкомасштабная распахка черноземных почв существенно понизила их устойчивость: происходят интенсивная сработка гумуса, являющегося фактором устойчивости, повсеместное развитие водной и ветровой эрозии, ухудшение почв при многократных обработках, особенно с применением тяжелой техники, уплотнение почв. Орошение большими нормами, с высокой интенсивностью искусственного дождя также ухудшает свойства почвы, приводит к вымыванию питательных веществ, подъему уровней грунтовых вод, заболачиванию и засолению.

В пустынных ландшафтах интенсивная солнечная радиация ускоряет биохимические процессы, в частности разложение отмерших растительных остатков и органических загрязняющих веществ, но недостаток влаги уменьшает вынос продуктов разложения, в том числе и загрязняющих веществ. Растительность здесь бедная, биологическая продуктивность невелика, вследствие этого почвы маломощные и, так же как и в тундровой зоне, сильно ранимы. Поэтому пустынные ландшафты малоустойчивы. Повысить их устойчивость может орошение. Орошение неоправданно высокими нормами, большие фильтрационные потери из каналов, дополнительное связанное с этим дренирование территории интенсифицируют гидрохимические потоки, что приводит к вторичному засолению земель, к

загрязнению и истощению рек. Все это делает ландшафты неустойчивыми.

Водные мелиорации (орошение и осушение) повышают устойчивость геосистем, приводя к оптимальному соотношению тепла и влаги, но, являясь сильным возмущающим фактором, при их передозировке могут привести к противоположному результату. Восстановление нарушенных компонентов, очистка от загрязнения, т. е. рекультивация земель, также способствуют росту устойчивости.

Устойчивость геосистем зависит от их внутренней неоднородности: так, разнообразный состав луговых трав делает луг более устойчивым при разных погодных условиях, чем искусственный сенокос с меньшим видовым разнообразием. Выраженный микро-рельеф и вариация водно-физических свойств почв также повышают устойчивость и почвенного, и растительного покровов: в сухие периоды года продуцирование биомассы лучше в понижениях, а во влажные периоды — на микровозвышениях.

Устойчивость геосистемы растет с повышением ее ранга: так, наименее устойчива фация — наименьшая геосистема, характеризуемая однородными условиями местоположения и местообитания и одним биоценозом. Фации сильнее всего откликаются как на изменение внешних природных условий, так и на деятельность человека. Фации наиболее радикально изменяются при природопользовании. Более крупные геосистемы в меньшей степени подвержены изменениям.

2.4. СВОЙСТВА КОМПОНЕНТОВ ГЕОСИСТЕМ

Компоненты геосистем имеют разнообразные свойства, которые изучают частные науки, такие, как почвоведение, геохимия, геология и гидрогеология, гидравлика, гидрология, метеорология, климатология и др. Каждая из этих наук разрабатывает собственные методы познания свойств компонентов, но результаты этого познания схожи. На уровне системного анализа полезно рассмотреть обобщенные свойства в таких категориях, как проводимость, барьерность и емкость компонентов природы. Это помогает рассматривать природные процессы не «изнутри» отдельной науки, а с использованием геосистемного подхода, рассматривая функционирование геосистем и техноприродных систем с междисциплинарных позиций как единый многогранный процесс передвижения, накопления, превращения вещества, энергии и информации. Кроме того, такой путь упрощает формализацию научного знания о свойствах компонентов природы и способствует широкому развитию методов моделирования процессов в геосистемах и техноприродных системах.

Проводимость компонентов геосистем. Это способность природного тела пропускать сквозь себя потоки вещества и энергии. Потоки можно разделить на вещественные и энергетические, при этом вещественные делятся на виды по состоянию движущегося вещества. Проводимость зависит от свойств самого природного тела, свойств потока вещества или энергии и от действующих сил, вызывающих этот поток.

В общем виде поток вещества или энергии

$$Q_i = v_i F, \quad (2.1)$$

где Q_i — масса вещества или количество энергии, проходящей через поперечное сечение F природного тела за единицу времени; при этом средняя по площади (виртуальная) скорость потока равна v_i .

Различают истинную и виртуальную скорости потока. Например, при движении воды в пористом пространстве вода течет не через все поперечное сечение природного тела, а только через пустоты — поры, заполненные влагой, т. е.

$$v_i = \omega v_{\text{ист}}, \quad (2.2)$$

где ω — объемная влажность, т. е. отношение объема влаги к объему пористого тела; $v_{\text{ист}}$ — действительная (истинная) скорость движения воды в порах, занятых водой.

Закон движения потока (переноса энергии), т. е. математическую связь, определяющую зависимость скорости потока вещества или энергии от действующих силы и свойств проводящего тела, можно записать как

$$v_i = -k(dP/dx)^n, \quad (2.3)$$

где k — характеристика проводимости, т. е. поток при единичном градиенте действующей силы через единицу площади природного тела зависит от свойств природного тела и свойств вещества, образующего поток; dP/dx — градиент потенциала действующей силы; n — показатель степени, характеризующий зависимость скорости потока от градиента действующей силы, он зависит от абсолютного значения действующей силы P , свойств среды и режима движения вещества или переноса энергии (например, ламинарный или турбулентный); минус в выражении показывает, что поток направлен в сторону падения потенциала действующей силы.

Водные потоки наиболее часто встречаются в природе. Вода движется в руслах (реках и каналах), трубах, пористом пространстве (почве, грунтах, трещиноватой скале). Пропускная способность русл и труб характеризует их проводимость с помощью коэффициента Шези. Влагопроводимость почв и грунтов при полном на-

сыщении равна коэффициенту фильтрации, зависящему как от свойств жидкости и особенностей ее движения, так и от свойств природного тела. Проводимость почвы зависит и от состава жидкости; так, смесь воды с нефтепродуктом движется в почве по-другому, не как вода, коэффициент фильтрации зависит как от проницаемости пористой среды, так и от вязкости и плотности жидкости. Коэффициент фильтрации для нефтепродукта связан с коэффициентом фильтрации для воды соотношением

$$k_n = k_v \frac{\rho_n \mu_v}{\rho_v \mu_n}, \quad (2.4)$$

где k — коэффициент фильтрации для соответствующей жидкости; ρ — плотность; μ — динамический коэффициент вязкости; индексы «н» — нефтепродукт, «в» — вода.

В гидрогеологии при изучении движения подземных вод вводят величину $k_f T$ — проводимость пласта (здесь T — мощность пласта, влияющая на объем потока воды через данное природное тело).

Вода в природе часто содержит различные растворенные вещества (соли, биогены, загрязняющие вещества), поэтому водные потоки участвуют в их переносе. К экзотичному потоку вещества относится селевой (грязекаменный) поток. В качестве примеров потоков вещества в газообразном состоянии можно привести движение почвенного воздуха, ветер. Потоки вещества в твердом состоянии: уплотнение и разуплотнение почвы, оползень. При расчете таких потоков иногда не действует общий закон движения, рассмотренный ранее.

Потоки теплоты и электричества зависят от тепло- и электропроводности тел.

Смешанные потоки вещества возникают при транспорте наносов, суффозии, лессиваже, движении селя (происходит совместное передвижение воды и твердого вещества), переносе пыли ветром (совместное движение газа и твердого вещества), аэрации потока на водосбросных сооружениях (совместное передвижение газа и жидкости) и т. п.

Итак, вещество и энергия в природе передвигаются не только из-за наличия действующих сил, но и за счет такой способности природных тел, как проводимость. Можно сказать, что проводимость — одна из причин того, что вещество и энергия стремятся равномерно распределиться в пространстве, выравнять концентрации веществ и количество теплоты в пространстве, увеличить степень неупорядоченности системы, ее энтропию.

Емкостные свойства компонентов природы. Природным процессам свойственна изменчивость во времени (например, динамика

влажностных запасов, уровня воды, запасов солей, содержания загрязняющих веществ). Динамика определяется действующими силами, проводимостью природных тел, а кроме того — способностью вмещать в себя вещество и энергию. Вмещающая способность природных тел не всегда сводится к исчислению геометрических объемов, свободных для вмещения. В природных телах существует равновесное насыщение, когда количество вмещаемого вещества или энергии является результатом действия суммы удерживающих и вытесняющих сил. В качестве примера можно назвать запас влаги в капиллярной кайме, который определяется балансом между каркасно-капиллярным и гравитационным потенциалами.

Емкость — способность природного тела вмещать и удерживать определенное количество вещества и энергии при равновесии всех действующих сил. Так, почву можно характеризовать коэффициентом влагоемкости, который показывает, как меняется влажность (содержание влаги в единице объема почвы) в зависимости от полного напора (т. е. суммы всех действующих сил).

Емкостные свойства изменчивы и зависят от состава и свойств природного тела (для влагоемкости почвы — от относительного объема порового пространства и размеров пор, следовательно, от водоудерживающей способности). Возможность управления емкостными свойствами можно проиллюстрировать на примере теплоемкости почвы. Теплоемкость единицы объема почвы как системы, состоящей из твердых частиц, воздуха и воды:

$$C_{\text{п}} = C_{\text{тв}} V_{\text{тв}} + C_{\text{возд}} V_{\text{возд}} + C_{\text{вод}} V_{\text{вод}}, \quad (2.5)$$

где $C_{\text{тв}}$, $C_{\text{возд}}$, $C_{\text{вод}}$ — теплоемкости отдельных составляющих (твердой фазы, воздуха и воды), Дж/(см³ · К): $C_{\text{тв}} = 0,8 \dots 1,3$; $C_{\text{возд}} = 0,0013$; $C_{\text{вод}} = 4,2$; $V_{\text{тв}}$, $V_{\text{возд}}$, $V_{\text{вод}}$ — относительные объемы твердой, воздушной и водной фаз, при этом $V_{\text{тв}} + V_{\text{возд}} + V_{\text{вод}} = 1$.

Меняя соотношение влаги и воздуха в почве увлажнением или дренированием, можно сильно менять ее теплоемкость за счет резко различных удельных теплоемкостей воды и воздуха.

В гидрогеологии при рассмотрении неустановившегося движения грунтовых вод используют емкостные показатели: при опускании уровня грунтовых вод — коэффициент водоотдачи δ как отношение объема вытекшей воды к объему осушенного грунта, а при подъеме УГВ — коэффициент недостатка водонасыщения. Емкостные свойства определяют инертность потоков. Так, инертность потока грунтовых вод характеризуется коэффициентом удерживания a и временем стабилизации τ , в течение которого на расстоянии L от границы потока происходит примерно

90 % возможного изменения уровня, вызванного изменением напора на указанной границе:

$$a = kT/\delta; \tau = \delta L^2/(kT). \quad (2.6)$$

В теории теплопроводности инерционность тепловых потоков характеризуется коэффициентом температуропроводности, т. е. отношением коэффициента теплопроводности λ к объемной теплоемкости C :

$$k_\lambda = \lambda/C.$$

Последние исследования процессов засоления и рассоления почв показывают, что при стабильных внешних воздействиях (местном климате и базисе эрозии) наступает стабильное засоление. Это дало основания говорить о *галогеохимической емкости*, или *солеемкости*, *геосистем*, которая характеризуется стабилизовавшимися среднесулетними запасами солей. Они подвержены годовым изменениям, зависят от влагоемкости и емкости поглощения почв. Учет солеемкости геосистем позволяет более адекватно описывать многолетние процессы засоления и рассоления почв. Мелиорация засоленных почв, по существу, сводится к управлению солеемкостью геосистем.

Барьерные свойства компонентов геосистем. Наряду с «размыванием» в природе идут и процессы концентрации веществ, исключения их из круговорота, сосредоточения в некоторых областях. В качестве примера можно привести месторождения различных полезных ископаемых: известняки, металлические руды. Иными словами, наряду с проводимостью природные тела обладают свойствами задерживать некоторые вещества, что можно называть барьерностью. В самом общем смысле *барьер* можно понимать как локальное нарушение проводимости, что ускоряет или замедляет потоки веществ и круговорот в целом.

Барьеры могут быть природными и техногенными (созданными человеком); каждый из них, в свою очередь, делят на следующие виды:

- механические — природное тело работает как фильтр;
- физические — испарительный, гидрофизический;
- физико-химические — химические процессы идут на границе раздела фаз (в основном это процессы сорбции — десорбции);
- химические — за счет растворения и кристаллизации, связывания, химического разложения;
- биологические (с удержанием большого числа макро- и микроэлементов) — биологическая деструкция, избирательное накопление веществ в биоте.

Все эти процессы очень часто происходят одновременно в од-

ном барьере, поэтому их называют биогеохимическими. Теория геохимических барьеров разработана А. И. Перельманом.

Биогеохимические барьеры — это компоненты или части компонентов геосистем, в которых на относительно коротком расстоянии в результате специфического сочетания механических, физико-химических, биологических процессов происходит избирательное накопление одних химических элементов и удаление других. В барьерах резко изменяются условия миграции веществ, что часто приводит к накоплению химических элементов. Важнейшие из них — растительный покров, почва, толщи водоненасыщенных горных пород, в основном мелкоземов, и застойные скопления подземных вод.

Биогеохимические барьеры могут быть вертикальными или горизонтальными (латеральными), препятствующими соответственно вертикальным или горизонтальным потокам загрязняющих веществ. Человек может управлять биогеохимическими барьерами, усиливая или ослабляя их действие, создавать искусственные барьеры.

Природные биогеохимические барьеры обеспечивают наряду с другими процессами естественную самоочищаемость природы, так как в них происходит не только накопление, но и связывание до недоступных для биоты форм токсичных веществ, разрушение токсичных веществ, преобразование их в безвредные вещества.

Механизмы накопления, связывания и разрушения веществ очень разнообразны, но их объединяет общая закономерность: интенсивность этих процессов во многом зависит от обеспеченности территории теплом и влагой. При оптимальном сочетании тепла и влаги биогеохимические барьеры работают эффективней. Человек может в известных пределах регулировать тепло- и влагообеспеченность территорий путем мелиораций и тем самым повышать естественную самоочищаемость.

Естественный или искусственно созданный растительный покров является эффективным биогеохимическим барьером: во-первых, это перехват воздушных потоков, содержащих пыль, аэрозоль, капельно-жидкие вещества. Токсичные вещества не только накапливаются на листовых пластинах, но и проникают в устьица, аккумулируясь в тканях листьев. Очищая воздух, особенно в городах и вдоль крупных магистралей, гереверья накапливают вредные вещества в кронах. Так, в листьях городских деревьев в местах с интенсивными транспортными потоками (г. Москва) содержится: цинка — более 500 мг/кг сухого вещества, свинца — 90, меди — 45, никеля — 10, хрома — 4, кадмия — 0,8 мг/кг. Осенью все эти вещества попадают на поверхность почвы, загрязняя ее. Количество токсичных веществ, попадающих на поверхность почвы, можно подсчитать, зная массу опавших листьев на единицу поверхности, в городе это 0,1...0,2 кг/м². Во избежание загрязнения почвы опавшие листья нужно собирать и складировать.

Во-вторых, это утилизация ряда веществ в процессе метаболизма (обмена веществ): например, хорошо развитый и интенсивно продуцирующий биомассу травянистый покров ежегодно потребляет азота 300...500 кг/га, фосфора (в форме P_2O_5) — 60...120, калия (в форме K_2O) — 300...600 кг/га, в меньших количествах — металлы, в том числе и тяжелые. Это свойство растений используют при утилизации сточных вод путем орошения. Известны растения, выносящие из почвы тяжелые металлы в повышенных количествах, их используют для очистки почвы.

Мощным биогеохимическим барьером является почва — активное функционирующее органо-минеральное тело, в котором идут разнообразнейшие физико-химические и биологические процессы, в том числе присутствует широкая гамма микроорганизмов. Почвоведы одним из основных свойств, отличающих почву от инертной горной породы, считают поглотительную способность и количественно оценивают емкость поглощения.

Почва способна задерживать или поглощать газы, растворенные вещества, минеральные или органические частицы и суспензии. Во многом поглотительная способность связана с высокодисперсной, главным образом коллоидной, частью почвы, имеющей большую удельную поверхность, т. е. суммарную поверхность всех частиц, составляющих единицу массы почвы.

Различают несколько видов поглотительной способности: механическую, физическую, физико-химическую, химическую и биологическую.

Механическая поглотительная способность выражается в том, что почва работает как фильтр, задерживая в своих мелких порах пыль, суспензии. Зависит она от размера пор, гранулометрического состава (песчаные или глинистые почвы), наличия микро- и макроагрегатов, гумуса. Ее используют, например, при кольматировании почвы, т. е. насыщении ее мелкими частицами при впитывании глинистых растворов для повышения водоудерживающей способности, снижения водопроницаемости.

Физическая поглотительная способность (аполярная адсорбция) — свойство почвы поглощать из раствора молекулы электролитов, продукты гидролитического расщепления солей слабых кислот и сильных оснований, а также коллоиды при их коагуляции (слипаниии). Аполярная адсорбция — это сгущение молекул на поверхности раздела фаз (твердой и жидкой или твердой и газообразной) благодаря наличию свободной энергии на поверхности твердых частиц почвы. При таком поглощении вещества удерживаются почвой от вымывания вниз, уменьшая загрязнение подземных вод.

Физико-химическая или обменная поглотительная способность — свойство почвы обменивать некоторую часть катионов и в меньшей степени анионов твердой фазы на эквивалентное количество

катионов или анионов из соприкасающихся растворов. Ионы из раствора переходят в слой компенсирующих ионов мицелл почвенных коллоидов и наоборот. Меняя состав поглощенных катионов, можно существенно менять свойства почв, уменьшая их солонцеватость.

Химическая поглощательная способность проявляется при образовании нерастворимых или труднорастворимых соединений. При этом вещества теряют свою подвижность и становятся недоступными для растений, улучшаются токсико-экологические условия для биоты.

Биологическая поглощательная способность связана с жизнедеятельностью организмов почвы (главным образом микрофлоры), которые усваивают и закрепляют в своем теле различные вещества. При борьбе с загрязнением, при очистке почвы важно то, что микроорганизмы способны разрушать очень вредные вещества: нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, различные химикаты (гербициды, пестициды), другие токсичные органические и органо-минеральные вещества.

Поглощательную способность почвы можно регулировать доступными агротехническими и мелиоративными приемами: внесением в почву органических удобрений для повышения количества гумуса — особого вещества, состоящего из органических остатков разной степени разложения и модификации; изменением химических свойств (уменьшение кислотности или щелочности); уменьшением степени засоления; регулированием количества влаги в почве (орошение или осушение). Широко применяют специальные сорбенты естественного или искусственного происхождения, вносимые в почву для очистки ее от тяжелых металлов, радионуклидов. Эффективно обогащение микрофлоры почвы специальными бактериями, способными разлагать нефтепродукты и другие вредные вещества.

Очищающая способность почвы далеко не безгранична. Она может только до определенного предела защищать растения, подстилающие грунты и подземные воды от загрязнения. Поэтому, решая задачи защиты территорий от загрязнения и очистки (восстановления, рекультивации), необходимо брать на вооружение и другие барьеры. Одним из них может быть *гидрофизический барьер* — регулирование направления и объема потоков влаги в не полностью (зона аэрации) и полностью водонасыщенных горных породах. Например, уменьшая промываемость почвы и верхних горизонтов подстилающих грунтов, можно в определенной степени защитить жизненно важные водоносные горизонты или, наоборот, усилить промываемость почвы для ее очистки. Для локализации областей загрязнения, например нефтепродуктами, гидрофизический барьер можно выполнить в виде системы нагнетатель-

ных и откачивающих скважин, позволяющих не допустить поток загрязненных подземных вод к водотокам или к водозаборам. Очень эффективно совместное использование барьеров разной природы.

Совместную работу сорбционного и гидрофизического барьеров можно проиллюстрировать формулой А. И. Голованова, позволяющей определить время, сут, начала загрязнения тяжелыми металлами водоносного горизонта, перекрытого сверху гидрофизическим и сорбционным барьерами мощностью L_6 :

$$t = \frac{\omega(1+\alpha)}{\alpha v} (8\lambda + L_6) \left(1 - \frac{L_6^2}{(8\lambda + L_6)^2} \right), \quad (2.7)$$

где ω — объемная влажность грунта; α — коэффициент сорбции; v — промываемость, т. е. скорость фильтрации воды в аэрированном слое грунтов, м/сут; λ — параметр дисперсии грунта, характеризующий степень раздробленности твердой фазы, м.

Например, территория в лесостепной зоне загрязняется свинцом в результате пылевых выбросов металлургического комбината. Под слоем почвы залегают лёссовидные суглинки с параметром дисперсии $\lambda = 0,5$ м, коэффициент сорбции свинца $\alpha = 0,15$, мощность гидрофизического барьера, т. е. аэрированный слой суглинков над капиллярной каймой, $L_6 = 7$ м при глубине грунтовых вод около 10 м. При промываемости 80 мм/год, что характерно для этой зоны, $v = 0,08/365 = 0,00022$ м/сут и при объемной влажности $\omega = 0,2$ с помощью данной формулы находим, что загрязнение подземных вод свинцом начнется спустя $t = 17\,527$ сут, или примерно через 48 лет. Если же в результате подтопления территории грунтовые воды поднимутся на 5 м, то из-за уменьшения мощности гидрофизического барьера до 2 м загрязнение начнется гораздо раньше — через 6,5 лет.

Иная ситуация будет, если водоносный пласт перекрыт сверху супесчаными грунтами с меньшей сорбционной способностью. Для этих грунтов $\alpha = 0,9$; $\lambda = 0,2$; $\omega = 0,17$, и при мощности барьера $L_6 = 7$ м загрязнение начнется через 16 лет, т. е. в три раза раньше.

В несорбируемых крупнозернистых грунтах, т. е. при $\alpha \rightarrow \infty$ и при $\lambda = 0$, формула (2.7) превращается в

$$t = (\omega/v_{ист}) L_6, \quad (2.8)$$

т. е. время продвижения загрязняющих веществ равно длине пути L_6 , деленной на истинную скорость потока влаги в обводненных порах $v_{ист} = v/\omega$.

Обустройство ландшафтов и улучшение качества подземных и речных вод могут быть достигнуты управлением биологическим и геологическим круговоротами воды и химических веществ, в которых барьеры играют существенную роль.

В процессе биологического круговорота связываются многие биогены, что помогает сохранению водного объекта. В природных системах интенсификация биологического круговорота достигается не только за счет большого видового разнообразия растений и животных, но и за счет использования естественных биогеохимических барьеров на пути водных потоков. Помимо вышеупомянутых барьерами могут быть возвышения местности и водоупоры, западины на пути подземных и поверхностных вод, малопроницаемые слои почв и грунтов, зоны интенсивного биологического потребления и накопления отдельных химических элементов и др. В качестве естественных барьеров могут выступать такие природные объекты, как заболоченный луг, замкнутый водоем, болото, кустарники, леса. При этом в них должен поддерживаться особый режим пользования, способствующий сохранению барьерных функций.

Геохимические условия ландшафта с включенными в него водными объектами можно улучшить с помощью линейных и площадных биогеохимических барьеров: природоохранных полос отчуждения вдоль линейных инженерных сооружений, каналов, водохранилищ; лесонасаждений и др. Площадные барьеры можно создавать, меняя водно-физические и химические характеристики почвы и тем самым управляя ее проводящими и сорбционными свойствами. Создание сорбционного геохимического барьера в виде легкосуглинистого гумусированного нейтрального пахотного горизонта путем торфования (300 т/га сухого торфа) и землевания (2250 т/га сухой минеральной породы) приводит к ограничению миграции веществ и снижению интенсивности минерализации торфа. Известкование кислых почв также усиливает их роль как барьера.

Лесные насаждения существенно влияют на миграцию биогенов и других загрязняющих веществ, регулируя сток поверхностных и подземных вод, кустарник и травы под пологом леса поглощают часть биогенов. Эффективно работают облесенные ложбины, лесные полосы и опушки леса, расположенные перпендикулярно направлению стока, облесенные днища балок и оврагов.

При интенсивном использовании водосбора под сельскохозяйственными угодья ширина лесных водопоглотительных полос, ограждающих водные объекты, должна быть не менее $\frac{1}{3} \dots \frac{1}{4}$ длины примыкающих склонов. Узкие (менее 5...8 м) полосы, особенно разреженные, вытопанные скотом, не способны трансформиро-

вать химический состав вод, притекающих с пахотных частей склонов, т. е. не способны эффективно бороться со склоновым типом загрязнения. Лесные насаждения в понижениях рельефа, в местах концентрации поверхностных и почвенных вод закладывают широкими полосами, которые требуют особенно бережного ухода.

Водоохранные лесные насаждения, расположенные в нижних и средних частях приречных и приозерных склонов, испытывают наибольшие нагрузки в связи с воздействием вышерасположенных сельскохозяйственных площадей из-за привноса снега, продуктов дефляции, твердого стока, водорастворимых химических веществ. Поэтому необходим уход за лесными насаждениями.

При мелиорации земель, по сути дела, часто регулируют действия биогеохимических барьеров: глубокое рыхление плотных подпочвенных горизонтов, увеличение естественной дренированности, изменение скорости впитывания воды, противодиффузионные барьеры, разрушение гипсоносных или оглеенных горизонтов и т. п. Водооборотные гидромелиоративные системы, в которых часть дренажного стока, содержащего полезные вещества, используют для полива, уменьшают загрязнение водных объектов. В устьях сбросных каналов устраивают барьеры в виде биоплато (расширения с водной растительностью), сорбирующих фильтрующих перемычек, очищающих дренажные воды.

Борьба с загрязнением земель (рекультивация) также заключается в управлении барьерами, создании одних и разрушении других.

Контрольные вопросы и задания. 1. Расскажите о теории систем, системном анализе, роли системного подхода в природообустройстве. 2. Что такое геосистема и ландшафт? 3. Каковы свойства геосистем? 4. Расскажите о проводимости, емкости и барьерности как о свойствах компонентов природы. 5. Перечислите биогеохимические барьеры. 6. Каким образом можно управлять поглощательной способностью почвы? 7. В чем сущность галогеохимической емкости геосистем?

3. КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ В ПРИРОДЕ

Земные природные объекты находятся в гравитационном поле Земли и других небесных тел, получают большое количество лучистой энергии от Солнца. Благодаря этому в них происходят разнообразные процессы, или, как это было указано в разделе 1.3, они функционируют. Иными словами, в них осуществляется *круговорот веществ и энергии*, т. е. повторяющиеся более или менее циклично процессы превращения и перемещения веществ и энергии в природе. Круговороту способствует открытость систем. Эти процессы имеют определенное поступательное движение, так как

циклы повторяются не полностью, всегда имеются те или иные изменения в количестве и составе образующихся веществ. Они обратимы не полностью, так как происходит рассеяние вещества и энергии. Различают абиотический (геологический) и биотический (биогенный) круговороты. Геологический круговорот складывается из круговорота воздушных масс или газов, вод во всех формах (жидкая, парообразная, твердая), масс литосферы в виде твердой фазы или в растворенном виде, круговорота энергии. С появлением жизни на Земле огромную роль в круговороте веществ играют живые организмы. Глобальное, сравнимое с геологическими процессами влияние на круговорот веществ оказывает деятельность человека. Знание закономерностей круговорота необходимо для оценки техногенных воздействий на природные системы, в том числе и при природообустройстве, для выработки управляющих воздействий на круговороты.

3.1. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ В ГЕОСИСТЕМАХ

Как уже отмечалось, функционирование земных геосистем — это единый природный процесс, поэтому описание его человеком в принципе тоже должно быть единым, а не дробленным на частные процессы, что гораздо проще, но не всегда точно. Частные процессы изучают в отдельных науках, знания эти неполные, имеют так называемый «феноменологический характер», т. е. отражают только опыт людей и не объясняют причин протекания процессов. Так, законы Ома, Шези, Дарси и им подобные были установлены из простейших опытов, и они оказались в основном верными. Полное описание природных процессов возможно с помощью теории *неравновесной термодинамики необратимых процессов*.

Природные объекты можно представлять как термодинамические системы, т. е. как совокупность физических (греч. *physis* — природа) тел, которые могут взаимодействовать энергетически между собой и с другими телами, а также обмениваться с ними веществами. Термодинамические системы состоят из большого числа частиц, поэтому их состояние можно характеризовать макроскопическими параметрами: плотностью, давлением, температурой, концентрацией разных веществ. Термодинамическая система находится в равновесии, если ее параметры с течением времени не меняются и в системе нет каких-либо стационарных потоков (теплоты, веществ), свойства таких систем изучает термодинамика равновесных процессов (термостатика), а свойства неравновесных систем — термодинамика неравновесных процессов.

Рассматривают закрытые термодинамические системы, не обменивающиеся веществом с другими системами; открытые системы, в которых происходит обмен веществом и энергией с другими системами; адиабатные термодинамические системы, в которых отсутствует теплообмен с другими системами; наконец, изолированные системы, не обменивающиеся с другими системами ни энергией, ни веществом. Как уже отмечалось, природные системы (геосистемы) открытые.

Природным процессам свойственна некоторая необратимость вследствие рассеивания вещества и энергии в пространстве, а также вследствие неоднородности в пространстве свойств компонентов природы (см. соответствующее свойство геосистем) и их температуры.

В основе термодинамики лежат фундаментальные принципы (так называемые «начала термодинамики»), описывающие поведение энергии и энтропии при любых возможных процессах в системе.

Энергия — общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи. Понятие энергии связывает воедино все явления природы. В соответствии с различными формами движения материи рассматривают различные формы энергии: химическую, механическую, внутреннюю, электромагнитную, ядерную и др. Химическая энергия складывается из кинетической энергии движения электронов и электрической энергии взаимодействия электронов друг с другом и с атомными ядрами. Механическая энергия состоит из потенциальной, возникающей при движении тела во внешнем силовом поле, например в поле тяготения Земли (гравитационная энергия), и кинетической, зависящей от скорости движения составляющих систему частей. В классической механике кинетическая энергия материальной точки массы m , движущейся со скоростью v , равна $mv^2/2$, а внутренняя энергия — сумме кинетической энергии хаотического движения молекул относительно центра масс тел и потенциальной энергии взаимодействия молекул друг с другом.

В любой замкнутой системе справедлив закон сохранения энергии, согласно которому энергия системы не исчезает и не возникает «из ничего»: она лишь переходит из одного вида в другой. Если система не замкнута, то ее энергия может изменяться за счет получения энергии извне или передачи системой энергии окружающей среде в виде работы или теплоты.

Энтропия — важнейший показатель состояния природного объекта, характеризующий степень его упорядоченности, организованности. Энтропию измеряют в Дж/К — энтропийная единица (э. е.). Например, энтропия воды в кристаллическом состоянии равна 11,5, в жидком — 16,75, в газообразном — 45,11 э. е. Чем

выше твердость вещества, тем меньше его энтропия; так, энтропия алмаза (0,57 э. е.) меньше энтропии графита (1,37 э. е.). Энтропия убывает по мере усложнения молекулы вещества; для газов N_2O , N_2O_3 и N_2O_5 энтропия составляет соответственно 85; 73,4 и 52,6 э. е. Образование в почве сложных органико-минеральных веществ, в том числе и гумуса, существенно снижает ее энтропию, повышает организованность (структурность) почвы.

В термодинамике энтропия — это мера необратимого рассеяния энергии неравновесной термодинамической системы. Процессы, стремящиеся привести систему к равновесному состоянию, сопровождаются увеличением энтропии, например: выравнивание температуры, влажности, засоленности почвы; выветривание, осыпи, эрозия, вызывающие выполаживание гор; размыв русла реки в верховье и заилиние — в низовье, рост извилистости, следовательно, замедление потока воды вызывают «старение» реки. Наоборот, приток энергии в открытую термодинамическую систему позволяет ей уменьшать свою энтропию; так, почва, получая энергию от Солнца, тратит ее часть на почвообразование, на уменьшение энтропии, увеличение упорядоченности, организованности.

Первое начало термодинамики (закон сохранения энергии) гласит, что количество теплоты ΔQ , сообщаемое системе, равно сумме приращения внутренней энергии ΔU и совершаемой системой работы ΔG :

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta G. \quad (3.1)$$

Например, количество теплоты, поступившее в почву, во многом расходуется на транспирацию воды растениями, сопровождающуюся переносом питательных веществ из почвы в растение, т. е. на работу, и в меньшей степени — на почвообразование.

Второе начало термодинамики — принцип, устанавливающий необратимость макроскопических процессов, протекающих с конечной скоростью. В отличие от чисто механических (без трения) или электродинамических (без выделения теплоты) обратимых процессов процессы, связанные с теплообменом при конечной разности температур (т. е. текущие с конечной скоростью), с трением, диффузией газов, расширением газов в пустоту, выделением теплоты и т. д., необратимы, т. е. могут самопроизвольно протекать только в одном направлении. Следствие этого принципа — *закон возрастания энтропии*: в изолированных термодинамических системах энтропия либо остается неизменной при наличии обратимых процессов, либо возрастает при необратимых процессах и достигает максимума, т. е. переход теплоты от холодного тела к

нагретому без каких-либо изменений в системе или окружающей среде невозможен. Из этого также следует невозможность существования и функционирования природных объектов в полностью изолированной среде.

Понятие энтропии существенно и для понимания явлений жизни. Живой организм с точки зрения протекающих в нем физико-химических процессов можно рассматривать как сложную открытую систему, находящуюся в неравновесном состоянии. Для организмов характерна сбалансированность процессов, ведущих к росту энтропии, и процессов обмена, уменьшающих ее. Однако жизнь не сводится к простой совокупности физико-химических процессов, ей свойственны сложные процессы саморегулирования. Поэтому с помощью понятия энтропии нельзя охарактеризовать жизнедеятельность организмов в целом.

Третье начало термодинамики, или теорема Нернста: при стремлении абсолютной температуры к нулю энтропия остается неизменной и не зависит от параметров системы и внешних факторов; оно позволяет судить о свойствах вещества вблизи абсолютного нуля и показывает его недостижимость. Это начало позволяет находить абсолютное значение энтропии, что нельзя сделать в рамках классической термодинамики (на основе первого и второго начал термодинамики).

Скачкообразные изменения свободной энергии, энтропии, плотности объясняют разные агрегатные состояния вещества (твердое, жидкое, газообразное), к которым можно добавить и плазму — частично или полностью ионизованный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы. Существование нескольких агрегатных состояний обусловлено различиями в тепловом движении молекул (атомов) вещества и в их взаимодействии. В газах молекулы почти не взаимодействуют и движутся свободно, заполняя весь объем, в котором находится газ. У жидкостей и твердых тел — у так называемых «конденсированных систем» — молекулы (атомы) расположены близко друг от друга и взаимодействуют со значительными силами. Это приводит к сохранению жидкостями и твердыми телами определенного объема. Однако движение молекул в жидкостях и в твердых телах различно, чем и объясняется различие их структуры и свойств. У твердых тел в кристаллическом состоянии атомы совершают лишь небольшие колебания вблизи узлов кристаллической решетки; структура этих тел характеризуется высокой степенью упорядоченности — дальним порядком в расположении атомов. Тепловое движение молекул жидкости представляет собой сочетание малых колебаний около положений равновесия и частых перескоков из одного положения равновесия в другое. Последние и обуславливают существование в жидкостях лишь ближнего

порядка в расположении молекул (атомов), а также свойственные жидкому состоянию подвижность и текучесть. В жидкостях постоянно возникают разрывы и восстановления сплошности, что объясняет явление кавитации при резких перепадах давления.

В водных потоках, являющихся открытыми термодинамическими системами, в результате процессов самоорганизации возможны неравновесные хаотические состояния со сложной вихревой структурой — так называемое «турбулентное течение». Знание этих процессов практически важно при решении задач природопользования и природообустройства.

Рассмотрим с термодинамических позиций передвижение почвенного раствора (отметим, что в почве чистой воды нет), взаимодействующего с твердой пористой средой, почвенным воздухом и находящегося под действием гравитационного, электрического и температурного полей. Термодинамический потенциал такой системы (почвенного раствора) в координатах (x, y, z)

$$\Phi = n_b \mu_0(p, T) + n_c k T \ln \frac{n_c}{e n_b} + n_c \chi(p, T) + n_b U_b(x, y, z) + n_c U_c(x, y, z), \quad (3.2)$$

где n_b и n_c — число молекул воды и растворенных в ней частиц (ионов); μ_0 — химический (парциальный) потенциал чистой воды (без примеси) и без учета внешних полей; p — давление; T — абсолютная температура; k — постоянная Больцмана; e — основание натуральных логарифмов; χ — химический (парциальный) потенциал ионов растворенных веществ без учета внешних полей; U_b и U_c — потенциальная энергия молекул воды и растворенных веществ во внешних полях (гравитационном, электрическом).

Химический потенциал компоненты раствора

$$\mu_i = \partial \Phi / \partial n_i, \quad (3.3)$$

где μ_i — число частиц данной компоненты.

Химический потенциал воды в растворе

$$\mu_b = \partial \Phi / \partial n_b = \mu_0(p, T) - k T C + U_b, \quad (3.4)$$

а для растворенных веществ

$$\mu_c = \partial \Phi / \partial n_c = k T \ln C + \chi(p, T) + U_c, \quad (3.5)$$

где C — концентрация раствора, $C = n_c / n_b$.

Потоки вещества и энергии возникают при наличии термоди-

намической силы F_i , т. е. градиента составляющей термодинамического потенциала; так, при вертикальном потоке вдоль оси x

$$F_i = \frac{\partial}{\partial x}(\mu_i/T); F_T = \frac{\partial}{\partial x}(1/T), \quad (3.6)$$

где F_T — температурная движущая сила.

При малых отклонениях системы от термодинамического равновесия потоки i -го компонента (влаги, солей, теплоты, электричества) линейно зависят от термодинамической силы:

$$q_i = -\sum_k L_{ik} F_k, \quad (3.7)$$

где L_{ik} — кинетические (феноменологические) коэффициенты, или коэффициенты переноса.

Для почвенного раствора потоки влаги q_v , солей q_c , теплоты q_T и электричества q_ε описывают системой уравнений:

$$q_v = -L_{vv} \frac{\partial}{\partial x}(\mu_v/T) - L_{vc} \frac{\partial}{\partial x}(\mu_c/T) - L_{vT} \frac{\partial}{\partial x}(1/T) - L_{v\varepsilon} \frac{\partial}{\partial x}(\varphi/T); \quad (3.8)$$

$$q_c = -L_{cv} \frac{\partial}{\partial x}(\mu_v/T) - L_{cc} \frac{\partial}{\partial x}(\mu_c/T) - L_{cT} \frac{\partial}{\partial x}(1/T) - L_{c\varepsilon} \frac{\partial}{\partial x}(\varphi/T); \quad (3.9)$$

$$q_T = -L_{Tv} \frac{\partial}{\partial x}(\mu_v/T) - L_{Tc} \frac{\partial}{\partial x}(\mu_c/T) - L_{TT} \frac{\partial}{\partial x}(1/T) - L_{T\varepsilon} \frac{\partial}{\partial x}(\varphi/T); \quad (3.10)$$

$$q_\varepsilon = -L_{\varepsilon v} \frac{\partial}{\partial x}(\mu_v/T) - L_{\varepsilon c} \frac{\partial}{\partial x}(\mu_c/T) - L_{\varepsilon T} \frac{\partial}{\partial x}(1/T) - L_{\varepsilon\varepsilon} \frac{\partial}{\partial x}(\varphi/T), \quad (3.11)$$

где φ — потенциал электрического поля.

В прямых процессах, т. е. при $i = k$, термодинамическая сила F_k вызывает поток q_k , например: градиент каркасно-капиллярного и гравитационного потенциалов μ_v вызывает поток воды, зависящий от коэффициента влагопроводности, характеризуемого кинетическим коэффициентом L_{vv} ; градиент потенциала растворенного вещества μ_c , определяемый концентрацией, — поток вещества (диффузию), зависящий от коэффициента диффузии, характеризуемого кинетическим коэффициентом L_{cc} ; градиент температуры — поток теплоты, зависящий от коэффициента теплопроводности, характеризуемого кинетическим коэффициентом L_{TT} ; градиент напряженности электрического поля — электрический ток,

зависящий от электропроводности, характеризуемой кинетическим коэффициентом $L_{ЭЭ}$.

Из этой системы уравнений следует, что при $i \neq k$ возникают «перекрестные» потоки, например поток воды из-за градиента концентрации (осмотическое движение воды от менее засоленного слоя к более засоленному, этим во многом объясняется гибель растений при сильном засолении почвы, когда влага высасывается из них почвой). Такое явление называют «осмос» — диффузия вещества, обычно растворителя, через полупроницаемую мембрану, разделяющую раствор и чистый растворитель или два раствора разной концентрации. Полупроницаемая мембрана — перегородка, пропускающая малые молекулы растворителя, но непроницаемая для более крупных молекул растворенного вещества, например стенки клеток корней растения. Выравнивание концентраций по обе стороны такой мембраны возможно лишь при односторонней диффузии растворителя, поэтому поток влаги направлен от разбавленного раствора к концентрированному. Этот поток характеризуется кинетическим коэффициентом $L_{ВС}$. Возможен поток воды из-за градиента температуры (термодиффузия воды — влага движется из теплого слоя в холодный; замерзая на их контакте, вызывает морозное пучение почвы), он характеризуется коэффициентом $L_{ВТ}$; из-за градиента электрического поля (электродиффузия воды) — коэффициентом $L_{ВЭ}$.

В этой системе уравнений присутствуют и другие «перекрестные» потоки: конвективный перенос растворенных веществ, теплоты и электричества потоком воды ($L_{СВ}$, $L_{ВТ}$, $L_{ВЭ}$), термо- и электродиффузия солей ($L_{СТ}$, $L_{СЭ}$), перенос теплоты потоком растворенных веществ ($L_{СТ}$) и др.

Анализ приведенной системы уравнений показывает, что термодинамический подход позволяет «замкнуть» эти процессы, учесть их взаимозависимость и тем самым учесть фундаментальное свойство геосистем, в которых происходит единый природный процесс. Вместе с тем решение этой системы в полном виде часто затруднено из-за незнания ряда параметров перекрестного переноса. В каждом конкретном случае можно выявить главные составляющие процесса, оказывающие существенное влияние на конечные результаты. Например, в природном объекте редко учитывают градиенты потенциала электрического поля, поэтому в системе уравнений (3.8)...(3.11) их отбрасывают, хотя вблизи токонесящих элементов (линий электропередач, электрифицированных железных дорог) электрические поля могут быть очень сильными и вызывать не только перенос солей и влаги, но и электрокоррозию трубопроводов. Известны приемы интенсификации осушения тяжелых глинистых грунтов наложением постоянного электрического поля — электроосмос, способы электромелиорации за-

солонных солонцеватых почв как усиления обычных приемов их мелиорации (промывка, внесение химвелиорантов, см. далее). В этих случаях пренебрегать передвижением влаги и солей под действием электрического поля нельзя.

В обычных условиях вегетационного периода пространственные градиенты температуры почвы незначительны, что также облегчает задачу, но при изучении тепловых мелиораций, связанных с изменением структуры баланса теплоты в почве или с изменением ее тепловых свойств, такое упрощение недопустимо, например при поливе холодными подземными водами или при заборе из глубоких слоев водохранилищ.

Обычно концентрация солей в почвенном растворе хотя и значительна, но не настолько, чтобы повлиять на потоки влаги, и поэтому величиной $L_{вс}$ пренебрегают, опять же только тогда, когда это не сказывается на результатах расчетов.

При описании круговорота веществ и энергии в природе и в техноприродных системах используют следующие частные феноменологические законы:

движение твердых тел подчиняется второму закону Ньютона, по которому ускорение движения твердого тела прямо пропорционально сумме действующих сил в направлении движения F и обратно пропорционально массе тела M :

$$dv/dt = F/M, \quad (3.12)$$

где v — скорость; t — время; заметим, что этот закон справедлив для малых скоростей, при скоростях, близких к скорости света, необходимо использовать законы теории относительности Эйнштейна;

плотность теплового потока, т. е. потока через единичную площадь в единицу времени q_T , определяют, используя закон теплопроводности Фурье:

$$q_T = -\lambda d\theta/dx, \quad (3.13)$$

где λ — коэффициент теплопроводности; $d\theta/dx$ — градиент температуры вдоль оси потока, знак «минус» означает, что направление потока тепла противоположно градиенту температуры, следовательно, тепло движется в сторону падения последней; θ — температура;

постоянный электрический ток в проводнике описывают законом Ома:

$$q_э = -\gamma dU/dx, \quad (3.14)$$

где γ — удельная электропроводность металла; dU/dx — градиент напряжения U ;

процесс диффузии в растворах, т. е. установление равновесного распределения концентраций, в простейшем случае (при постоян-

ной температуре и отсутствии внешних электрических полей и других внешних сил) описывают вторым законом Фика: единичный поток вещества

$$q_c = -DdC/dx, \quad (3.15)$$

где D — коэффициент диффузии, точнее — самодиффузии, так как возможны еще и термодиффузия, бародиффузия, электродиффузия; C — концентрация;

медленное (ламинарное) течение жидкости через пористую среду со скоростями, измеряемыми сантиметрами или миллиметрами в сутки, т. е. фильтрация или влагоперенос, описывают законом Дарси: скорость фильтрационного потока, точнее — единичный поток жидкости через единицу поверхности пористой среды

$$q_\phi = -k_\phi dH/dx, \quad (3.16)$$

где k_ϕ — коэффициент фильтрации, учитывающий свойства пористой среды и свойства жидкости (плотность и вязкость); H — напор фильтрационного потока (заметим, что q_ϕ — это не истинная скорость фильтрующейся жидкости, последняя в $1/p$ раз больше, p — пористость).

Из названных законов становятся понятными кинетические коэффициенты L_{TT} , L_{CC} , $L_{ЭЭ}$, $L_{ВВ}$ в формуле (3.7).

А вот водные потоки в руслах рек, в каналах, в трубах имеют большую скорость, измеряемую метрами или десятками сантиметров в секунду, вследствие этого они сильно завихрены, турбулентны и на перемещение водных масс в таком режиме требуется больше работы, совершаемой внешними силами. Поэтому из-за сильного отклонения параметров водного потока от состояния термодинамического равновесия линейное соотношение [см. формулу (3.15)] здесь неприменимо и единственный турбулентный поток воды подчиняется другому закону — Шези:

$$q = -K(dH/dx)^{0,5}, \quad (3.17)$$

где K — коэффициент, учитывающий трение потока о его стенки и завихренность потока, а также свойства жидкости: вязкость и плотность; H — напор потока, состоящий из гравитационной и гидростатической составляющих и кинетического (скоростного) напора.

Сравним: для увеличения скорости фильтрационного (ламинарного) потока в 2 раза градиент напора надо увеличить во столько же раз, а для турбулентного водного потока — в 4 раза.

К фундаментальным законам природы относятся также законы сохранения вещества, количества движения.

Приведенные фундаментальные законы позволяют получать уравнения движения веществ, переноса теплового потока или элек-

трического тока в интегральной (балансовой) форме или, рассматривая их баланс в бесконечно малом объеме за бесконечно малое время, — в дифференциальной форме. Наиболее важные для решения задач природообустройства уравнения будут приведены далее.

Дифференциальные, а иногда и интегродифференциальные уравнения решают или аналитически для простых случаев, или чаще всего численно с помощью ЭВМ. При решении таких уравнений надо четко сформулировать начальные и граничные условия, которые вытекают из смысла решаемой задачи.

Структура дифференциальных уравнений зависит от учета факторов, вызывающих перенос. Например, при описании передвижения токсичных солей, тяжелых металлов или радионуклидов в почвах и в грунтах надо учитывать не только их диффузию за счет разности концентрации, но и перенос их ионов потоком влаги, возможность их сорбции твердой фазой, образование нерастворимых форм, поглощение корнями растений.

Применительно к загрязнению почв и грунтов соединениями азота (нитраты и аммонийные формы) помимо указанных надо учитывать процессы аммонификации, нитрификации, денитрификации, происходящие в почве в результате биохимических процессов, и поглощение их растениями.

При решении проблем борьбы с загрязнением часто приходится иметь дело с многокомпонентными и многофазными потоками вещества: например, при очистке территорий, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, надо рассматривать движение несмешивающихся жидкостей: воды, нефтепродуктов, а также газов, сложно взаимодействующих друг с другом и с твердой фазой. При атмосферном загрязнении надо учитывать перенос с воздушными потоками паров, ионов, аэрозолей, частиц пыли.

Системы дифференциальных уравнений переноса, дополненные уравнениями состояния, описывающими такие процессы, как сорбция — десорбция, растворение — кристаллизация, поглощение корнями растений и т. п., вместе с начальными и граничными условиями, по сути дела, являются математическими моделями природных процессов, которые при наличии мощной вычислительной техники широко используют для прогнозирования природных процессов и их изменения под действием различных антропогенных факторов.

3.2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Природообустройство — дорогая и экологически опасная деятельность, поэтому она должна основываться на максимально полном изучении природных и антропогенных процессов, функ-

ционирования и эффективности техногенных блоков, изучении механизмов управления ими, влияния на окружающие земли. Необходимы прогнозы функционирования техноприродных систем как в штатных, так и в аварийных ситуациях.

Основой исследований рассматриваемых процессов должны быть *натурные эксперименты*, позволяющие наиболее полно, без искажений и упрощений изучать эти процессы. С этой целью, например, мелиорация земель всегда обеспечивалась большим объемом научных, научно-производственных и производственных исследований. Была обширная сеть научных учреждений, экспедиций, опытных станций, строили опытно-производственные системы, пилотные производственные инженерно-мелиоративные системы.

Ценность таких исследований в том, что реальные объекты изучают в реальных условиях. По их результатам и после обобщения производственного опыта вырабатывают зональные рекомендации по технологиям природообустройства. Исследования на опытно-производственных участках позволяют оценивать на практике теоретические рекомендации и вырабатывать эмпирические рекомендации. Объекты-аналоги помогают в первом приближении принимать расчетные значения параметров, а также в ряде случаев прогнозировать развитие изучаемого объекта. Пилотные системы на небольших площадях способствуют наработке технологий управления, необходимых для эксплуатации крупной системы.

Эти методы используют свойство природы самостоятельно во всей полноте учитывать и интегрировать процессы и воздействия. Вместе с тем, учитывая сложность организации и дороговизну таких исследований, малую скорость протекания процессов (для изучения реакции почв, подземных вод, растений на воздействия человека нужны годы), маловариантность исследований и их слабую прогностичность, в природообустройстве, как и в других видах деятельности и науках, широко применяют моделирование.

Модель — физическое или знаковое упрощенное подобие реального объекта, явления или процесса. Модель может быть предметной или знаковой. Требования к моделям в природообустройстве.

1. Максимально возможный учет фундаментальных свойств геосистем: целостности (взаимодействие потоков вещества и энергии, взаимовлияние компонентов природы); структурности (модель должна описывать процессы в подсистемах и интегрировать их в единый процесс); изменчивости погодных условий; неоднородности компонентов природы и изменчивости их свойств в пространстве и во времени; нелинейности природных процессов. Любое упрощение нужно вводить осмысленно и количественно обосновывать.

2. Долговременность. Модель должна позволять рассчитывать процессы за ряд лет. Достоверны только те результаты, которые получены с помощью временных рядов, в течение которых объект начинает вести себя квазистационарно, наметились тенденции (тренды) процессов, полностью развертываются и затухают переходные процессы.

3. Учет функционирования техногенных компонентов, для чего моделируют отдельно работу сооружений (например, работу шлюза-регулятора или движение воды в канале), воздействие сооружения на геосистему (подтопление, вызванное фильтрацией воды из канала), а также влияние природных процессов на сооружение (движение и накопление наносов в канале, кольматаж и т. п.).

Если модель и моделируемый объект имеют одну и ту же физическую природу, но разные, обычно уменьшенные размеры, то говорят о *физическом моделировании*. Процессы можно исследовать также путем опытного изучения какого-либо явления иной физической природы, но описываемого теми же математическими соотношениями, что и моделируемое явление, — *аналоговое моделирование*. Основание для этого способа — знаковая, математическая аналогия в записи законов движения, например аналогия законов, выраженных формулами (3.13)...(3.16). Так, *аналоговое моделирование* позволяет изучать на электрических моделях (на сплошных электропроводящих телах или сетках из сопротивлений и емкостей, соединенных проводниками) механические, гидродинамические, акустические и другие явления. Например, исследуя распределение электрического поля в сплошной электропроводной среде, можно описывать другие процессы (фильтрацию воды в пористой среде или распространение теплоты), имеющие аналогичное математическое описание, применяя коэффициенты подобия между напряжением и напором воды или напряжением и температурой, силой тока и фильтрационным потоком или тепловым потоком. Электрическая проводимость модели воспроизводит в определенном масштабе влаго- или теплопроводность.

Такое «предметно-математическое» моделирование широко применяют для замены изучения одного явления изучением других, более удобных для лабораторного исследования, в частности, они допускают менее трудоемкое измерение неизвестных величин.

При физическом моделировании обязательно обеспечивают геометрическое, кинематическое и динамическое подобие между изучаемым явлением и его моделью.

Геометрическое подобие требует постоянного во всех частях природы и модели отношения между соответствующими геометрическими размерами — линейный масштаб $\alpha_L = L_H/L_M$; масштаб площадей $\alpha_F = F_H/F_M = \alpha_L^2$ и объемов $\alpha_W = W_H/W_M = \alpha_L^3$.

Кинематическое подобие означает постоянное отношение между скоростями во всех точках натурального объекта и модели — скоростной масштаб $\alpha_v = v_n/v_m = (L_n t_m)/(L_m t_n) = \alpha_L/\alpha_t$, где $\alpha_t = t_n/t_m = \alpha_L/\alpha_v$ — масштаб времени. Из этих соотношений следует, что если в качестве независимых взять линейный и скоростной масштабы, то масштаб времени уже не может быть произвольным.

Динамическое подобие означает постоянство отношений между силами одинаковой природы, действующими на компоненты натурального объекта и модели $\alpha_p = p_n/p_m$. В этих выражениях индексы «н» и «м» означают натуральный объект и его модель соответственно.

Масштабы подобия связаны определенными зависимостями, называемыми критериями подобия, т. е. безразмерными комбинациями характеристик, отражающих закономерности рассматриваемых процессов, основные действующие силы:

критерий Фруда, указывающий на подобие в отношении сил тяжести: $Fr = v_n^2/gL_n = v_m^2/gL_m$, т. е. $\alpha_v^2/\alpha_L = 1$;

критерий Рейнольдса, определяющий подобие потоков жидкости в отношении сил вязкости: $Re = (v_n L_n)/\nu_n = (v_m L_m)/\nu_m$, т. е. $(\alpha_v \alpha_L)/\alpha_\nu = 1$, здесь ν — кинематический коэффициент вязкости жидкости;

критерий Эйлера, указывающий на подобие сил давления: $Eu = (v_n^2 \rho_n)/P_n = (v_m^2 \rho_m)/P_m$, т. е. $(\alpha_v^2 \alpha_p)/\alpha_p = 1$, здесь ρ — плотность жидкости;

критерий Вебера для определения подобия сил поверхностного натяжения: $We = (L_n v_n^2 \rho_n)/\sigma_n = (L_m v_m^2 \rho_m)/\sigma_m$, т. е. $(\alpha_L \alpha_v^2 \alpha_p)/\alpha_\sigma$, здесь σ — коэффициент поверхностного натяжения.

Существуют и другие критерии подобия, применяемые при моделировании тепловых, диффузионных, электрических процессов.

При аналоговом моделировании назначают масштабы, т. е. соотношения между аналогичными характеристиками, например, когда аналогом фильтрационного потока выбран электрический ток в сплошном проводнике, выбирают соотношение напора и электрического напряжения, фильтрационного потока и силы электрического тока, коэффициента фильтрации и электрической проводимости. К ним добавляют геометрические масштабы.

При знаковом моделировании используют знаковые образования: схемы, графики, чертежи, формулы, графы, слова и предложения в некотором алфавите. Важнейшим видом знакового моделирования является *математическое (логико-математическое) моделирование*, осуществляемое средствами языка математики и логики. Математическая модель — приближенное описание какого-либо класса явлений внешнего мира, выраженное с помощью математической символики. Математическое моделирование позволяет проникнуть в сущность изучаемых явлений. Это мощный

современный метод познания внешнего мира, а также прогнозирования и управления, особенно после колоссального развития вычислительной техники. Циклоническую деятельность атмосферы Земли моделируют для предсказания погоды, взрывов ядерного оружия, паводков на крупных реках, продуцирования биомассы и других сложнейших явлений. Процесс математического моделирования можно подразделить на четыре этапа.

Первый — формулирование законов, связывающих основные объекты модели, а также происходящие в них процессы. Это требует знания многих факторов, относящихся к изучаемым явлениям, и глубокого проникновения в их взаимосвязи, записываемых в математических терминах сформулированных качеств, показателей процессов, представлений о связях между объектами модели. Чтобы описать явление, необходимо выявить самые существенные его свойства, закономерности, внутренние связи, значение отдельных характеристик явления. Выделив наиболее важные факторы, можно пренебречь менее существенными. Для исследования сложных процессов в объектах, изменяющихся с течением времени, применяют дескриптивные (описательные) математические модели в виде дифференциальных или интегральных уравнений (или систем уравнений). Уравнения составляют на основании физических, химических, биологических законов. Решения таких систем дифференциальных уравнений являются функциями времени и, следовательно, могут описывать изменения во времени процессов, происходящих внутри моделируемых объектов.

Второй — исследование сформулированных математических задач. Главное здесь — решение прямой задачи, т. е. получение показателей процесса для дальнейшего их сопоставления с результатами наблюдений изучаемых явлений. Часто решают так называемые «обратные задачи», когда, зная показатели процесса, оценивают свойства природных компонентов: например, изучив результаты откачки воды из скважины, судят о водопроницаемости пласта. На этом этапе важное значение приобретают математический аппарат, необходимый для анализа математических моделей, и вычислительная техника как средство решения математических задач, так как многие задачи у математиков пока не имеют аналитического решения.

Третий — выяснение, согласуются ли результаты моделирования с характеристиками природных процессов в пределах точности наблюдений (проверка модели). Если отклонения выходят за допустимые пределы, то модель надо совершенствовать.

Четвертый — последующий анализ модели в связи с накоплением данных об изучаемых явлениях и модернизация модели. В процессе развития науки и техники эти данные все более и более уточняются и наступает момент, когда выводы, получаемые на ос-

новании существующей математической модели, не соответствующих нашим знаниям о явлении, возникает необходимость построения новой, более совершенной модели.

Достоинство математического моделирования — возможность быстро просматривать много вариантов ситуаций. Недостатки — неполный учет всего многообразия природных процессов, недостаточная количественная изученность процессов. Поэтому модели должны быть оптимально сложны, чтобы принятые допущения не приводили к существенным ошибкам в принятии решений. Некоторые из очевидных требований к моделям процессов природообустройства:

учет внутренней неоднородности — как детерминированной, так и стохастической, или случайной;

учет нелинейности природных процессов;

учет разных по тепло- и влагообеспеченности лет для получения статистически достоверных результатов;

создание одномерных моделей, описывающих вертикальный или горизонтальный перенос вещества и энергии, часто бывает недостаточным.

Модели классифицируют по их размерности. Важно помнить, что природные тела и процессы существенно пространственны, развиваются в условиях неоднородности, изменчивости свойств среды, поэтому любое их описание неполно. Нуль-мерные (или балансовые) модели описывают изменение запасов вещества или энергии в зависимости от приходов и расходов. В них нет пространственных и временных координат в явном виде, время и геометрические размеры объектов косвенно учитываются составлением баланса для фиксированного промежутка времени (сутки, декада, период вегетации, год и т. д.) и определенного объема природного тела, которому соответствует строго определенная площадь территории.

Одномерные модели описывают развитие процесса во времени по одной пространственной координате. В ряде случаев этого достаточно для моделирования влагопереноса в почве в вертикальном направлении, движения водного потока в реке или канале в горизонтальном направлении.

В ряде случаев процесс нельзя рассматривать как развивающийся вдоль основного направления. Поэтому используют двумерные модели, которые оперируют двумя координатами каждой точки в пространстве. Такие модели позволяют получать принципиально иные результаты по сравнению с нуль-мерными и одномерными, описывать гораздо более сложные процессы. В качестве примера приведем задачу о гидрологической и гидрохимической связи элементов водосбора между собой и с руслом, которую можно полноценно решать, используя не менее чем двумерную модель.

Наиболее сложно создавать трехмерные модели, но именно они ближе всего к достоверному описанию природных процессов. Такие модели нужны для описания сложных потоков грунтовых и подземных вод, геохимических потоков в природных телах и т. п. Пока они слабо распространены, хотя уже созданы коммерческие моделирующие программные продукты, позволяющие решать задачи в трехмерной постановке. Основные причины слабого их распространения — сложность вычисления и нехватка исходных данных.

Единственно возможный путь нахождения баланса сложности моделей и точности, детальности описания процессов — сочетание различных видов моделей, иерархическое их сопряжение, интеграция детально описанных процессов на уровне представительного объема природного тела в единый процесс на уровне геосистемы.

Математическое моделирование позволяет быстро воспроизводить (прогнозировать) длительные, многолетние процессы, что очень важно для оценки работы инженерных гидромелиоративных, рекультивационных, водохозяйственных, природоохранных систем в различные по погодным условиям годы. Это позволяет устанавливать «мощность» инженерной системы (производительность насосных станций, размеры каналов и др.), обеспечивающей работу системы с заданной надежностью. Моделирование позволяет «проиграть» некоторые чрезвычайные ситуации, например, связанные с выходом из строя очистных сооружений и массовым выбросом загрязняющих веществ, или в результате нарушений технологий, разрывом продуктопроводов, военных действий и т. п. Формально — это изменение граничных условий моделей, происходящее в заданное время. На таких моделях можно рассматривать и разные сценарии ликвидации последствий.

Математические модели широко используют в современных науках, опирающихся на геосистемный (ландшафтный) подход, задача которого — описать структуру ландшафта, определяющую виды, направленность и интенсивность природных процессов. Один из наиболее общих подходов к описанию структуры — представление о ландшафте как объекте, который формируется и развивается под действием совокупности геофизических полей — поля силы тяжести, инсоляции (освещенности), поля температур воздуха, почвы, поверхностных вод, давлений воды в разных природных телах, поля влажности почвы и пр. При этом кроме привнесенных для специалистов моделей земного гидрологического цикла (в системе «атмосфера — вода — почва — растение») возникает необходимость моделирования морфометрических характеристик поверхности. К их числу относят высоту местности, показатели кривизны земной поверхности, кривизну горизонталей и

линий тока, а также некоторые другие, связанные с гидрологическими характеристиками территории. Они определяют геохимические процессы в геосистеме, продуктивность растений на различных формах рельефа, распределение выпавших осадков по территории, формирование поверхностного стока воды, эрозию и дефляцию (выветривание) почвы. Такой подход позволяет связать модели отдельных процессов в единый комплекс, позволяющий описывать взаимосвязанные процессы в геосистемах.

При природообустройстве человек вмешивается в биологические производственные процессы, особенно при мелиорации сельскохозяйственных земель, при борьбе с загрязнением. Поэтому модели природных процессов обязательно дополняют моделями функционирования и продуктивности живых организмов. Далее рассмотрены примеры построения математических моделей передвижения воздушных масс, энергии, влаги, солей, тяжелых металлов, нефтепродуктов в почве, используемых при решении проблем природообустройства.

3.3. ДВИЖЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ МАСС АТМОСФЕРЫ И ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

При решении проблем защиты территорий от загрязнения — составной части природообустройства — необходимо знание процессов перемещения загрязняющих веществ с воздушными потоками атмосферы. Движение воздушных масс также может вызывать ветровую эрозию, перенос солей на приморские территории.

Атмосфера Земли — воздушная среда вокруг Земли, вращающаяся вместе с нею; масса около $5,15 \cdot 10^{15}$ т. Воздух (по объему) у поверхности Земли состоит из азота (78,1 %), кислорода (21 %), аргона (0,9 %), незначительной доли диоксида углерода (0,03 %), неона, гелия, водорода и других газов. Давление и плотность воздуха убывают с высотой. До высоты 20 км в атмосфере Земли содержится водяной пар. В результате конденсации пара образуются облака и выпадают атмосферные осадки в виде дождя, града, снега. На высоте 20...25 км расположен озоновый слой. Выше 100 км возрастает доля легких газов; на очень больших высотах преобладают гелий и водород; часть молекул разлагается на атомы и ионы, образуя ионосферу. Атмосфера Земли имеет слоистое строение, которое определяется в первую очередь особенностями распределения температуры по высоте (различают тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу, экзосферу).

Современная атмосфера Земли имеет, по-видимому, вторичное происхождение; она образовалась из газов, выделенных твердой

оболочкой Земли после формирования планеты, и в дальнейшем развивалась при участии живых организмов и растений. Атмосфера Земли обеспечивает возможность жизни на Земле, причем наибольшее значение из атмосферных газов для жизнедеятельности организмов имеют кислород, азот, водяной пар, диоксид углерода, озон. В течение XX в. концентрация диоксида углерода в атмосфере Земли увеличивалась, что было обусловлено главным образом сжиганием все возрастающих количеств угля, нефти и других видов углеродного топлива. Это привело к некоторому усилению парникового эффекта и небольшому повышению средней температуры нижнего слоя воздуха. Наряду с диоксидом углерода под влиянием хозяйственной деятельности в атмосфере Земли возрастает количество фреонов, оксидов азота и ряда других газов, которые также способствуют изменению климата в сторону потепления.

Нагревание атмосферы в разных частях Земли неодинаково, что способствует развитию общей циркуляции атмосферы Земли, тесно связанной с распределением атмосферного давления. Под действием перепада давления воздух испытывает ускорение, направленное от области высокого давления к низкому. При движении воздуха на него действуют вызванные вращением Земли силы Кориолиса, центробежная и сила трения. Все это обуславливает сложные воздушные течения в атмосфере Земли, некоторые из них сравнительно устойчивы (например, пассаты и муссоны). В средних широтах преобладают воздушные течения с запада на восток, в которых возникают крупные вихри — циклоны и антициклоны, обычно простирающиеся на сотни и тысячи километров, постоянно возникающие и разрушающиеся в атмосфере. Общая циркуляция атмосферы — главный фактор влагообеспеченности разных территорий, от нее зависят погодные условия. На процессы в атмосфере влияют и циркуляции меньших масштабов: бризы, горно-долинныи ветры и т. п. Катастрофические погодные явления связаны с вихрями малого масштаба: смерчи, торнадо и др.

Изменение атмосферного давления способствует газообмену между почвой и приземным воздухом, известны случаи опасной загазованности подземных сооружений (погребов, убежищ) вредными газами из глубоких слоев при резком изменении атмосферного давления, особенно в местах скопления отходов, нефтепродуктов.

Циркуляция воздушных масс — не только мощный климато- и погодообразующий фактор, но и причина круговорота других веществ, в том числе и загрязняющих.

Носители загрязняющих веществ в атмосфере — приземные воздушные потоки, которые образуют приграничный слой атмосферы. Толщина его переменна, зависит от скорости ветра на

большой высоте (в свободной атмосфере), от вертикальной стратификации (расслоения) воздушных масс, от шероховатости поверхности земли (от рельефа, растительности). Обычно толщина этого приграничного слоя составляет несколько километров.

Отличительная особенность воздушных потоков в этом слое — очень высокая турбулентность, т. е. пульсация скоростей по значению и направлению, что сильно усложняет их математическое описание. Трение воздушного потока о поверхность Земли приводит к торможению нижних слоев и возникновению вертикальных составляющих скорости. Помимо этого в приграничном слое наблюдается закономерное изменение направления скорости из-за вращения Земли и воздействия на воздушные массы силы Кориолиса, значение которой зависит от скорости ветра. Поэтому у самой поверхности Земли из-за малой скорости направление ветра перпендикулярно линиям равных давлений воздуха — изобарам. С увеличением высоты повышаются скорость ветра, сила Кориолиса, изменяется направление ветра и может даже совпасть с изобарой.

Динамическое влияние земной поверхности проявляется до высоты 1,5...2 км. На толщину и структуру приграничного слоя влияет также распределение температуры, влажность воздуха, а интенсивное перемешивание воздушных масс из-за высокой турбулентности в свою очередь влияет на вертикальное распределение температуры. Движение воздушных масс выравнивает атмосферное давление, являющееся первопричиной этого движения.

Для описания движения воздушных масс используют второй закон механики:

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \sum F_x; \quad \frac{\partial v_y}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \sum F_y; \quad \frac{\partial v_z}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \sum F_z; \quad (3.18)$$

закон сохранения массы воздуха:

$$\frac{\partial(1/\rho)}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right); \quad (3.19)$$

закон сохранения водяного пара:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{D_m}{\rho} \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} \right); \quad (3.20)$$

закон сохранения и превращения энергии:

$$\frac{\partial \theta_{\Pi}}{\partial t} = \left[a \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) - \frac{1}{\rho c_p} \frac{\partial r}{\partial z} \right] \theta_{\Pi} \quad (3.21)$$

и уравнение состояния:

$$p = \rho R \theta, \quad (3.22)$$

где v_x, v_y, v_z — компоненты скорости по осям x, y и z ; t — время; ρ — плотность воздуха; F_x, F_y, F_z — проекции силы на прямоугольные оси координат, которые выражают через переменные, уже входящие в приведенную систему; ω — удельная влажность воздуха; D_m — коэффициент молекулярной диффузии водяного пара; θ_{Π} — потенциальная температура, $\theta_{\Pi} = \theta(1000/p)^{0,29}$; a — коэффициент молекулярной температуропроводности воздуха; θ — температура воздуха; r — поток радиации; c_p — удельная теплоемкость воздуха; p — давление воздуха; R — газовая постоянная.

Приведенные дифференциальные уравнения, в которых реализованы упомянутые ранее законы, образуют замкнутую систему для определения семи неизвестных: трех компонент скорости ветра, температуры, давления, плотности воздуха и плотности водяного пара. Приток теплоты к воздуху должен быть известен как функция координат и времени.

Решение этой системы уравнений сопряжено с большими трудностями, не только математическими, но и информационными, так как входящие в эти уравнения параметры, которые должны быть известными, сами по себе изменчивы, зависят от искоемых неизвестных и их трудно измерить, эти уравнения существенно нелинейны. В частности, неоднородность полей радиации и теплоты фазовых переходов (испарение, конденсация воды), сжимаемость воздуха усложняют проблему. Самая же большая трудность заключается в широком спектре пульсаций скоростей воздушных масс, в сильной их турбулентности. Поэтому в практике принимают различные допущения, имеется большое число приближенных решений, как аналитических, так и в виде алгоритмов численного решения на ЭВМ, разработано много моделей, сориентированных на решение частных задач.

Количественное описание движения воздушных масс позволяет решать важные экологические задачи борьбы с загрязнением воздушной среды, а следовательно, и других компонентов природы, так как воздух — мощный переносчик многих загрязняющих веществ на большие расстояния: выбросы в атмосферу промышленными предприятиями, энергетикой, транспортом, в результате военной активности.

Рассмотрим одну из важных для состояния природной среды задач: загрязнение воздуха примесями, поступающими из фабричных труб или труб электростанций.

Положим, что основание трубы высотой H находится в начале координат, ось x совпадает с направлением ветра, ось y перпендикулярна оси x , ось z направлена вверх. Распространение пассивной примеси, содержащейся в газовых выбросах труб, имеет трехмерный характер, т. е. концентрация примеси в единичном объеме воздуха есть функция координат x, y, z , а также времени t : $C(t, x, y, z)$, но для упрощения задачи рассматривают полное количество примеси $S(t, x, z)$, содержащейся в параллелепипеде бесконечной длины по оси y (поперек ветра) и с единичным сечением по осям x и z . Принимают, что по длине этого параллелепипеда концентрация распределена по нормальному закону (закону Гаусса):

$$C(t, x, y, z) = \frac{e^{-y^2/2\sigma^2}}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} S(t, x, z), \quad (3.23)$$

где σ — дисперсия примеси в направлении, перпендикулярном направлению ветра; предполагают, что она известна.

Тогда при известной скорости ветра $u(z)$, которую принимают постоянной по оси x и переменной по оси z , дифференциальное уравнение для полного количества тяжелой примеси $S(t, x, z)$, выпадающей со скоростью v_n , м/с, можно записать в виде

$$\frac{\partial S}{\partial t} = u(z) \frac{\partial S}{\partial x} - v_n \frac{\partial S}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left(k(z) \frac{\partial S}{\partial z} \right), \quad (3.24)$$

где $k(z)$ — коэффициент вертикального турбулентного обмена (коэффициент диффузии).

При продолжительном выбросе наступает установившаяся картина распределения концентраций, т. е. $\partial S / \partial t = 0$, и тогда C и S становятся независимыми от времени t . Граничные условия формулируются так: при $z \rightarrow \infty$ $S(x, \infty) = 0$ и при $x \rightarrow \infty$ $S(\infty, z) = 0$, на поверхности Земли (при $z = 0$) можно учесть, насколько выпадающая примесь сорбируется этой поверхностью: $|k(z) \partial S / \partial z + (v_n - \alpha) S|_{z=0} = 0$. Для идеально сорбирующей поверхности, например для капельно-жидкой примеси, впитывающейся в почву, $\alpha = \infty$, а для отражающей поверхности $\alpha = 0$ (невесомая пыль на асфальте, в этом случае концентрация примеси у поверхности Земли увеличивается). Как частный случай можно рассматривать невесомую примесь, приняв $v_n = 0$, которая также может сорбироваться или нет.

На верху трубы ($x = 0, z = H$) надо учесть мощность выброса примеси, т. е. количество примеси, выбрасываемой вместе с газозвушной смесью в единицу времени, Q_n , г/с:

$$S(0, z) = \frac{Q_n}{u(H)} \delta(z - H), \quad (3.25)$$

где $\delta(z - H)$ — дельта-функция Дирака, или единичная функция, позволяющая имитировать точечный источник, при $z \neq H$ $\delta = 0$, $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(z) dz = 1$.

Даже в такой упрощенной постановке аналитическое решение получить не удастся, применяют численные методы решения, из которых затем получают при-

ближенные расчетные формулы. Например, по одной из них можно оценить максимальную приземную концентрацию невесомой примеси, г/м³:

$$C_{\max} = \frac{8Q_{\text{п}}}{uH^2} 10^{-3}, \quad (3.26)$$

которая имеет место на расстоянии от трубы, м:

$$L_{\max} \approx 20H. \quad (3.27)$$

Если из трубы выходит горячая газозвдушная смесь с малой скоростью, то расчетную высоту трубы увеличивают на

$$\Delta H = 11,7 Q_{\text{т}} / u^3, \quad (3.28)$$

где $Q_{\text{т}}$ — тепловой поток из трубы, Дж/с; u — скорость ветра, м/с.

Если из трубы выходит холодная смесь, но с большой скоростью $u_{\text{т}}$ и с расходом $Q_{\text{т}}$, м³/с, то высоту трубы, м, увеличивают на

$$\Delta H = (1,5 / u_{\text{т}}) \sqrt{Q_{\text{т}} u_{\text{т}}}. \quad (3.29)$$

Тяжелая примесь в отличие от невесомой не только перемещается в атмосфере за счет сноса ветром и турбулентного рассеивания, но и оседает под действием сил тяжести. Максимальное выпадение примеси на единицу площади, г/м², приближенно можно вычислить по формуле

$$P = 0,6 Q_{\text{п}} \frac{v_{\text{п}}}{uH^2}. \quad (3.30)$$

Максимум выпадения примеси находится на расстоянии $L_{\max} = 0,7(uH/v_{\text{п}})$ м от трубы.

Максимум концентрации, как видно из формулы (3.30), уменьшается пропорционально квадрату высоты трубы, а расположение максимума отодвигается пропорционально высоте. Расчеты по моделям показали, что и максимум концентрации, и положение максимума сильно зависят от метеорологических условий, в частности от параметра стратификации, характеризующего термическую устойчивость атмосферы, хотя из формулы (3.30) этого не следует. В дневное время и в летний период атмосфера неустойчива, максимум концентрации растет и приближается к трубе, в зимнее время при устойчивой атмосфере максимум уменьшается и его положение отодвигается. Существует много других формул для расчета выбросов разных примесей из разных источников, которые включены в специальные руководства.

3.4. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТОКИ В ГЕОСИСТЕМАХ

Одна из главнейших составляющих функционирования природных и измененных человеком геосистем — обмен энергией и ее трансформация. Энергетические связи между компонентами

геосистем реализуются в энергетических потоках одновременно с потоками воздуха, воды, твердых масс, с перемещением живых организмов путем передачи энергии и часто неразделимы с вещественными.

Функционирование геосистем (круговорот веществ, почвообразование, деятельность живых организмов) невозможно без постоянного притока энергии. В отличие от веществ, непрерывно циркулирующих по разным компонентам геосистемы и которые могут многократно использоваться, вступать в круговорот, энергия может использоваться только один раз, т. е. имеет место однонаправленный поток энергии через геосистему, обусловленный действием фундаментальных законов термодинамики: сохранения энергии и энтропии. Энергия может превращаться из одной формы (например, света) в другую (например, в потенциальную энергию пищи или гумуса почвы), но не может быть создана или уничтожена.

Второй закон термодинамики утверждает, что не может быть ни одного процесса, связанного с превращением энергии, без потерь некоторой ее части. Это означает, что самопроизвольное превращение энергии возможно только при ее переходе из концентрированной формы в рассеянную. Компоненты геосистем способны повышать степень своей внутренней упорядоченности за счет постоянного притока энергии извне, т. е. уменьшать свою энтропию, особенно ярко это проявляется в живых организмах, в повышении плодородия почвы за счет накопления гумуса, при образовании органогенных горных пород (торфа, угля, сланцев, нефти, газов). Упорядоченность проявляется также в структурированности компонентов, например в наличии четко выраженных слоев почвы, выполняющих разные функции.

Источники энергии на Земле разные: энергия Солнца, приток энергии из глубинных слоев Земли, энергия, выделяемая при фазовых переходах, при смачивании, экзотермических биохимических реакциях, но первый источник — главенствующий.

Рассмотрим трансформацию солнечной энергии вблизи поверхности Земли (радиационный баланс). По данным М. И. Будыки, на единицу поверхности внешней границы атмосферы поступает поток солнечной радиации, равный в среднем около 1050 кДж/см^2 в год, из которых около 350 кДж/см^2 отражается в мировое пространство, а 700 кДж/см^2 в год поглощает Земля. Атмосфера поглощает 172 кДж/см^2 коротковолновой радиации, а деятельной поверхности суши (растительного покрова и почвы) достигает $J_k = 528 \text{ кДж/см}^2$ в год в среднем, в конкретном месте она зависит от географического положения, состояния атмосферы, а также от рельефа (крутизны и экспозиции склона), изменяется в зависимости от времени года и часа суток.

Растительный покров и почва отражают часть коротковолновой радиации $J_{от}$, отношение $J_{от}/J_k = A$ называют альбедо, и зависит оно от вида и окраски поверхности. Так, у чистого сухого снежного покрова альбедо составляет 0,90...0,95, у грязного — 0,4...0,5; у сухого серозема — 0,25...0,3, влажного — 0,1...0,12; у сухого чернозема — 0,14, влажного — 0,08; у песка белого и желтого — 0,34...0,4 (в зависимости от влажности); песка серого — 0,18...0,23. Альбедо у травяного покрова в среднем равно 0,26; у пшеницы в зависимости от фазы развития — 0,1...0,23; у люцерны — 0,21...0,32 (зависит от укосов); у картофеля в среднем — 0,19; сахарной свеклы — 0,18; хлопчатника — 0,21; рисового поля — 0,12. Альбедо вспаханного поля с сухой поверхностью уменьшается до 0,08...0,12, а с влажной — до 0,05...0,08. Следовательно, изменение вида и окраски поверхности существенно изменяет тепловой поток в почву. С учетом альбедо в почву поступает тепловой поток, вызванный коротковолновой радиацией $J_k(1 - A)$.

Почва как всякое нагретое тело излучает тепло в длинноволновой части спектра:

$$J_3 = \beta\sigma\theta^4,$$

где β — отношение излучения почвы к излучению абсолютно черного тела, примерно равное 0,9...0,95; σ — постоянная излучения абсолютно черного тела; θ — его абсолютная температура.

На деятельную поверхность возвращается часть энергии, отраженной в длинноволновой части спектра приземными слоями атмосферы и облачным покровом J_a .

В сумме указанные потоки лучистой энергии образуют радиационный баланс деятельной поверхности:

$$R = J_k(1 - A) - J_3 + J_a. \quad (3.31)$$

Измеряют его специальными приборами — балансометрами. За сутки радиационный баланс достигает максимума в солнечный полдень, в течение года он сильно изменяется и зимой может становиться отрицательным.

Значения радиационного баланса более всего зависят от широты местности: так, ледяным пустыням Арктики и Антарктики свойствен отрицательный годовой радиационный баланс — (20...40) кДж/см²; тундровым и лесотундровым ландшафтам — 50...100; таежным — 100...160; широколиственным, степным и сухостепным — 150...200; субтропическим — 200...250; тропическим — 250...300; экваториальным — 350 кДж/см² за год.

Поток лучистой энергии трансформируется в растительном покрове и в почвенном слое в тепловую энергию, ее баланс имеет вид

$$R - LE_c + B - P - Q - \Phi = C_p \Delta \theta, \quad (3.32)$$

где L — теплота парообразования; LE_c — затраты теплоты на суммарное испарение E_c , включающее транспирацию растением и испарение с поверхности почвы, эта составляющая теплового баланса наиболее существенная, на нее приходится около 80...90 % радиационного баланса; B — приток теплоты в почву из глубинных горизонтов, его направление может меняться в разные сезоны года; P — конвективный обмен теплотой с приземным слоем атмосферы за счет нагревания воздуха у самой поверхности почвы и его передвижения вверх, направление этого потока тоже может меняться; Q — затраты энергии на почвообразовательные процессы: выветривание (измельчение, растворение) твердой фазы, на эндотермические процессы, перенос веществ по профилю, накопление энергии в гумусе и т. п. (при использовании формул В. Р. Волобуева следует иметь в виду, что в эту составляющую он включает и затраты энергии на эвапотранспирацию и на теплообмен почвы с атмосферой); в представленном здесь виде затраты на почвообразование малы и не превышают 1 % радиационного баланса; Φ — затраты энергии на фотосинтез, составляющие около 2...5 % радиационного баланса; $C_p \Delta \theta$ — изменение количества теплоты в почве при ее нагревании за балансовый период на $\Delta \theta^\circ$; C_p — теплоемкость почвы.

Температура почвы зависит не только от количества поступающей или расходуемой теплоты, но и от ее тепловых свойств — теплоемкости и теплопроводности. Теплоемкость — это количество теплоты, необходимой на нагревание 1 г почвы (массовая теплоемкость) или 1 см³ (объемная теплоемкость) на 1 °С, она зависит от состава почвы — соотношения твердой, жидкой и газообразной фаз и от количества органического вещества. Если теплоемкость воды принята за единицу, то теплоемкость составит: минеральной части — 0,18, гумуса — 0,3, воздуха — 0,0003, т. е. теплоемкость почвы во многом определяется ее влажностью. Поэтому влажные почвы имеют более стабильный температурный режим, они несколько холоднее, чем сухие.

На распределение температуры по профилю почвы оказывают влияние тепловые потоки. При этом учитывают два главных механизма теплопередачи: кондуктивный — из-за передачи теплоты за счет градиента температуры, и конвективный — за счет потока влаги, т. е. в уравнении (3.10) учитывают третий и первый члены правой части. Поэтому закон передачи теплоты в почве имеет вид

$$q_x = -\lambda_p \frac{\partial \theta}{\partial x} + q_v \theta, \quad (3.33)$$

где q_x — тепловой поток по оси x ; λ_p — коэффициент теплопроводности почвы, который тоже сильно зависит от ее влажности; θ — температура почвы; q_v — объемный поток влаги; C_v — объемная теплоемкость воды.

С учетом этого закона и исходя из закона сохранения энергии в элементарном слое $\Delta x \rightarrow 0$ за малый отрезок времени $\Delta t \rightarrow 0$ получают дифференциальное уравнение теплопередачи по оси x (по вертикали):

$$C_{\text{п}} \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{\text{п}} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + C_{\text{в}} \frac{\partial (q_{\text{в}} \theta)}{\partial x}, \quad (3.34)$$

где t — время; $C_{\text{п}}$ — объемная теплоемкость почвы, существенно зависящая от ее влажности:

$$C_{\text{п}} = C_{\text{ск}}(1 - p) + C_{\text{в}}\omega, \quad (3.35)$$

где $C_{\text{ск}}$ — теплоемкость скелета почвы; p — пористость; ω — объемная влажность почвы; теплоемкостью воздуха ввиду ее малости можно пренебречь.

Для среднесуглинистой почвы примерно можно считать $C_{\text{п}} = 4,2(0,4 + 3\sqrt{\omega})10^{-3}$, Дж/см/с/град. При увеличении объемной влажности почвы с 0,2 до 0,5 теплопроводность увеличивается в 1,5 раза.

Уравнение (3.34) решают совместно с уравнением движения почвенной влаги (3.53) при соответствующих начальных и граничных условиях. По этим уравнениям оценивают мероприятия, связанные с управлением температурным режимом почв (тепловые мелиорации). К ним относятся: изменение структуры радиационного баланса (изменение отражающей способности с помощью покрытий — торф, песок, мел, синтетические пленки и т. п.), изменение тепловых свойств почвы — теплоемкости и теплопроводности (главным образом путем регулирования влажности, а также добавлением в почву торфа, навоза, песка).

В некоторых случаях применяют прямой подогрев почвы термальными водами тепловых и атомных ТЭЦ вместо охлаждения воды в градирнях. Теплую воду пропускают через систему пластмассовых труб, уложенных в почву на глубину около 0,5 м. Такая система построена возле Курской АЭС; она не только ускоряет сроки созревания растений и повышает их урожайность, но при этом способствует уменьшению загрязнения атмосферы, возникающего при охлаждении воды в градирнях.

Нужно учитывать, что распашка и сельскохозяйственное использование земель сопровождаются изменением альбедо деятельной поверхности, а следовательно, изменением всех составляющих теплового баланса. Полагают, что изменение радиационного баланса пропорционально изменению альбедо:

$$R_{\text{с}} = R_{\text{е}} \frac{1 - A_{\text{с}}}{1 - A_{\text{е}}}, \quad (3.36)$$

где $R_{\text{с}}$ и $R_{\text{е}}$ — радиационный баланс сельскохозяйственных угодий и естественной поверхности; $A_{\text{с}}$ и $A_{\text{е}}$ — то же, альбедо.

Распашка заметно снижает альбедо, что сопровождается увеличением радиационного баланса, для разных почв и растительного покрова оно составляет 7...12 %. В результате почва становится теплее, испарение влаги увеличивается, и для холодной переувлажненной зоны эти изменения положительные, они способствуют увеличению урожайности за счет лучшей тепло- и влагообеспеченности. В степной, сухостепной и полупустынной зонах распашка и увеличение радиационного баланса сопряжены с увеличением засушливости территории и с некоторым снижением урожайности, поэтому потребность в орошении становится больше, чем это следует из оценки тепло- и влагообеспеченности для естественных условий. Надо также иметь в виду, что повышение испарения сопровождается увеличением теплообмена между почвой и атмосферой.

Орошение распаханых земель приводит не только к увеличению влажности почв и приземного слоя воздуха, но и к дальнейшему повышению радиационного баланса за счет снижения альбедо. Осушение распаханых земель, напротив, увеличивает альбедо и снижает радиационный баланс по сравнению с неосушаемыми территориями. Тем самым водные мелиорации позволяют регулировать гидротермический режим и, в известной степени, компенсировать изменение теплового баланса территории при сельскохозяйственном использовании.

3.5. КРУГОВОРОТ ВОДЫ В ПРИРОДЕ, ДВИЖЕНИЕ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Вода обладает уникальными свойствами, делающими ее незаменимым фактором, участвующим во всех природных процессах, а также в жизни людей. Она имеет довольно большую плотность, малую вязкость, хорошую растворяющую способность, высокую теплоемкость и теплопроводность, большую скрытую теплоту парообразования и плавления; молекулы воды имеют малые размеры. Вода является непрременным участником фотосинтеза — единственного природного процесса, обеспечивающего жизнь на Земле. Она выполняет термостатирующую функцию, являясь высокоподвижной, переносит громадное количество растворенных веществ, тем самым обеспечивает растения элементами питания. Она — обязательный компонент практически всех технологических процессов сельскохозяйственного и промышленного производства.

Многие физические свойства воды аномальны. Плотность воды в интервале 100...4 °С нормально возрастает, как и у большинства других жидкостей. Однако, достигнув максимального

значения (1 г/см^3 при $3,98^\circ\text{C}$, которая условно принята за единицу массы), при дальнейшем охлаждении уменьшается, а при замерзании скачкообразно падает, тогда как почти у всех остальных веществ кристаллизация сопровождается увеличением плотности. Вода может значительно переохлаждаться, т. е. оставаться в жидком состоянии ниже температуры плавления (даже при -30°C).

Удельная теплоемкость, удельная теплота плавления и кипения воды аномально высоки по сравнению с другими веществами, причем удельная теплоемкость воды минимальна при 40°C . Вязкость воды с повышением давления уменьшается, а не повышается, как следовало бы ожидать по аналогии с другими жидкостями. Сжимаемость воды крайне невелика, причем с возрастанием температуры уменьшается.

Гигроскопическая, или связанная, почвенная влага в виде тонкой, толщиной в несколько молекулярных слоев, пленки на твердых частицах почвы также обладает рядом особых свойств из-за сильного притяжения твердой фазой, отличающих ее от капельно-жидкой объемной влаги: имеет большую плотность, сдвиговую прочность, не растворяет вещества, которые растворимы в объемной влаге, имеет пониженную (от -4 до -78°C) температуру замерзания. Она недоступна растениям, всасывающая сила корней которых не может преодолеть силы поверхностного натяжения, удаляется из почвы только при нагревании до $100\dots 105^\circ\text{C}$.

Вода широко распространена в природе. Гидросфера — водная оболочка Земли, включающая океаны, моря, озера, водохранилища, реки, подземные воды, почвенную и атмосферную влагу, составляет около $1,4\dots 1,5$ млрд км^3 , распределение запасов вод по частям гидросферы приведено в таблице 3.1; на долю вод суши приходится всего около $84\,000$ тыс. км^3 , или 6% .

3.1. Распределение запасов вод по частям гидросферы (по М. И. Львовичу)

Часть гидросферы	Объем вод, тыс. км^3	Период водосмена, лет
Мировой океан	1370000	3000
Подземные воды	60000	5000*
В том числе активного водообмена	4000*	330*
Ледники	24000	8600
Озера	230	10
Почвенная влага	82	1
Речные русловые воды	1,2	0,032
Пары атмосферы	14	0,027
Вся гидросфера	1454245,2	2800

*Приближенные данные.

Объем ледников вместе с полярными составляет 24 млн км³; если они сразу растают, на всей поверхности Земли площадью 510 млн км² образуется слой воды толщиной 47 м: такая угроза затопления прибрежных низменностей возможна из-за наметившегося в последнее время потепления климата. На севере и северо-востоке России, на Аляске и севере Канады — общей площадью около 16 млн км² — всегда сохраняется подпочвенный слой льда (всего около 0,5 млн км³), это зона многолетней мерзлоты.

В земной коре значительные количества воды находятся в связанном состоянии, входя в состав некоторых минералов и горных пород (гипс, гидратированные формы кремнезема, гидросиликаты и др.). Огромные количества воды (13...15 млрд км³) сосредоточены в более глубоких недрах мантии Земли. Выход воды, выделявшейся из мантии в процессе разогревания Земли на ранних стадиях ее формирования, и дал, по современным воззрениям, начало гидросфере. Ежегодное поступление воды из мантии и магматических очагов составляет около 1 км³. Вода входит в состав всех живых организмов, причем в целом в них содержится лишь вдвое меньше воды, чем во всех реках Земли. В живых организмах количество воды, за исключением семян и спор, колеблется между 60 и 99,7 % по массе.

Все воды Земли постоянно взаимодействуют между собой, а также с атмосферой, литосферой и биосферой, обеспечивая смену вод (см. табл. 3.1), скорость водосмена в разных частях гидросферы существенно отличается, что надо учитывать при оценке загрязнения вод и самоочистки.

Вода в природных условиях всегда содержит растворенные соли, газы и органические вещества. Их количественный состав меняется в зависимости от происхождения воды и окружающих условий. При концентрации солей до 1 г/л воду считают пресной, до 10 г/л — солоноватой, до 50 г/л — соленой, более 50 г/л — рассолы.

Наименее минерализованными водами являются атмосферные осадки (в среднем около 0,01...0,02 г/л), затем пресные озера и реки (0,05...1 г/л). Соленость океана составляет около 35 г/л; моря имеют меньшую минерализацию (Черное — 17...20 г/л; Балтийское — 8...16; Каспийское — 11...13 г/л). Минерализация подземных вод вблизи поверхности в условиях избыточного увлажнения составляет до 1 г/л, в засушливых условиях — до 100 г/л, в глубинных артезианских водах колеблется в широких пределах. Максимальные концентрации солей наблюдаются в соляных озерах — до 300 г/л и у глубоководных подземных вод — до 600 г/л.

Из растворенных газов в природных водах присутствуют азот, кислород, диоксид углерода, благородные газы, редко — сероводород и углеводороды. Количество растворенных газов уменьшается с увеличением ее температуры, поэтому затопление посевов летом бо-

лее опасно, чем весной. Концентрация органических веществ невелика — в среднем в реках около 20 мг/л, в подземных водах еще меньше, в океане — около 4 мг/л. Исключение составляют воды болотные, нефтяных месторождений и загрязненные промышленными и бытовыми стоками, где количество их бывает больше. Качественный состав органических веществ разнообразен и включает различные продукты жизнедеятельности организмов, населяющих воды, и соединения, образующиеся при распаде их остатков.

В природе существует круговорот воды, связанный с ее испарением с океанов и суши, переносом водяных паров воздушными потоками, конденсацией и выпадением на поверхность суши и океана, возвратом вод в океан.

Количественно влагооборот можно описать балансом влаги, т. е. равенством приходных, расходных составляющих влагооборота и изменения запасов, а также временем смены вод. При составлении баланса влаги непременно нужно оговорить объем тела, для которого составляют баланс (озеро, объем почвы, бассейн подземных вод); указать временной интервал, для которого составляют баланс. Часто для общей характеристики влагооборота используют установившиеся среднеголетние показатели, тогда изменение запасов влаги с начала и до конца года можно не учитывать. А вот если, например, составлять баланс влаги за лето, то обязательно нужно учитывать разные запасы влаги на его начало и конец. Статьи водного баланса и его запасы выражают для определенной территории в кубических метрах, иногда в кубических километрах; для единицы площади — в миллиметрах слоя воды (мм) или в кубических метрах на 1 га. Структура водного баланса зависит от степени открытости геосистемы, выраженности тех или иных составляющих влагооборота.

Наиболее проста структура водного баланса всей планеты Земля, которая не обменивается водой с окружающей Вселенной. Среднеголетний баланс здесь выглядит так: испарение с поверхности океанов и суши (525 тыс. км³) равно атмосферным осадкам. С учетом площади поверхности Земли 510,2 млн км² слой осадков и испарения равны и составляют 1030 мм. Отметим, что суммарные запасы всех вод на Земле (1,4...1,5 млрд км³) гораздо больше вовлеченных в круговорот (525 тыс. км³). Из всех запасов 96,5% — это соленые воды океанов и морей. Запасов пресных вод на суше всего 35 млн км³, из которых две трети сосредоточены в ледниках и снежном покрове Антарктиды и Арктики.

Водный баланс суши составляет:

Осадки, тыс. км ³ (мм)	Площадь суши, млн км ²	Испарение, тыс. м ³ (мм)
113 (758)	149,1 (29,2% всей поверхности Земли)	69 (463)

Помимо осадков и испарения водный баланс суши включает еще одну расходную статью — поверхностный и подземный сток в Мировой океан, равный 44 тыс. км³, из которых:

Речной сток, тыс. км ³	39,4
В том числе:	
поверхностный и паводковый сток	2,74
подземный сток в реки	12,0
Подземный сток непосредственно в Мировой океан, тыс. км ³	2,4
Сток в виде льда, тыс. км ³	2,2
Общий сток с суши в океан, мм	295

Для Мирового океана, занимающего площадь 361,1 млн км², или 70,8 % суши, баланс выглядит так: осадки — 412 тыс. км³ (1140 мм), испарение — 456 тыс. км³ (1263 мм), приток с суши — 44 тыс. км³ (122 мм).

Структура водного баланса отдельных участков суши зависит от их широтного расположения и удаленности от океанов (степени континентальности). Составляющие среднемноголетнего водного баланса для некоторых ландшафтов приведены в таблице 3.2.

3.2. Статьи водного баланса для ландшафтов разных зон, мм/год

Ландшафт	Осадки	Испарение	Сток
Тундровые восточноевропейские	500	270	230
Среднетаежные восточноевропейские	625	375	250
Южнотаежные восточноевропейские	650	420	230
Широколиственные:			
западноевропейские	750	525	225
восточноевропейские	625	430	195
Лесостепные:			
восточноевропейские	600	440	160
западносибирские	390	330	60
Степные восточноевропейские	550	440	110
Полупустынные казахстанские	300	290	10
Пустынные туранские	150	150	0
Субтропические влажные восточноазиатские	1600	800	800
Пустынные тропические североафриканские	10	10	0
Саванные североафриканские:			
типичные	750	675	75
влажные	1200	960	240
Влажные экваториальные:			
центральноафриканские	1800	1200	600
амазонские	2500	1250	1250

Следует отметить очень сильную вариацию годовых сумм осадков по сравнению со средней для всей суши. Испарение во влажных холодных ландшафтах ограничивается недостатком теплоты, а в засушливых — недостатком влаги. Помимо испарения используют понятие «испаряемость» — количество влаги, которая может

испариться исходя из тепловых ресурсов местности при неограниченном количестве осадков, идущих на увлажнение почвы. Орошение в засушливых районах существенно увеличивает испарение, доводя его до испаряемости.

Помимо общего водного баланса территории для понимания природных процессов и решения важных практических задач необходимо составлять частные балансы для поверхностных, почвенных, подземных безнапорных и напорных вод, которые позволяют оценить влагообмен между отдельными природными телами, что, например, нужно при описании передвижения загрязняющих веществ.

Влага, выпадающая на поверхность суши, идет частично на увлажнение листьев и испаряется с них, не доходя до поверхности почвы. При сильных осадках или при таянии снега часть воды не успевает впитаться и стекает в реки, доля поверхностного стока на влажных территориях может превышать половину суммы осадков. Впитываемая влага в основном расходуется на транспирацию растениями, которые используют очень много воды для производства единицы фитомассы: в среднем для естественного растительного покрова на 1 кг сухой фитомассы расходуется 400 кг воды. Сельскохозяйственным растениям на производство 1 кг продукции необходимо: зерновым культурам — 900...1200 кг воды, овощам — 200...250, картофелю — около 180, хлопчатнику — 1500...2000, а самой влаголюбивой культуре — рису, растущему под слоем воды, — 3500...4500 кг воды.

Некоторая часть воды испаряется с поверхности почвы в зависимости от ее влажности и затененности растениями, оставшаяся часть просачивается вглубь, питая подземные воды, хотя на подтопленных территориях подземные воды за счет капиллярных сил могут подниматься вверх и потребляться корнями растений. В засушливых районах при высокой минерализации подземных вод это приводит к засолению земель.

Водный баланс в широколиственном лесу, расположенном на водораздельной территории, для среднего года примерно такой, мм:

Осадки — 750

Испарение с поверхности листьев — 70

Поступает на поверхность почвы $750 - 70 = 680$

Поверхностный сток — 140

Впитывается в почву $680 - 140 = 540$

Испарение с поверхности почвы — 60

Транспирация деревьями — 400

Просачивается вглубь $540 - 60 - 400 = 80$

В атмосферу с данной территории возвращается $70 + 60 + 400 = 530$ мм, т. е. существенно меньше, чем выпадает в виде осадков,

следовательно, данная территория существует за счет постоянного притока воды извне вместе с воздушными потоками.

Частные балансы (равенства) для поверхностных, почвенных, безнапорных и напорных подземных вод суши за некоторый промежуток времени, добавив искусственные, управляемые человеком статьи (орошение, дренаж), можно записать в следующем виде:

$$\Delta W_{\text{пов}} = O_{\text{с}} - I_{\text{л}} - I_{\text{вп}} + П_{\text{пов}} - O_{\text{пов}} - B_{\text{н}} + M; \quad (3.37)$$

$$\Delta W_{\text{почв}} = B_{\text{н}} - I_{\text{п}} - Tr - g; \quad (3.38)$$

$$\Delta W_{\text{гр}} = g + \Phi_{\text{к}} + П_{\text{гр}} - O_{\text{гр}} + P - Dr; \quad (3.39)$$

$$\Delta W_{\text{нп}} = -P + П_{\text{нп}} - O_{\text{нп}} - Dr_{\text{нп}}, \quad (3.40)$$

где $\Delta W_{\text{пов}}$, $\Delta W_{\text{почв}}$, $\Delta W_{\text{гр}}$, $\Delta W_{\text{нп}}$ — изменение запасов поверхностных, почвенных, подземных безнапорных и напорных вод; $O_{\text{с}}$ — атмосферные осадки; $I_{\text{л}}$, $I_{\text{вп}}$, $I_{\text{п}}$, Tr — испарение с листьев, водной поверхности, с почвы, транспирация растениями; $П_{\text{пов}}$, $П_{\text{гр}}$, $П_{\text{нп}}$, $O_{\text{пов}}$, $O_{\text{гр}}$, $O_{\text{нп}}$ — приток на балансовую территорию соответственно поверхностных, подземных безнапорных и напорных вод, а также отток этих вод с территории; $B_{\text{н}}$ — впитывание влаги в почву; g — просачивание (инфильтрация) части почвенной влаги в грунтовые воды; иногда это может быть и капиллярное подпитывание, т. е. с обратным знаком; P — напорное подпитывание со стороны глубже залегающих напорных подземных вод, которое также может быть и с обратным знаком, т. е. разгрузка безнапорных вод в напорный пласт при соответствующем соотношении напоров в этих пластах, особенно когда воду откачивают из напорного пласта. *Искусственные статьи баланса:* M — подача воды на орошение; $\Phi_{\text{к}}$ — питание грунтовых вод за счет фильтрации из каналов; Dr — отвод безнапорных вод дренажем; $Dr_{\text{нп}}$ — откачка напорных вод.

Если сложить четыре приведенных балансовых равенства, то в них сократятся важные статьи: впитывание в почву, инфильтрация в грунтовые воды, взаимодействие между безнапорными и напорными подземными водами, что существенно обеднит анализ влагооборота.

При непосредственном определении всех статей баланса выражения (3.37)...(3.40) позволяют оценить невязку баланса из-за погрешностей измерения и характеризовать точность баланса. Вместо балансовых равенств можно записывать *уравнения баланса*, в которых могут содержаться неизвестные трудноизмеряемые статьи, но при их вычислении надо иметь в виду, что неизвестная статья будет вычислена с ошибкой, равной сумме абсолютных значений погрешностей измерения всех других статей, и может превысить 100 %.

Важно составлять балансы поверхностных и подземных вод суши вместе с водами водотоков и водоемов (рек, водохранилищ, озер). В этом случае оперируют понятием «речной бассейн», кото-

рый объединяет водосборную площадь и реку со всеми ее притоками. Для такой территории составляют водохозяйственные балансы, где подробно расписывают все естественные составляющие: осадки, испарение, сток, инфильтрацию, а также водозабор поверхностных и подземных вод для разных нужд, объем возвратных вод. Такие расчеты нужны при принятии решений о водораспределении, пополнении запасов, недопущении загрязнения при сбросе вод потребителями и др.

Человек может регулировать приток и отток вод с территории, существенно изменяя структуру водного баланса для повышения продуктивности территории, управлять потоками влаги для решения проблем загрязнения. При этом надо иметь в виду, что статьи водного баланса сильно взаимосвязаны: например, изменение увлажненности территории в результате орошения меняет практически все другие статьи — испарение, инфильтрацию, поверхностный и подземный отток.

Зональную тепло- и влагообеспеченность можно оценивать осредненными по территории среднесезонными годовыми показателями радиационного баланса R и суммой атмосферных осадков O_c , которые вместе формируют суммарное испарение E_c и речной сток (поверхностный и подземный):

$$C_m = O_c - E_c.$$

Типичное для зоны, но не для конкретного участка суммарное испарение можно определить по формуле М. И. Будьки:

$$E_c = O_c \sqrt{I_c \operatorname{th} \frac{1}{I_c} (1 - \operatorname{ch} I_c + \operatorname{sh} I_c)}, \quad (3.41)$$

где $I_c = 10R/(LOc)$ — индекс сухости; L — теплота парообразования воды, равная $2,26 \text{ кДж/см}^3$; O_c — годовое количество атмосферных осадков, мм (произведение LOc означает, сколько теплоты надо для испарения всех выпавших осадков).

Помимо этого используют так называемые «потенциальные оценки», применяя понятие испаряемости E_0 , т. е. максимального испарения с суши, включающего и транспирацию растениями при оптимальном для них увлажнении, которое зависит только от обеспеченности теплотой. К таким оценкам относят коэффициент увлажнения А. Н. Костякова $K_y = O_c/E_0$, индекс сухости М. И. Будьки, а в теплый период также и показатель дефицита увлажнения — разность между испаряемостью и осадками за это время. Последний показатель характеризует примерную оросительную норму, так как при увлажнении стараются суммарное испарение

приблизить к максимально возможному для получения высокого урожая; более точно оросительную норму определяют по формулам (7.7), (7.8). Зональные значения годовой испаряемости примерно можно оценить по формуле В. Р. Волобуева, мм:

$$E_0 = 19R^{0,67}. \quad (3.42)$$

Зональные значения тепло- и влагообеспеченности, характерные для природных зон европейской части России и Западной Сибири, приведены в таблице 3.3.

3.3. Зональная тепло- и влагообеспеченность европейской части России и Западной Сибири (средние годовые значения)

Природные зоны	Осадки, мм	Радиационный баланс, кДж/см ²	ФАР, кДж/см ²	Индекс сухости	Испарение, мм	Речной сток, мм	Испаряемость, мм	Кэф-фициент увлажне-ния
<i>Европейская часть России</i>								
Тундра	500	75	125	0,66	270	230	343	1,46
Средняя тайга	625	110	165	0,78	376	249	443	1,41
Южная тайга	650	130	185	0,88	422	228	496	1,31
Широколи- ственная	625	140	195	0,99	432	193	521	1,20
Лесостепь	600	150	205	1,11	437	163	545	1,10
Степь	550	170	225	1,37	438	112	593	0,93
Сухая степь	400	200	255	2,21	365	35	661	0,60
Полупустыня	300	210	270	3,10	288	12	683	0,44
Пустыня	150	230	290	6,78	149	1	726	0,21
<i>Западная Сибирь</i>								
Тундра	375	38	90	0,45	149	226	217	1,73
Северная тайга	475	57	110	0,67	259	216	285	1,67
Средняя тайга	525	80	135	0,94	353	172	358	1,47
Южная тайга	500	105	160	1,24	383	117	429	1,16
Северная лесо- степь	405	130	185	1,53	336	69	496	0,82
Южная лесо- степь	375	143	200	1,69	321	54	528	0,71
Колочна и ти- пичная степь	325	170	225	2,01	291	34	593	0,55
Сухая степь	250	180	235	2,11	226	24	614	0,41

Индекс сухости и коэффициент увлажнения характеризуют оптимальность зональной тепло- и влагообеспеченности. Замечено, что когда они оба близки к единице (в лесостепи), формируются наиболее плодородные устойчивые почвы и наблюдается наибольшая продуктивность зеленых растений. В зонах с $K_y > 1$ и $I_c < 1$ имеется недостаток теплоты и относительный избыток влаги, хотя в тундре осадков гораздо меньше, чем в лесной зоне. При обрат-

ных соотношениях для полного использования теплоты осадков явно не хватает. Эти соотношения только в первом приближении характеризуют направленность водных мелиораций. Всегда надо иметь в виду, что приведенные значения тепло- и влагообеспеченности характеризуют данную зону в среднем, возвышенные фации из-за повышенного оттока меньше обеспечены влагой, а пониженные из-за значительного притока могут даже заболачиваться, несмотря на благополучную в среднем ситуацию. Переувлажненные земли всегда азональны, их нельзя характеризовать зональными значениями.

Ранее отмечалось, что распашка земель и изменение состава растительности (сводка леса) влияют не только на составляющие теплового, но и водного баланса (соотношение между поверхностным и подземным стоком). В засушливых районах возрастает не только испарение, но и довольно существенно — поверхностный сток, уменьшается интенсивность влагообмена между почвенными и грунтовыми водами. В результате снижается урожайность. Увеличение поверхностного стока приводит к водной эрозии, оврагообразованию, усиливаются половодья и наводнения, ухудшается качество речных вод из-за смыва загрязняющих веществ.

В пониженных местах уменьшение промываемости почвы и увеличение испарения могут провоцировать засоление почвы при минерализованных грунтовых водах. Орошение в засушливых районах в 1,5...2,5 раза увеличивает увлажненность территории, из-за этого коренным образом меняется вся структура водного баланса: резко увеличивается транспирация (для этого и проводят поливы, чтобы увеличить продуцирование биомассы), при несоблюдении поливных норм могут увеличиваться поверхностный сток и эрозия, а также промываемость почвы (задача поливальщиков — сократить эти потери, уменьшая поливные нормы, предположившую влажность). Повышенная промываемость и потери воды из оросительной сети увеличивают питание подземных вод, вызывая их подъем с угрозой вторичного засоления почв. Это требует строительства дренажа и решения проблемы относительно минерализованных дренажных вод.

На переувлажненных пониженных землях почти всегда наблюдаются восходящие потоки влаги. Распашка земель и увеличение испарения этот поток влаги увеличивают, но осушение, связанное с понижением уровня и ускорением отвода грунтовых вод, изменяет водообмен на обратный (на промывной), что нежелательно из-за выноса из почвы полезных веществ.

Рассмотрев влияние сельскохозяйственного освоения и мелиорации земель на водный баланс, можно сделать вывод, что простейшие балансовые равенства (3.37)...(3.40) применить можно, но их необходимо дополнить уравнениями движения вод, чтобы

учесть взаимозависимость между статьями водного баланса, а также описать впитывание влаги в почву, ее перераспределение по глубине, определить влагообмен между почвенными и подземными водами, во многом определяющий направленность почвообразовательных процессов (промывка, выщелачивание, соленакопление и др.). Эти уравнения служат основой при расчете режима поливов, определении инфильтрационной нагрузки на дренаж. Поведение загрязняющих веществ в почве и в подземных водах можно достоверно описать, только зная передвижение влаги, которая является главным носителем растворенных веществ.

На основании уравнений движения влаги можно строить математические модели. Модель должна учитывать особенности генетического строения почвы, различия физических, водных и химических свойств отдельных горизонтов и подстилающих их грунтов. Необходимо рассчитывать передвижение влаги в широком диапазоне влагонасыщенности: от сильного иссушения до почти полного насыщения при осадках или поливах, а также конкретный график выпадения атмосферных осадков, переменное во времени испарение с поверхности почвы, зависящее также от влажности ее верхних слоев, изменяющееся во времени и по глубине расходование влаги на транспирацию путем отбора корнями растений, конкретный график поливов, назначаемых по определенному критерию.

Вода в почве движется за счет двух факторов — градиента сил, выводящих ее из равновесия, и проводимости почвы. Многочисленные опыты показали, что движение влаги в почве может быть описано законом Дарси [см. формулу (3.16)], по которому скорость движения линейно зависит от градиента действующих сил.

В почве преобладают вертикальные потоки влаги, поэтому рассмотрим одномерное вертикальное движение влаги через призматический объем почвы с площадью сечения F , m^2 , и высотой L , m (рис. 3.1). Расположим начало координат на поверхности земли и направим ось x вниз. Предположим, что в рассматриваемом объеме почвы движение почвенной влаги неустановившееся, вызванное увлажнением с поверхности. Тогда за время Δt , сут, в этом объеме эпюра влажности из-

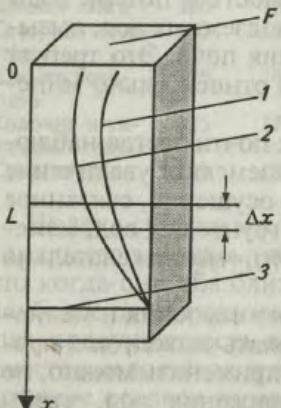


Рис. 3.1. Схема к выводу дифференциального уравнения влагопереноса в почве:

1, 2 — эпюра влажности ω (положение 1, 2); 3 — уровень грунтовых вод

менит положение 2, приняв положение 1. Рассмотрим баланс почвенной влаги в небольшом слое толщиной Δx за время Δt . За это время в нем накопятся запасы влаги, равные $\Delta\omega\Delta xF$, m_B^3 (ω — объемная влажность почвы, т. е. отношение объема влаги ко всему объему почвы, имеющая размерность $m_B^3 \cdot m^{-3}$, где m_B^3 — $1 m^3$ почвенной влаги). В соответствии с законом сохранения вещества это изменение должно равняться разности между притоком влаги в этот слой и расходом из него.

Объем притока влаги через верхнее сечение слоя Δx равен $vF\Delta t$, m_B^3 , где v — скорость движения влаги в этом сечении, $m_B^3 \cdot m^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$. На выходе из этого слоя скорость изменится и станет равной $v + \Delta v$, где Δv — приращение скорости. Из этого слоя возможен отбор влаги корнями растений e_k . Выразим его в виде единичной интенсивности отбора влаги в $m_B^3 \cdot \text{сут}^{-1}$ из $1 m^3$ почвы. В этом случае расход влаги из слоя Δx будет равен $(v + \Delta v)F\Delta t + e_k\Delta xF\Delta t$, m_B^3 . Запишем уравнение баланса почвенной влаги:

$$\Delta\omega\Delta xF = vF\Delta t - (v + \Delta v)F\Delta t - e_k\Delta xF\Delta t \quad (3.43)$$

или, после некоторых упрощений:

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta t} = -\frac{\Delta v}{\Delta x} - e_k. \quad (3.44)$$

Это уравнение в конечных разностях, удобное для численного решения на ЭВМ. Если устремить Δt и Δx к нулю, получим дифференциальное уравнение движения почвенной влаги:

$$\frac{\partial\omega}{\partial t} = -\frac{\partial v}{\partial x} - e_k. \quad (3.45)$$

Используя ранее записанный закон Дарси (3.16) для описания скорости фильтрационного потока, получим

$$\frac{\partial\omega}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_w \frac{dH}{dx} \right) - e_k, \quad (3.46)$$

где k_w — коэффициент влагопроводности, $m_B^3 \cdot m^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$, характеризующий сопротивление, которое встречает влага при движении в пористом пространстве; H — напор почвенной влаги, м.

Влагопроводность зависит от формы и размеров пор и степени их заполнения водой. При полном насыщении коэффициент влагопроводности называют коэффициентом фильтрации k_f ; из вы-

ражения (3.16) следует, что он равен скорости фильтрации влаги при градиенте напора, равном единице. Первым зависимость влагопроводности от влажности предложил С. Ф. Аверьянов в 1947 г. Для диапазона влажности от полного насыщения, т. е. от пористости p , до максимальной молекулярной влагоемкости ММВ

$$k_{\omega} = k_{\Phi} \left(\frac{\omega - \text{ММВ}}{p - \text{ММВ}} \right)^{3,5}; \quad (3.47)$$

желая расширить диапазон передвижения влаги до максимальной гигроскопичности $\omega_{\text{м}}$ (при сильном иссушении верхних горизонтов почвы ее влажность может быть меньше ММВ), А. И. Голованов предложил несколько видоизмененную зависимость

$$k_{\omega} = k_{\Phi} \left(\frac{\omega - \omega_{\text{м}}}{p - \omega_{\text{м}}} \right)^5. \quad (3.48)$$

Причина движения почвенной влаги — разность ее потенциалов в соседних точках пространства. Потенциал почвенной влаги характеризует ее энергетическое состояние, способность производить работу. Обычно влага довольно прочно удерживается силами притяжения к скелету почвы, так как она не способна производить работу при перемещении, работу приходится затрачивать, поэтому ее потенциал при обычной полевой влажности отрицателен. В связи с этим под потенциалом почвенной влаги понимают работу, взятую с обратным знаком, необходимую для изотермического и обратимого перемещения единицы массы чистой воды из рассматриваемой точки почвы в состояние сравнения, например на поверхность почвы, или на уровень грунтовых вод, или на ту же высоту, но в почвенный раствор определенной концентрации. Из формулы (3.8) следует, что составляющими потенциала почвенной влаги являются гравитационный, каркасный, капиллярный, осмотический, температурный, электрический потенциалы.

Гравитационный потенциал характеризует энергию, содержащуюся в почвенной влаге, которая находится в гравитационном поле Земли, в связи с различным ее высотным положением по отношению к плоскости сравнения. Если плоскость сравнения ниже рассматриваемой точки, то потенциал положительный, так как единица массы воды может совершить работу, перемещаясь вниз. В противном случае, если плоскость сравнения выше данной точки, например на поверхности земли, то потенциал отрицателен.

Каркасный потенциал всегда отрицателен и вызывается силами молекулярного притяжения к твердой фазе почвы ближайших мо-

лекулярных слоев воды, он действует на небольшом расстоянии, но очень значителен, измеряется десятками и сотнями метров водного столба, поэтому влага, на которую действуют эти силы, малоподвижна и почти недоступна растениям.

Капиллярный потенциал возникает при неполном влагонасыщении почвы в результате возникновения капиллярного давления под вогнутыми менисками воды в порах почвы на границе вода — почвенный воздух, что объясняется хорошим смачиванием скелета почвы водой. Капиллярные силы не очень крепко связывают почвенную влагу, растения могут ее отбирать корнями, капиллярная влага достаточно подвижна.

И каркасный, и капиллярный потенциалы формулируются как работа с обратным знаком, которую надо совершить для изотермического обратимого переноса 1 г почвенного раствора из почвы в свободный раствор той же концентрации, расположенный на той же высоте.

Осмотический потенциал появляется из-за наличия в почвенной влаге растворенных веществ и возникновения осмотического давления. Он равен работе с обратным знаком, которую надо совершить для изотермического обратимого переноса 1 г чистой воды из почвенного раствора в свободный раствор той же концентрации, расположенный на той же высоте и при том же внешнем давлении. Осмотический потенциал отрицателен, прямо пропорционален концентрации почвенного раствора, на засоленных землях он уменьшает доступность влаги растениям и его учитывают при перемещении влаги, особенно при неравномерном по глубине засолении. На незасоленных землях осмотический потенциал относительно невелик и в первом приближении его можно не учитывать. Для условий поля можно также пренебречь температурным и электрическим потенциалами.

Потенциал почвенной влаги, измеряемый в Дж/г, учитывая, что плотность воды близка к 1 г/см^3 , заменяют эквивалентным ему давлением или напором, выраженным в метрах: $1 \text{ Дж/г} = 10 \text{ бар} = 1 \cdot 10^6 \text{ Па} = 102 \text{ м водного столба}$.

Вызывает передвижение влаги ее полный напор, который для незасоленных почв принимают состоящим из гравитационного и каркасно-капиллярного напоров. Гравитационный напор равен ординате рассматриваемой точки в принятой системе координат; если начало отсчета на поверхности земли, то он равен $-x$, т. е. глубине рассматриваемой точки. Каркасно-капиллярный напор ψ зависит от гранулометрического и агрегатного состава почвы, размеров и формы пор и насыщенности пор влагой. В зоне неполного насыщения $\psi < 0$, на поверхности грунтовых вод $\psi = 0$, под уровнем грунтовых вод каркасно-капиллярный напор заменяют гидростатическим напором, т. е. высотой жидкости над рассмат-

риваемой точкой, он положителен, $\psi > 0$ и равен $\psi = -x - h_r$, где h_r — глубина грунтовых вод. Такое объединение напоров существенно упрощает рассмотрение передвижения влаги как в капиллярной кайме, так и под уровнем грунтовых вод. Таким образом, полный напор влаги в системе координат (рис. 3.2)

$$H = -x + \psi. \quad (3.49)$$

В капиллярной кайме при отсутствии передвижения влаги равновесная эпюра влажности очерчивает зависимость каркасно-капиллярного напора от влажности (см. рис. 3.2). При отсутствии в ней движения градиент полного напора по глубине должен быть равен нулю, т. е. $H_1 = H_2$, геометрически (см. рис. 3.2): $\psi_1 = h_r - x_1$, а $\psi_2 = h_r - x_2$; подставляя в формулу (3.49), получаем $H_1 = -x_1 - h_r + x_1 = -h_r$ и $H_2 = -x_2 - h_r + x_2 = -h_r$, т. е. действительно $H_1 = H_2$. Следовательно, ординаты равновесной эпюры влажности, отсчитываемые от поверхности грунтовых вод и взятые с обратным знаком, являются значениями каркасно-капиллярного напора.

Связь между влажностью и каркасно-капиллярным напором можно описать, измерив в поле равновесную эпюру влажности в капиллярной кайме, что возможно при неглубоких грунтовых водах. Обработав такие эпюры, получают математическую зависимость ω от ψ :

$$\left(\frac{\omega - \omega_m}{p - \omega_m} \right) = \exp \left[\left(\frac{|\psi|}{\mu h_k} \right)^n \right], \quad (3.50)$$

где ψ — каркасно-капиллярный потенциал, м; μ и n — безразмерные эмпирические коэффициенты; h_k — высота капиллярного поднятия, м.

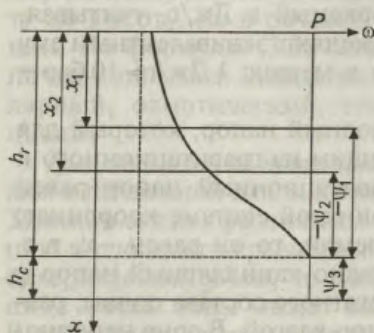


Рис. 3.2. Составляющие напора почвенной влаги

Выразим формулу (3.45) в следующем виде:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\partial \omega}{\partial H} \frac{\partial H}{\partial t} = C_\omega \frac{\partial H}{\partial t};$$

$$C_\omega = \partial \omega / \partial H, \quad (3.51)$$

где C_ω — коэффициент влагоемкости, $\text{м}^3 \cdot \text{м}^{-4}$.

В простейшем случае при $\mu = 1$, $n = 1$

$$C_\omega = (\omega - \omega_m) / h_k. \quad (3.52)$$

Дифференциальное уравнение одномерного вертикального пере-

движения влаги в почве и под уровнем грунтовых вод имеет вид

$$C_{\omega} \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_{\omega} \frac{\partial H}{\partial x} \right) - e_{\kappa}. \quad (3.53)$$

Для решения такого уравнения нужно задать одно начальное и два граничных условия, исходя из смысла задачи. Начальными являются исходная глубина грунтовых вод и эпюра влажности над ними, например весной с учетом увлажнения тальными водами. При многолетних прогнозах точность начальных условий несущественна, она сказывается в первые один-два года. Условия на поверхности почвы должны учитывать потоки влаги, расходуемой на

испарение $e_{\text{п}}$, т. е. $k_{\omega} \frac{\partial H}{\partial x} \Big|_{x=0} = -e_{\text{п}}$, или поступление поливной

воды при дождевании интенсивностью q , $k_{\omega} \frac{\partial H}{\partial x} \Big|_{x=0} = q$. При поливе затоплением слоем h_3 $H(x=0) = h_3$. Суточные осадки учитывают мгновенным приращением влагозапасов в день их выпадения.

Расходование влаги на испарение и транспирацию принимают зависящим от погодных условий, влажности и засоленности почвы, которое разделяют на испарение с поверхности почвы — граничное условие и на транспирацию, последняя распределяется по корнеобитаемому слою пропорционально влажности почвы и плотности корней и входит в уравнение в виде интенсивности влагоотбора корнями растений из единичного объема почвы e_{κ} , $\text{м}^3 \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$. С этой целью для каждой декады теплого периода по известным средней температуре воздуха T , °С, и относительной влажности воздуха a , %, вычисляют потенциальное (при оптимальной влагообеспеченности) суммарное испарение (эвапотранспирацию) $E_{\text{пот}}$ по формуле Н. Н. Иванова, мм/сут:

$$E_{\text{пот}} = 0,0061 K_6 (25 + T)^2 (1 - 0,01a), \quad (3.54)$$

где K_6 — биологический коэффициент, учитывающий особенности конкретного растения.

Потенциальную эвапотранспирацию разделяют на потенциальное испарение с поверхности почвы $E_{\text{пот}}^{\Phi}$ и потенциальную транспирацию $E_{\text{пот}}^t$ пропорционально затененности почвы растительным покровом f_p , которая изменяется по декадам:

$$E_{\text{пот}}^{\Phi} = (1 - f_p) E_{\text{пот}} \text{ и } E_{\text{пот}}^t = f_p E_{\text{пот}}.$$

Эти потенциальные виды испарения редуцируются на каждом временном шаге:

$$E\Phi = \epsilon E_{\text{пот}}^{\Phi}; \quad \epsilon = 2w_0 - w_0^2; \quad w_0 = \frac{\omega_{\text{п}} - \omega_{\text{м}}}{0,8\rho - \omega_{\text{м}}}; \quad (3.55)$$

при влажности поверхностного 2...5-сантиметрового слоя почвы $\omega_{\text{п}} > 0,8\rho$ $\epsilon = 1$;

$$E^t = \epsilon_w \epsilon_s E_{\text{пот}}^t, \quad (3.56)$$

где $\epsilon_w = 2,718w_k \exp(-w_k)$; $w_k = \frac{\omega_k - B3}{\omega_k^{\text{opt}} - B3}$; при $w_k < B3$ $\epsilon_w = 0$; (3.57)

$$\epsilon_s = \exp[-0,2(Z - Z_{\text{доп}})^2]; \quad \text{при } Z < Z_{\text{доп}} \quad \epsilon_s = 1, \quad (3.58)$$

ϵ_w — коэффициент, учитывающий уменьшение транспирации при отклонении влажности почвы от оптимальной; ω_k — средняя влажность корнеобитаемого слоя почвы, переменная во времени; ω_k^{opt} — то же, оптимальная в данную декаду; $B3$ — влажность завядания; ϵ_s — коэффициент, учитывающий снижение транспирации из-за засоления почвы; Z и $Z_{\text{доп}}$ — фактическое и допустимое содержание солей в корнеобитаемом слое почвы.

Скорректированная транспирация E^t распределяется по глубине в заданном корнеобитаемом слое пропорционально влажности почвы и массе корней в виде интенсивности влагоотбора корнями растений из единичного объема почвы e_k .

Граничные условия внизу зависят от гидрогеологической обстановки. Можно задавать постоянную или переменную глубину грунтовых вод, складывающуюся в результате инфильтрационного питания, фильтрационных потерь из каналов, работы дренажа и других факторов. Можно задать на нижней границе расчетной толщи L водоупор или подпитывание из глубже залегающего напорного горизонта, учесть глубокое залегание грунтовых вод.

Многолетние прогнозы требуют расчета динамики водного режима и в холодные периоды. В это время принимают, что через поверхность почвы потока влаги нет, а в ее толще они затухают и наступает некоторое равновесие, весной влагозапасы увеличиваются за счет впитывания талых вод.

Детальная послойная разбивка расчетной толщи позволяет учесть водно-физические свойства всех генетических горизонтов почвы и подстилающих грунтов.

При расчете режима поливов надо задавать предполивную влажность в корнеобитаемом слое, желательную норму поливов или интенсивность искусственного дождевания.

Уравнение (3.53) в частных производных параболического типа существенно нелинейное, так как входящие в него коэффициенты k_{ω} и C_{ω} зависят от искомой влажности почвы или от ее полного напора. Поэтому оно практически не имеет теоретических решений, на практике решается методом конечных разностей в виде уравнения (3.44) с использованием специальных программ для ЭВМ.

Двумерное передвижение почвенной влаги и подземных вод по осям x и y наблюдается при фильтрации воды с прилегающих разновысоких фаций к длинным водотокам или при притоке воды к дренам. Его описывают уравнением

$$C_{\omega} \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_{\omega} \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{\omega} \frac{\partial H}{\partial y} \right) - e_k. \quad (3.59)$$

Современный математический аппарат и мощные ЭВМ позволяют в необходимых случаях моделировать и трехмерные потоки влаги, хотя объем вычислений при этом сильно возрастает. Пример использования уравнения (3.59) для описания потоков влаги в сопряженных разновысоких фациях приведен в разделе 12.6.

3.6. ГЕОХИМИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ

Вещество литосферы мигрирует в виде растворов, а также геохимически пассивных твердых продуктов денудации — обломочного материала, перемещающегося под действием силы тяжести (осыпи, оползни) с текущей водой (влекомые и взвешенные наносы, их особенно много в горных реках), в виде селей — грязекаменных потоков, с воздушными потоками — в виде пыли.

Количество твердого стока с водными потоками, или смыв, зависит от интенсивности поверхностного стока и от наличия растительности. Он особенно велик в лесостепной и степной зонах из-за сильной распашки. Так, за год в тайге он не превышает 5...10 т/км², а в лесостепи доходит до 150 т/км² вследствие сильной водной эрозии. Со стоком влекомых и взвешенных наносов суша ежегодно теряет около 23 млрд т вещества, или при плотности наносов около 2,5 г/см³ это эквивалентно смыву 0,06 мм горных пород суши.

Во многих районах значителен перенос твердого материала — пыли воздушными потоками (дефляция), интенсивность которой зависит от скорости воздушных масс, длительности ветров и, что очень важно, от защищенности поверхности растительным покровом.

вом. Одна пыльная буря в Казахстане выносит из распаханной почвы от 10 до 100 т/км², с песчаных пустынь — 5...10, с поверхности солончаков — до 1000 т/км², много сдувается торфа с поверхности осушенных и распаханых болот. Ветровая эрозия наряду с водной — очень опасные природные процессы, которые часто и на больших площадях провоцирует человек, принося большой вред прежде всего из-за разрушения почвы — главного национального богатства каждой страны, а также вывода из строя мелкой речной сети, что приводит к иссушению территории.

Воздушные потоки переносят не только химически инертную пыль, но и кристаллики солей, которые растворяются в атмосферной влаге, аэрозоли, молекулы и ионы. Поэтому в засушливых районах одна из причин засоления земель — принос солей ветром (импульверизация солей), которая может достигать 20...30 т/км² в год. Воздушные массы интенсивно распространяют на большие территории загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу промышленными объектами. Одно из следствий этого — кислотные дожди, т. е. появление в дождевых водах серной и соляной кислот, образующихся в атмосфере при сжигании топлива, богатого серой и другими веществами.

Помимо дефляции твердое вещество поступает в воздух в результате вулканической деятельности. Вулканический пепел после сильных извержений оказывает даже глобальный эффект. Из-за сильной запыленности воздуха меняется тепловой баланс атмосферы.

Геохимический круговорот растворенных в воде веществ тесно связан с влагооборотом. Масса растворенных веществ, выносимая мировым речным стоком при его объеме 39 тыс. км³ и минерализации около 0,1 г/л (надо иметь в виду, что воды крупнейших рек — Амазонки, Конго, Ганга, Янцзы, Енисея — очень пресные), примерно равна 4,7 млрд т, или 31 т с 1 км²/год, что при средней плотности растворимых горных пород около 2,5 т/м³ дает годовой вымыв (химическая денудация) 0,012 мм.

Ежегодно в Мировой океан реки выносят кальция около 490 млн т; сульфат-иона — 445; хлора — 238; кремния — 213; натрия — 168; магния — 113; калия — 56; нитрат-иона — 38; железа — 21 млн т; свинца — 37 тыс. т. Этот вынос сказывается на круговороте отдельных веществ в природе.

Из-за более высокой минерализации подземных вод круговорот растворенных веществ в них также значителен. Особенность этого круговорота — гораздо меньшая скорость движения подземных вод, измеряемая миллиметрами, реже сантиметрами в сутки, тогда как скорость поверхностных потоков — порядка десятков сантиметров в секунду, т. е. в 100 000 раз больше. Другие особенности транспорта растворимых веществ подземными водами — диффузия

веществ, попутное растворение веществ, их переход в твердую фазу (кристаллизация) или сорбция твердой фазой грунта.

Геохимический круговорот с поверхностными потоками может быть описан теми же балансовыми равенствами, что и влагооборот [см. формулы (3.37)...(3.40)], только все статьи надо умножить на соответствующие концентрации, для подземных и почвенных вод это будет сопряжено с некоторыми ошибками.

В подземных водах растворено очень много веществ, повышенное количество которых опасно для биоты. Вместе с тем сильная замедленность этого круговорота, наличие застойных бассейнов подземных вод — это благо для природы, которая тем самым исключает из интенсивного круговорота эти вещества, «захоранивает» их. Поэтому антропогенная интенсификация круговорота подземных вод путем их откачки или, наоборот, пополнения часто дает негативный экологический эффект — засоляются почвы, ухудшается качество речных вод.

В почвенных и подземных водах имеется много разных растворенных веществ: биогенов, используемых растениями как элементы минерального питания (азот, фосфор, калий), токсичных для растений ионов (натрия, хлора, магния, гидрокарбонат-ионов, сульфат-ионов), ионов тяжелых металлов, радиоактивных веществ и многих других. Следует отметить, что практически все вещества нужны для растений, порог их токсичности зависит от их концентрации в растворах и чувствительности растений, некоторые вещества в избыточных количествах неблагоприятно влияют на свойства почвы. Повышенная концентрация веществ негативно сказывается на искусственных элементах, внедренных человеком в геосистему: коррозия трубопроводов, разрушение фундаментов. При мелиорации земель возникают проблемы засоления почв токсичными ионами, находящимися в больших количествах (натрий, хлор, магний, сульфат-ион, гидрокарбонат-ион), при утилизации сточных вод на полях орошения есть угроза загрязнения почв, растений, подземных и поверхностных вод соединениями азота (нитратами и аммонием), вблизи промышленных районов наблюдается загрязнение компонентов геосистем тяжелыми металлами, содержание которых хотя сравнительно невелико, но они очень токсичны для биоты. Передвижение этих веществ в почве и в подземных водах подчиняется общим законам, но имеется некоторая специфика, связанная с их токсичностью, взаимодействием с твердой фазой и биотой, трансформацией этих веществ. Отметим, что так как главным носителем токсичных веществ в почве и в грунтах являются почвенные или подземные воды, то достоверное описание их поведения невозможно без скрупулезного расчета количества воды в этих средах и скорости ее передвижения.

3.6.1. ПЕРЕДВИЖЕНИЕ СОЛЕЙ В ПОЧВЕ И В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

Для аридных районов (области орошаемого земледелия) характерно нарастание естественного накопления солей в почвах, грунтах и подземных водах от степных ландшафтов к пустынным. Орошение земель коренным образом меняет их водный и солевой режимы. Дополнительное увлажнение корнеобитаемой зоны сопровождается просачиванием части воды в глубокие горизонты, вызывая увеличение инфильтрационного питания подземных вод. Грунтовые воды пополняются также за счет потерь из оросительной сети. Это дополнительное питание часто не может быть компенсировано естественным оттоком из-за недостаточной естественной дренированности территории, в результате поднимается уровень минерализованных, как правило, грунтовых вод, которые по пути растворяют соли, находившиеся в зоне неполного влагонасыщения. Помимо нежелательного переувлажнения это приводит к вторичному засолению почв.

Следовательно, борьба с засолением необходима не только на первично засоленных почвах, но и на землях, где функционирует оросительная система. Мероприятия по борьбе с засолением должны обосновываться путем составления долгосрочных прогнозов водного и солевого режимов, для чего используют математические модели передвижения воды и ионов солей. Структура солевых моделей зависит от вида солей, их растворимости, подвижности, способности сорбироваться твердой фазой почвы и грунтов.

Для простого случая вертикального передвижения анионов легкорастворимых подвижных солей (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), которые не сорбируются почвой, дифференциальное уравнение движения солей имеет вид

$$\frac{\partial(\omega C)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\omega D_k \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial(qC)}{\partial x}, \quad (3.60)$$

где ω — объемная влажность почвы, $\text{м}^3/\text{м}^3$; C — концентрация соответствующего иона или суммы ионов, $\text{кг} \cdot \text{экв}/\text{м}^3$ или $\text{кг}/\text{м}^3$; t — время, сут; x — вертикальная координата, м; D_k — конвективный коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{сут}$, учитывающий диффузию иона в покоящемся растворе D_m ($D_m \cong 0,00001 \text{ м}^2/\text{сут}$) и дисперсию, т. е. неравномерное распределение скоростей течения влаги в порах почвы или грунта:

$$D_k = D_m + \lambda q, \quad (3.61)$$

здесь λ — параметр дисперсии, $\text{м}^4/\text{м}^3$, для глинистых и тяжелосуглинистых почв и грунтов он примерно равен 0,5...1, для суглинистых — 0,2...0,5, для легкосуглинистых, супесчаных и песчаных — 0,05...0,2; q — объемный поток почвенной влаги или подземных вод через единицу площади, $\text{м}^3/\text{м}^2/\text{сут}$.

Решая уравнение (3.60) для случая капитальной промывки сильнозасоленной почвы, когда почву с поверхности заливают слоем воды до полного насыщения и обеспечивают отток промывной воды в дренаж, можно получить формулу для определения промывной нормы (формула А. И. Голованова):

$$M_{\text{пр}} = p_3(h_{\text{пр}} + 2A\sqrt{\lambda p_3 h_{\text{пр}}}), \quad (3.62)$$

где $M_{\text{пр}}$ — промывная норма, м слоя воды; p_3 — эффективная пористость, равная пористости почвы в промываемом слое, уменьшенная на объем заземленного воздуха, $p_3 \approx 0,95 \dots 0,98$ пористости; $h_{\text{пр}}$ — толщина промываемого слоя, зависящая от мощности солевого горизонта, м; A — коэффициент, зависящий от требуемой степени опреснения $S_{\text{доп}}/S_{\text{исх}}$ ($S_{\text{доп}}$ — допустимые запасы солей в конце промывки, обычно измеряют в % сухой массы почвы; $S_{\text{исх}}$ — то же до промывки).

$S_{\text{доп}}/S_{\text{исх}}$	0,001	0,005	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
A	2,19	1,82	1,65	1,14	1,24	1,10	0,99	0,91	0,83	0,76	0,70	0,65	0,60
$S_{\text{доп}}/S_{\text{исх}}$	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50							
A	0,48	0,37	0,27	0,18	0,09	0,00							

Если соли труднорастворимы и часть их находится в виде кристаллов и надо описать передвижение катионов, которые сильно поглощаются почвой, уравнение (3.60) дополняют соответствующими членами, учитывающими эти процессы:

$$\frac{\partial(\omega C)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\omega D_K \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial(qC)}{\partial x} - \frac{\partial S_K}{\partial t} - \frac{\partial S_C}{\partial t}, \quad (3.63)$$

где C — концентрация катиона, кг · экв/м³; S_K — количество катиона в нерастворенном (кристаллическом) виде, кг · экв/м³; $\partial S_K/\partial t$ — изменение во времени запасов нерастворенных солей:

$$\frac{\partial S_K}{\partial t} = \gamma \omega (C - C_n), \quad (3.64)$$

здесь γ — коэффициент скорости растворения, сут⁻¹; C_n — концентрация предельного насыщения; выражение (3.64) означает, что если концентрация раствора становится больше концентрации предельного насыщения, то часть солей кристаллизуется и их запасы в твердом виде растут, следовательно, уменьшается количество солей в растворе и поэтому в уравнении (3.63) выражение $\partial S_K/\partial t$ присутствует со знаком «минус»; $\partial S_C/\partial t$ — изменение во времени запасов сорбированных (поглощенных) катионов S_C , кг · экв/м³:

$$\frac{\partial S_C}{\partial t} = \beta (S_C^p - S_C), \quad (3.65)$$

где β — коэффициент скорости сорбционного обмена катионами между раствором и почвенным поглощающим комплексом, сут⁻¹, примерно равный 0,03...0,1 сут⁻¹;

S_c^p — количество сорбированного катиона, находящееся в равновесии с его концентрацией в растворе, кг · экв/м³; если количество сорбированного катиона S_c меньше равновесного, то сорбция продолжается до достижения равновесия, запасы сорбированного катиона растут, а количество солей в растворе [см. уравнение (3.63)] уменьшается.

Равновесное количество сорбированного катиона зависит от ионной силы раствора, его состава, вида поглощаемого катиона; многовалентные катионы поглощаются сильнее, чем одновалентные (исключение составляет катион водорода). В простейшем случае, когда в растворе присутствует один катион в малой концентрации, его равновесное сорбированное количество можно найти, используя закон Генри:

$$S_c^p = \frac{1}{\alpha} \omega C, \quad (3.66)$$

где α — коэффициент сорбции, учитывающий физико-химические свойства твердой фазы и катиона, его распределение на поверхности твердой фазы, зависит от вида катиона и гранулометрического состава почвы или грунтов.

При описании процессов осолонцевания почв, связанных с увеличением содержания натрия в почвенном поглощающем комплексе, ухудшающим свойства почвы и ее плодородие, надо учитывать взаимозависимые процессы сорбции и десорбции по крайней мере трех катионов — Na, Ca и Mg. Для этого используют другие уравнения сорбционного равновесия:

$$\frac{S_{Na}^p}{\sqrt{S_{Ca}^p}} = K_{Na-Ca} \frac{\omega C_{Na}}{\sqrt{\omega C_{Ca}}} \quad \text{и} \quad \frac{S_{Ca}^p}{S_{Mg}^p} = K_{Ca-Mg} \frac{\omega C_{Ca}}{\omega C_{Mg}}, \quad (3.67)$$

где S_{Na}^p , S_{Ca}^p , S_{Mg}^p — соответственно равновесное с раствором количество поглощенного Na, Ca, Mg, кг · экв/м³; K_{Na-Ca} и K_{Ca-Mg} — коэффициенты изотермы сорбции соответственно натрия — кальция и кальция — магния; C_{Na} , C_{Ca} , C_{Mg} — соответственно концентрация иона Na, Ca, Mg в растворе, кг · экв/м³.

По данным И. П. Айдарова, для незасоленных почв при концентрации почвенного раствора 1...1,5 г/л, у которых ионная сила раствора не превышает 0,05 моль/л, $K_{Na-Ca} = 0,026 S_{к.п}$, где $S_{к.п}$ — емкость катионного поглощения. Так, для черноземов емкость поглощения составляет 30...40 мг · экв/100 г почвы и коэффициент изотермы сорбции $K_{Na-Ca} \approx 0,8...1$. При повышенном засолении этот коэффициент уменьшается в 3...4 раза. Значение коэффициента K_{Ca-Mg} обычно несколько превышает единицу.

Уравнения (3.67) надо дополнить условием, что сумма равновесных количеств поглощенных катионов должна всегда оставать-

ся постоянной и равной емкости катионного поглощения данной почвы или грунта $S_{к.п}$:

$$S_{Na}^p + S_{Ca}^p + S_{Mg}^p = S_{к.п} = \text{const.} \quad (3.68)$$

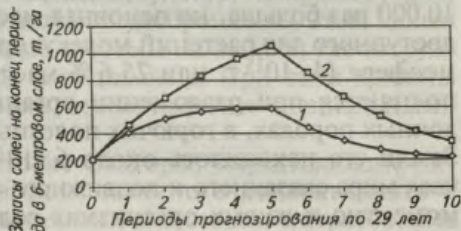
При прогнозировании процессов осолонцевания, если не учитывать растворимость солей, приходится решать систему дифференциальных уравнений для шести неизвестных: трех концентраций и трех значений поглощенных катионов. Для этого используют три уравнения (3.63) для каждого катиона, два уравнения ионного равновесия (3.67) и замыкающее уравнение (3.68). Эту систему уравнений решают параллельно с решением уравнения влагопереноса (3.53).

Понятие о галогеохимической емкости, или солеемкости, геосистем, которая характеризуется стабилизовавшимися средне-многолетними запасами солей, было сформулировано в разделе 2.4. Рассмотрим, как с помощью уравнений (3.53) и (3.60) можно в результате многолетнего моделирования оценить эту емкость и ее изменение при изменении природных условий на примере засоленных почв пониженных фаций в Колочной степи Западной Сибири. Согласно галогеохимическому районированию степи Западной Сибири относятся к Западно-Сибирской континентально-морской галоформации и Юго-Западно-Сибирской группе галогенов с активным солеобменом и преобладанием привноса солей за счет регионального потока подземных вод содово-сульфатного состава (минерализация 3...6 г/л) с Алтая.

Процесс заполнения солеемкости супераквальной фации Колочной степи при изменении базиса эрозии и повышении уровня в естественных дренах с 3 до 1,5 м показан на рисунке 3.3. При базисе эрозии 3 м в результате предварительного моделирования длительного периода были установлены стабилизовавшиеся солезакпасы в 6-метровом слое, примерно равные 200 т/га. После повышения базиса эрозии и уменьшения глубин грунтовых вод сформировалась новая солеемкость, которая стала заполняться, запасы солей стали увеличиваться, но с переменной скоростью, и

Рис. 3.3. Темпы заполнения и освобождения солеемкости супераквальных фаций Колочной степи Западной Сибири при изменении базиса эрозии:

1 — с учетом снижения эвапотранспирации; 2 — то же без учета



через 90...100 лет практически стабилизировались на уровне около 600 т/га. При снятии подпора в естественных дренах были созданы условия для исходной солеемкости (до подпора), вследствие этого солезапасы стали уменьшаться, правда, с меньшей скоростью, и восстанавливаются на исходном уровне через 120...140 лет. Учет дополнительного аэрального поступления 200 кг/(га · год) солей с ветрами со стороны обсохшего дна Аральского моря не привел к адекватному увеличению запасов солей, следовательно, солеемкость не зависит от способа ее заполнения.

Более значим учет отрицательных обратных связей: при засолении угнетаются существующие растения, которые впоследствии заменяются галофилами. В обоих случаях существенно снижается эвапотранспирация, восходящие токи влаги и интенсивность соленакпления уменьшаются, запасы солей быстрее стабилизируются. Это учитывается коэффициентом ϵ_r в формуле (3.58).

3.6.2. ПЕРЕДВИЖЕНИЕ АЗОТА В ПОЧВЕ И В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

Азот, наряду с углеродом, фосфором и калием, является важнейшим биогеном, он участвует в продуцировании биомассы, входя в состав белков (протеинов). Белки — высокомолекулярные природные органические вещества, построенные из аминокислот, имеют фундаментальное значение в структуре и жизнедеятельности организмов. Они осуществляют обмен веществ и энергетические превращения, неразрывно связанные с активными биологическими функциями. Белки — незаменимый элемент питания человека и животных. Помимо этого азот входит в состав гумуса — важнейшего фактора плодородия почв и их очищающей способности. Вместе с тем повышенное его содержание в растительной пище вредно для человека и для животных, в водоисточниках его количество также строго ограничивают: азота в нитратной форме должно быть не более 10 мг/л, а в аммонийной — не более 2 мг/л. Иными словами, в повышенных количествах азот является загрязняющим веществом.

Азот в больших количествах концентрируется в почве, где его в 1000 раз больше, чем в среднем в земной коре, в растениях его в 10 000 раз больше, но основная масса азота в виде инертного, недоступного для растений молекулярного азота N_2 содержится в атмосфере ($4 \cdot 10^{15}$ т, или 75,6 % массы атмосферы), его запасы пополняются при разложении органики, денитрификации. В осадочных породах, в горючих полезных ископаемых за всю историю Земли его накопилось около $6 \cdot 10^{14}$ т; в океане — $2 \cdot 10^{13}$ т, в почвах мира связанного и подвижного азота — около $1,6 \cdot 10^{11}$ т. Одновременно в живых организмах содержится $(1,2...1,4)10^{10}$ т азота,

растения в год поглощают около $2,5 \cdot 10^9$ т азота. Растения в основном состоят из С — 45,4 % сухой массы; О — 41; Н — 5,5; N — 3; Са — 1,8; К — 1,4 % сухой массы, в сумме — 98 %. У млекопитающих и у человека азота в 3...4 раза больше.

Приход азота в почву в основном состоит из фиксации симбиотическими и несимбиотическими микроорганизмами — при благоприятных условиях 40...60 кг/га в год, а под бобовыми еще больше; при разложении органических остатков и минерализации гумуса (аммонификации) — 30...50; при внесении органических и минеральных удобрений — 80...120; при поступлении оксидов азота в результате сжигания топлива — около 20...30 кг/га в год (последнее компенсируется примерно таким же возвратом азота в атмосферу в виде аммония и оксидов азота). Главная расходная составляющая баланса азота — вынос с урожаем — 100...200 кг/га в год; потери на денитрификацию, т. е. возвращение в атмосферу в форме N_2 , — 50...80 кг/га в год; на образование гумуса — 10...15; смыл с поверхности и вымыс с нисходящими токами почвенной влаги с пашни — 15...30, с лугов — 3...7 кг/га в год.

Подвижный азот в почве обычно находится в виде катиона аммония NH_4 и нитрат-аниона NO_3 . Содержание нитрит-аниона NO_2 в почве незначительно, он образуется в результате окисления аммония и затем быстро окисляется до нитрат-аниона с помощью микроорганизмов. Этот процесс называют нитрификацией. Аммоний образуется в результате разложения органических азотистых веществ, включая и гуминовые кислоты, микроорганизмами, легко усваивается растениями. Будучи положительно заряженным, аммоний хорошо сорбируется почвенным поглощающим комплексом, что обеспечивает его сохранность и препятствует вымыву. Нитраты в почве не сорбируются, легко усваиваются растениями, но в силу большой подвижности вымываются из почвы, загрязняя подземные и речные воды. Значительная часть нитратов денитрифицируется и возвращается в атмосферу.

Природоохранную проблему удачно решают при утилизации коммунально-бытовых сточных вод и животноводческих стоков, содержащих значительное количество азота (в аммонийной форме), а также фосфора и калия. Один из эффективных способов их очистки — полив непродовольственных культур, например трав, идущих на корм скоту или на зеленое удобрение. С этой целью строят специальные оросительные системы на землях, где затруднено попадание почвенных вод в подземные. При этом должны быть выполнены и другие условия, оговариваемые специальными правилами (см. разд. 12.4).

Естественно, что перечисленные факторы, определяющие динамику азота в почве, идут на фоне заметного конвективного и диффузионного переноса растворенных аммония и нитратов. Все

сказанное позволяет записать дифференциальное уравнение для аммония NH_4 в виде

$$\frac{\partial(\omega C_a)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\omega D_k \frac{\partial C_a}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\omega D_k \frac{\partial C_a}{\partial y} \right) - \frac{\partial(q_x C_a)}{\partial x} - \frac{\partial(q_y C_a)}{\partial y} + \frac{\partial G_a}{\partial t} - \frac{\partial S_a}{\partial t} - K_n \omega C_a - Q_a \quad (3.69)$$

и для нитратов NO_3 в виде

$$\frac{\partial(\omega C_n)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\omega D_k \frac{\partial C_n}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\omega D_k \frac{\partial C_n}{\partial y} \right) - \frac{\partial(q_x C_n)}{\partial x} - \frac{\partial(q_y C_n)}{\partial y} + K_n \omega C_a - K_d \omega C_n - Q_n, \quad (3.70)$$

где C_a , C_n — концентрация соответственно аммония и нитратов в почвенном растворе, $\text{кг} \cdot \text{экв}/\text{м}^3$; q_x , q_y — соответственно вертикальный и горизонтальный поток влаги, $\text{м}^3/\text{м}^2/\text{сут}$; $\partial G_a/\partial t$ — поступление в раствор аммония в результате аммонификации (разложения) гумуса, $\text{кг} \cdot \text{экв}/\text{м}^3/\text{сут}$; S_a — количество сорбированного аммония, $\text{кг} \cdot \text{экв}/\text{м}^3$; $\partial S_a/\partial t$ — интенсивность сорбции или десорбции аммония почвенным поглощающим комплексом, $\text{кг} \cdot \text{экв}/\text{м}^3/\text{сут}$; K_n и K_d — коэффициенты скорости нитрификации и денитрификации, сут^{-1} ; Q_a и Q_n — интенсивность отбора соответственно аммонийного и нитратного азота корнями растений из единичного объема почвы, $\text{кг} \cdot \text{экв}/\text{м}^3/\text{сут}$.

Значения влажности почвы и потоков влаги, изменяющиеся по глубине и во времени, принимают в результате параллельного расчета передвижения влаги [см. уравнение (3.53)].

Интенсивность аммонификации описывают выражением

$$\frac{\partial G_a}{\partial t} = K_{ам} G_a, \quad (3.71)$$

где G_a — изменяющиеся во времени запасы аммонийного азота в гумусе, $\text{кг} \cdot \text{экв}/\text{м}^3$; $G_a = 1000\alpha\gamma/14$ (α — доля азота в гумусе, примерно 0,03...0,5; γ — доля гумуса от массы сухой почвы; γ — плотность почвы, $\text{г}/\text{см}^3$ или $\text{т}/\text{м}^3$; 14 — атомная масса азота). Например, при $\alpha = 0,04$; $\gamma = 0,05$ (5% гумуса); $\gamma = 1,2 \text{ г}/\text{см}^3$ $G_a = 0,17 \text{ кг} \cdot \text{экв}/\text{м}^3$ почвы; $K_{ам}$ — коэффициент скорости аммонификации, сут^{-1} .

Интенсивность сорбции аммония почвенным поглощающим комплексом:

$$\frac{\partial S_a}{\partial t} = \beta(\omega C_a - \alpha S_a), \quad (3.72)$$

где β — коэффициент скорости сорбционного обмена, сут^{-1} , для сулинистых

почв 0,02...0,2; α — коэффициент сорбции, ориентировочно для суглинистых почв $\alpha = 0,2...1$.

Если проинтегрировать выражение (3.72), то при $t \rightarrow \infty$ предельное (равновесное) количество сорбированного катиона будет $S_a^p = \omega C_a / \alpha$, т. е. это выражение предполагает линейный закон сорбции, и при неограниченном повышении концентрации катиона в растворе количество сорбированного катиона также растет неограниченно, что не всегда соответствует действительности, так как емкость почвенного поглощающего комплекса ограничена. Поэтому применяют и другие изотермы сорбции, учитывающие это обстоятельство.

Аммонификация, нитрификация и денитрификация зависят от влажности, температуры и рН почвы. Наиболее интенсивно аммонификация и нитрификация идут при влажности 0,6...0,8 предельной полевой влагоемкости (ППВ), при температуре 28...30 °С и рН 7...8; денитрификация быстрее идет при повышенной влажности, превышающей ППВ. В связи с этим коэффициенты скорости аммонификации $K_{ам}$, нитрификации K_n и денитрификации K_d переменны во времени. Эти процессы происходят в верхних слоях почвы, глубже они быстро затихают и на глубине более 1...1,5 м и в подземных водах их коэффициенты равны 0.

Интенсивность отбора аммонийного и нитратного азота корнями растений задают исходя из планируемой урожайности и выноса азота с урожаем и корректируют исходя из его наличия. Отбор азота в течение вегетации распределяется пропорционально вкладу каждой декады вегетации в будущий урожай. Суточное потребление азота распределяется по глубине корнеобитаемой зоны.

Внесение аммонийных или нитратных удобрений имитируется мгновенным приращением количества соответствующих ионов в пахотном слое. Фиксация азота микроорганизмами зависит от влажности и кислотности почвы, ее температуры, от наличия элементов питания для них. При отмирании микроорганизмы разлагаются, и фиксированный ими азот в аммиачной форме пополняет запасы доступного для растений азота. Количественно этот процесс описать трудно из-за недостатка данных, приблизительно его можно учесть, увеличивая интенсивность аммонификации [формула (3.71)] на среднесуточное поступление азота за счет его фиксации микроорганизмами из атмосферы.

С помощью этой математической модели можно оценить влияние разных доз азотных удобрений не только на урожайность, но и на состояние окружающей среды, разрабатывать разные технологии полива сточными водами с целью минимизации загрязнения почвы, подземных и поверхностных вод.

3.6.3. ПЕРЕДВИЖЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

К тяжелым металлам относятся более 40 химических элементов, масса атомов которых превышает 50 а.е.м. Эта группа элементов активно участвует в биологических процессах, входя в состав многих ферментов. При фоновом содержании в почвах их называют микроэлементами, т. е. необходимыми, хотя и в очень малых количествах, элементами питания для биоты. Их недостаток негативно сказывается на развитии растений, животных и человека. При повышенном содержании этих элементов возникает угроза загрязнения, приводящего к токсичным условиям.

Обычно в группу тяжелых металлов включают Pb, Zn, Cd, Hg, Mo, Mn, Ni, Sn, Co, Ti, Cu, V, Sb, а также As. Избыток этих элементов в почве приводит к снижению продуктивности растений, повышению их содержания в сельскохозяйственной продукции; при ее употреблении в пищу они отрицательно действуют на здоровье животных и человека, вызывая серьезные заболевания.

Фоновое содержание тяжелых металлов в почве невелико, редко превышает 50 мг/кг (каждого в отдельности), т. е. не более 0,005 % массы почвы. Так, в дерново-подзолистых почвах европейской части России свинца содержится около 20 мг/кг, кадмия — 1 и ртути — 0,02, в серых лесных почвах — 25; 0,5 и 0,08, в выщелоченных черноземах — 35; 0,6 и 0,2, в черноземах обыкновенных — соответственно 13; 1,4; 0,06 мг/кг. Содержание Zn во всем профиле почвы обычно находится в пределах 20...50 мг/кг. Фоновое содержание тяжелых металлов в гумусово-аккумулятивном слое почв Западной Сибири составляет, мг/кг:

Элемент	Zn	Cr	Ni	Cu	Pb	Co	Hg
Среднее	86	60	26	34	16	9	0,13
Предел	34...23	26...80	12...00	6...84	10...24	3...15	0...0,5

Предельно допустимое содержание тяжелых металлов в почве еще точно не определено, имеющиеся рекомендации часто противоречивы, вместе с тем можно полагать, что, учитывая высокую токсичность многих из них, превышение их содержания над локальным фоном уже представляет опасность.

Тяжелыми металлами почвы загрязняются главным образом в результате газопылевых выбросов металлургическими предприятиями, особенно предприятиями цветной металлургии. Наибольшее загрязнение наблюдается вблизи предприятий на расстоянии 1...2 км, заметное — на расстоянии 3...8, меньшее — на расстоянии 10...50 км от источника загрязнения. Загрязнение почв тяжелыми металлами в непосредственной близости от предприятий может превышать фон в десятки и сотни раз.

Другими источниками загрязнения могут быть рудники, обогажительные фабрики. Почвы при этом загрязняются через атмосферу, при поливе загрязненными речными водами, при использовании сточных вод предприятий, при хранении отвалов и т.п. Наблюдается сильное загрязнение почв вдоль автомобильных трасс, особенно свинцом. Имеются и другие источники загрязнения, например при внесении минеральных удобрений.

Рассмотрим загрязнение почв тяжелыми металлами, поступающими через атмосферу. Примем, что вне зависимости от формы нахождения загрязняющих веществ (газы, пыль, растворенные в атмосферных осадках) непосредственно в почву они поступают в виде раствора при впитывании атмосферных осадков или талых вод. Тогда, зная в прогнозных расчетах объем атмосферных осадков и объем впитавшихся талых вод, можно определить условную концентрацию тяжелых металлов во впитывающейся влаге.

Есть предположения, что многие тяжелые металлы выпадают на поверхность почвы в виде оксидов, растворимость которых сильно зависит от рН почвенного раствора. Наибольшая растворимость наблюдается в сильнокислых почвах, наименьшая — в нейтральных и слабощелочных.

Поведение тяжелых металлов в почве очень сложно, так как они обладают высокой способностью к многообразным химическим, физико-химическим и биологическим реакциям. Многие из них имеют переменную валентность и участвуют в окислительно-восстановительных процессах. При изменении степени окисления миграционные способности тяжелых металлов существенно различны. Значительное влияние оказывают и кислотно-основные свойства почв. В условиях кислой среды нерастворимая фракция переходит в раствор. На фоне окислительно-восстановительных и кислотно-основных условий действуют сорбционные факторы. Катионы тяжелых металлов могут энергично поглощаться коллоидной и гумусовой фракциями почвы. Сорбция в наибольшей степени связывает тяжелые металлы, переводя их в неподвижные формы, малодоступные растениям, препятствует вымыванию их из почвы, а следовательно, накоплению их в верхних горизонтах.

В структурных почвах присутствует также эффект снижения подвижности тяжелых металлов из-за нахождения части почвенных растворов в тупиковых порах микроагрегатов.

Из-за слабой количественной изученности формализовать все указанные выше процессы трансформации тяжелых металлов в почве затруднительно. Поэтому приближенно все эффекты связывания тяжелых металлов почвой, в том числе ее твердой фазой, а также другие физико-химические процессы и отчасти в результате микробиологической деятельности можно описывать обобщенной обменной (обратимой) сорбцией, проходящей с конечной

скоростью. Многие из этих процессов математически описываются аналогичными выражениями.

Ввиду малой концентрации тяжелых металлов в почвенных растворах и большой емкости поглощения почвы можно использовать линейное уравнение изотермической сорбции Генри:

$$S_c^p = \omega C / \alpha, \quad (3.73)$$

где S_c^p — равновесное, соответствующее C количество металла, сорбированное почвой, г экв/м³; ω — объемная влажность почвы, м³/м³; C — концентрация металла в почвенном растворе, г экв/м³; α — коэффициент изотермы сорбции.

Кинетика сорбции описывается уравнением (3.72).

Для описания поведения тяжелых металлов в почве нужно достоверное знание коэффициента изотермы сорбции α , так как, по сути дела, этот коэффициент объединяет все описанные ранее процессы, формирующие соотношение между подвижной и связанной фракциями иона конкретного металла. Содержание этого иона в единице объема почвы в равновесном состоянии $Z = \omega C + S_c$ или $Z = (1 + 1/\alpha)\omega C$. Коэффициент подвижности иона, т. е. отношение массы ионов в растворе к общему его содержанию в почве, $R = \omega C / Z = \alpha / (1 + \alpha)$. Зная это соотношение в результате лабораторных анализов почв, можно приближенно оценить значение эффективного коэффициента изотермы сорбции:

$$\alpha = R / (1 - R). \quad (3.74)$$

Так, если подвижные формы металла в почве составляют $R = 0,1$, то $\alpha = 0,11$.

Большое влияние на трансформацию тяжелых металлов оказывает почвенная биота. Микроорганизмы, водоросли, грибы способны в значительной степени, поглощая их, переводить в неподвижные формы. При отмирании и последующем разложении тяжелые металлы могут опять переходить в подвижные формы. Некоторое количество металлов поглощается растениями, часть из них отторгается вместе с урожаем и уменьшает их запасы в почве, другая остается в почве с корнями и при разложении растительных остатков вновь вступает в круговорот.

Содержание тяжелых металлов в биомассе зависит от вида растений и от их концентрации в почвенных растворах. При фоновом содержании вынос тяжелых металлов растениями незначителен. При загрязнении почв тяжелыми металлами увеличивается их содержание в растениях после достижения некоторого порогового уровня загрязнения.

Процессы потребления тяжелых металлов растениями для построения строгих моделей изучены еще недостаточно. Значитель-

ное влияние на это оказывают состав и свойства почвенных растворов, соотношение между подвижными и связанными фракциями металлов, количество и состав поглощенных почвой катионов, зависящие от строения и химического состава клеточных оболочек у разных растений. Поэтому используют эмпирические зависимости выноса конкретного тяжелого металла конкретным растением от содержания металлов в корнеобитаемом слое почвы. Например, для картофеля на черноземных почвах содержание кадмия в клубнях, мг на 1 кг продукции:

$$C_{Cd} = 0,16Z_{Cd},$$

где Z_{Cd} — содержание кадмия в почве, мг на 1 кг сухого вещества.

Для свинца аналогичная зависимость имеет вид

$$C_{Pb} = 0,55Z_{Pb}.$$

Зная урожайность, можно подсчитать вынос металла, который в общем балансе несуществен из-за своей относительной малости по сравнению с другими статьями баланса, но это очень важно для оценки качества продукции.

Урожайность сельскохозяйственных культур также зависит от содержания тяжелых металлов в почве, относительное снижение урожайности из-за загрязнения можно описать зависимостью

$$K_z = U_z / U_{opt} = ae^{-b(Z - Z_{доп})^n}, \quad (3.75)$$

где U_z — урожайность при содержании в корнеобитаемом слое конкретного металла Z ; U_{opt} — урожайность при допустимом содержании металла $Z_{доп}$, не сказывающемся на продуктивности; a , b и n — эмпирические коэффициенты.

Содержание тяжелых металлов влияет на урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от кислотно-щелочных свойств почв; на кислых почвах их содержание сильнее сказывается на урожайности. Допустимые концентрации тяжелых металлов должны быть различны для разных типов почв и разных рН (см. разд. 9.4.1).

Подвижные фракции тяжелых металлов, находящиеся в почвенном растворе, передвигаются за счет разности концентрации (диффузионная составляющая потока) и за счет потока влаги (конвективная составляющая). Запишем математическую модель передвижения конкретного тяжелого металла в почве, в подстилающем ее аэрированном слое горных пород и в подземных водах в

виде дифференциального уравнения

$$\frac{\partial(\omega C)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\omega D_k \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\omega D_k \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \frac{\partial(q_x C)}{\partial x} - \frac{\partial(q_y C)}{\partial y} - \frac{\partial S_c}{\partial t} - Q, \quad (3.76)$$

где C — концентрация ионов металла в почвенном растворе или в подземных водах; $\partial S_c / \partial t$ — интенсивность сорбции или десорбции ионов металла; Q — интенсивность отбора ионов металла корнями растений из единичного объема почвы. Остальные обозначения см. в разделе 3.6.2.

Влажность почвы и потоков влаги, изменяющиеся по глубине и во времени, принимают в результате параллельного расчета передвижения влаги. Эта математическая модель нужна для долговременных прогнозов содержания тяжелых металлов при описании процессов загрязнения и обоснования мероприятий по очистке почв и подземных вод. Пример расчета очистки почв от тяжелых металлов приведен в разделе 9.4.2.1.

3.6.4. ПЕРЕДВИЖЕНИЕ ЛЕГКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЧВЕ И В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

Очень остро стоит проблема загрязнения компонентов природы нефтью и нефтепродуктами. В частности, в районах расположения нефтеперерабатывающих заводов, крупных складов топливно-смазочных материалов в результате проливов, утечек, аварий в грунтах скапливается громадное количество легких нефтепродуктов (бензина, реактивного керосина, дизельного топлива). Ориентировочно ежегодные потери составляют 0,5...2 % годового оборота нефтепродуктов, за 30...40 лет объем просочившихся нефтепродуктов измеряется сотнями тысяч и миллионами тонн.

Из-за меньшей, чем у воды, плотности нефтепродукты наслаиваются на подземные воды, но линза чистых нефтепродуктов не образуется из-за специфики поведения этих несмешивающихся жидкостей в пористой среде. Формируется область загрязнения с переменным в пространстве содержанием нефтепродуктов, которое принято выражать в насыщенности, т. е. как отношение объема нефтепродуктов к объему пор; в зоне максимального загрязнения насыщенность может достигать 0,6...0,7, а на периферии области загрязнения насыщенность уменьшается до 0,05...0,1 пористости. Из-за колебания уровня подземных вод эта область перемещается в вертикальном направлении и растягивается по вертикали, захватывая нижние слои водоносного горизонта при опускании уровня, а при подъеме загрязняется почвенный

слой, нефтепродукты выклиниваются на поверхность земли в понижениях.

Практически всегда имеющийся горизонтальный поток грунтовых вод увлекает за собой нефтепродукты, которые уже во многих местах выводят из строя подземные водозаборы, выклиниваются в реки и водохранилища.

Очистка таких загрязненных зон — сложная инженерно-экологическая задача. Известны многие технические решения, позволяющие удалить так называемый «гидравлически подвижный нефтепродукт» и доочистить земли от оставшегося продукта.

Для обоснования мероприятий по удалению подвижных нефтепродуктов используют теорию их совместного передвижения с водой в пористых средах и разработанные на ее основе математические модели. Характерная особенность рассматриваемого процесса — две несмешивающиеся жидкости находятся не только под действием внешних давлений, но между ними появляется давление на границе раздела (иногда эти жидкости неудачно называют фазами) из-за разности сил поверхностного натяжения и разного смачивания твердой фазы. По-разному эти жидкости взаимодействуют и с газами в капиллярной кайме. В репрезентативном (представительном) объеме пористой среды при полном насыщении жидкостями существуют два тела — водное и нефтепродуктов со сложной границей раздела, имеющей большую площадь, а в капиллярной кайме присутствует и газовое тело. С учетом этих особенностей движение двух жидкостей описывают системой дифференциальных уравнений (модель разработана А. И. Головановым):

$$p \frac{\rho_n}{\rho_b} C_{вн} \frac{\partial H_n}{\partial t} - p(C_{вн} - C_b) \frac{\partial H_b}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_n f_n \frac{\partial H_n}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_n f_n \frac{\partial H_n}{\partial y} \right); \quad (3.77)$$

$$p C_{вн} \frac{\partial H_b}{\partial t} - p \frac{\rho_n}{\rho_b} C_{вн} \frac{\partial H_n}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_b f_b \frac{\partial H_b}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_b f_b \frac{\partial H_b}{\partial y} \right); \quad (3.78)$$

где «н» и «в» — индексы, обозначающие соответственно нефтепродукт и воду; p — пористость; ρ — плотность; C_b и $C_{вн}$ — емкостные коэффициенты, связывающие насыщенности и напоры:

при $0 < s_b + s_n < 1$

$$C_b = \frac{\partial(s_b + s_n)}{\partial \psi_b}; \quad \text{при } s_b + s_n = 1 \text{ и при } s_b + s_n = 0 \quad C_b = 0; \quad (3.79)$$

при $s_b^* < s_b < (1 - s_n^*)$

$$C_{вн} = -\frac{\partial s_{вн}}{\partial \psi_{вн}}; \quad \text{при } s_b = s_b^* \text{ и при } s_b = 1 - s_n^* \quad C_{вн} = 0; \quad (3.80)$$

здесь s_B и s_H — насыщенность водой и нефтепродуктом, т. е. отношение объема жидкости к объему пор; s_B^* и s_H^* — насыщенность гидравлически неподвижной водой и нефтепродуктом, для песка соответственно 0,1...0,15 и 0,07...0,1; ψ_B — гидростатическая или капиллярная составляющая напора воды, в зоне полного насыщения $\psi_B > 0$, а в капиллярной кайме $\psi_B < 0$. Использована следующая связь между ψ_B и насыщенностями (в условиях равновесия):

$$\psi_B = -h_B \left(\ln \frac{1 - s_B^* - s_H^*}{s_B + s_H - s_B^* - s_H^*} \right)^{1/2}, \quad (3.81)$$

h_B — характерное значение капиллярного напора, устанавливаемое экспериментально, для песка $h_B \cong 1$ м; ψ_{BH} — капиллярный скачок давления на границе двух жидкостей, его зависимость от насыщенности водой, описывающая ветвь удаленных нефтепродуктов (аналогичная функции Леверетта), принята в виде

$$\psi_{BH} = h_{BH} \left(\ln \frac{1 - s_B^* - s_H^*}{s_B - s_B^*} \right)^{1/2}, \quad (3.82)$$

h_{BH} — характерное значение капиллярного скачка, устанавливаемое экспериментально, для песка $h_{BH} \cong 0,3...0,5$ м; H_H — напор в теле нефтепродуктов:

$$H_H = \frac{\rho_B}{\rho_H} (\psi_B + \psi_{BH}) - x, \quad (3.83)$$

H_B — напор в водном теле:

$$H_B = \psi_B - x; \quad (3.84)$$

k — коэффициент фильтрации жидкости; если известен коэффициент фильтрации воды в исследуемом грунте k_B , то коэффициент фильтрации нефтепродукта в том же грунте

$$k_H = k_B \frac{\rho_H \mu_B}{\rho_B \mu_H}, \quad (3.85)$$

μ_B , μ_H — динамический коэффициент вязкости соответственно воды и нефтепродукта; f — относительная проницаемость, зависящая от насыщенности одной из жидкостей:

для воды

$$f_B = \left(\frac{s_B - s_B^*}{1 - s_B^*} \right)^{3,5}; \quad (3.86)$$

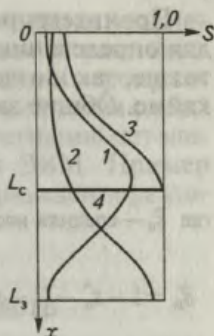
для нефтепродукта

$$f_H = \alpha \left\{ 1 - \exp \left[-\beta \left(\frac{s_H - s_H^*}{1 - s_H^*} \right)^2 \right] \right\}, \quad \alpha = (1 - e^{-\beta})^{-1}, \quad (3.87)$$

β — эмпирический коэффициент, для песка $\beta = 4$.

Рис. 3.4. Эпюры насыщенности в зоне полного насыщения и в капиллярной кайме:

1 — нефтепродуктом; 2 — водой; 3 — суммарная; 4 — граница зоны полного насыщения



Рассмотрим случай равновесия двух жидкостей в зоне загрязнения, начинающейся с поверхности земли и распространённой до глубины L_3 (рис. 3.4). Начиная с глубины L_c , залегает зона полного насыщения, в которой $s_b + s_n = 1$, выше расположена зона неполного насыщения, или капиллярная кайма, где $s_b + s_n < 1$. Примем, что в результате колебания уровня грунтовых вод на поверхности земли и на нижней границе загрязнённой зоны содержание нефтепродукта равно гидравлически неподвижному. В условиях равновесия потоки жидкости отсутствуют, следовательно, $\partial H_b / \partial x = 0$, $\partial H_n / \partial x = 0$ и $\partial H_b / \partial y = 0$, $\partial H_n / \partial y = 0$, т. е. их напоры постоянны. На глубине L_c насыщенность обеими жидкостями равна 1, следовательно, здесь $\psi_b = 0$. Поэтому здесь и во всей загрязнённой толще

$$H_b = -L_c, \text{ а } \psi_b = x - L_c \text{ [см. формулу (3.84)].}$$

На глубине $x = L_3$, $s_n = s_n^*$, $s_b = 1 - s_n^*$, поэтому в соответствии с формулой (3.84) напор в теле нефтепродукта здесь и по всей глубине $H_n = \frac{\rho_b}{\rho_n}(L_3 - L_c) - L_3$, а разность давлений в воде и в нефтепродукте (капиллярный скачок давления) $\psi_{bn} = \frac{\rho_n}{\rho_b}(H_n + x) - \psi_b = \epsilon(L_b - x)$, где $\epsilon = 1 - \rho_n / \rho_b$.

Зная изменение ψ_b и ψ_n по глубине, можно из выражения (3.82) получить эпюру насыщенности водой во всей загрязнённой зоне:

$$s_b = s_b^* + (1 - s_b^* - s_n^*) \exp \left[- \left(\frac{\psi_{bn}}{h_{bn}} \right)^2 \right]. \quad (3.88)$$

Насыщенность нефтепродуктом в зоне полного насыщения, т. е. при $x \geq L_c$, $s_n = 1 - s_b$, а в капиллярной кайме согласно зависимости (3.83)

$$s_n = s_b^* + s_n^* - s_b + (1 - s_b^* - s_n^*) \exp \left[- \left(\frac{\psi_b}{h_b} \right)^2 \right]. \quad (3.89)$$

Проинтегрировав выражения (3.88) и (3.89), получаем формулы для определения запасов нефтепродукта как во всей загрязненной толще, так и отдельно в зоне полного насыщения и в капиллярной кайме. Общие запасы нефтепродукта на 1 м^2 , м^3 :

$$W_{\text{H}} = \bar{s}_{\text{H}} p L_{\text{C}},$$

где \bar{s}_{H} — средняя насыщенность:

$$\bar{s}_{\text{H}} = 1 - s_{\text{B}}^* - (1 - s_{\text{H}}^* - s_{\text{B}}^*) \frac{L_{\text{C}}}{L_3} \left\{ 1 + \frac{\sqrt{\pi} h_{\text{BH}}}{2 \varepsilon L_{\text{C}}} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{\varepsilon L_3}{h_{\text{BH}}} \right) - \frac{\varepsilon h_{\text{B}}}{h_{\text{BH}}} \operatorname{erf} \left(\frac{L_{\text{C}}}{h_{\text{B}}} \right) \right] \right\}. \quad (3.90)$$

Средняя насыщенность нефтепродуктом в зоне полного насыщения

$$\bar{s}_{\text{H}1} = 1 - s_{\text{B}}^* - (1 - s_{\text{H}}^* - s_{\text{B}}^*) \frac{\sqrt{\pi} h_{\text{BH}}}{2 \varepsilon (L_3 - L_{\text{C}})} \operatorname{erf} \left[\frac{\varepsilon}{h_{\text{BH}}} (L_3 - L_{\text{C}}) \right], \quad (3.91)$$

а запасы нефтепродукта в этой зоне на 1 м^2 составят $W_{\text{H}1} = \bar{s}_{\text{H}1} p (L_3 - L_{\text{C}})$, м^3 . Запасы в капиллярной кайме $W_{\text{H}2} = W_{\text{H}} - W_{\text{H}1}$. В этих формулах $\operatorname{erf}(x)$ — специальная функция, значения которой приводятся в математических справочниках.

Пример. Определим запасы нефтепродукта в загрязненной толще $L_3 = 5 \text{ м}$, если капиллярная кайма $L_{\text{C}} = 3 \text{ м}$ при следующих гидрофизических характеристиках: $\rho_{\text{B}} = 1 \text{ т/м}^3$, $\rho_{\text{H}} = 0,8 \text{ т/м}^3$, пористость грунта $p = 0,38$, гидравлически неподвижные насыщенности $s_{\text{B}}^* = 0,13$, $s_{\text{H}}^* = 0,08$, $h_{\text{BH}} = 0,3 \text{ м}$, $h_{\text{B}} = 1,3 \text{ м}$. По формуле (3.90) находим среднюю насыщенность нефтепродуктом во всей загрязненной толще $\bar{s}_{\text{H}} = 0,368$, а по формуле (3.91) — в зоне полного насыщения $\bar{s}_{\text{H}1} = 0,376$. Тогда общие запасы нефтепродукта $W_{\text{H}} = 0,368 \cdot 0,38 \cdot 5 = 0,699 \text{ м}^3/\text{м}^2$, в зоне полного насыщения $W_{\text{H}1} = 0,376 \cdot 0,38(5 - 3) = 0,286 \text{ м}^3/\text{м}^2$, а в капиллярной кайме $W_{\text{H}2} = 0,699 - 0,286 = 0,413 \text{ м}^3/\text{м}^2$, т. е. в зоне полного насыщения сосредоточено только 41 % всех запасов, а остальная часть находится в нижней части капиллярной каймы. Это обстоятельство надо учитывать при выборе технологии очистки территории. Эюра насыщенностей приведена на рисунке 3.4. Максимальная насыщенность нефтепродуктом наблюдается на глубине 2,8 м и равна 0,76 пористости.

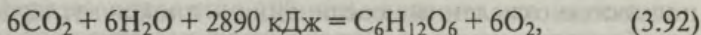
При таких запасах нефтепродуктов и площади загрязнения $0,5 \text{ км}^2$ суммарное количество нефтепродуктов составит 350 тыс. м^3 , или 280 тыс. т. Этот расчет несколько условен, так как на периферии площади загрязнения насыщенность меньше, но полученные значения вполне реальные. Несложными подсчетами можно определить количество нефтепродуктов, которые можно удалить гидравлическими способами (откачкой, вытеснением). В данном случае при удалении гидравлически подвижного нефтепродукта насыщенность можно снизить до $s_{\text{H}}^* = 0,08$ или, если иметь в виду запасы, можно удалить $0,699 - 0,08 \cdot 0,38 \cdot 5 = 0,547 \text{ м}^3/\text{м}^2$, или 78 %. Оставшуюся часть нефтепродуктов должны удалять другими приемами, как правило, это биохимические методы разложения нефтепродуктов. Оставлять нефтепродукт в почве и в водонасыщенных грунтах нельзя, так как их растворимость в воде в сотни раз превышает предельно допустимое содержание.

Приведенные математические модели в виде системы уравнений (3.77) и (3.78) с соответствующими начальными и граничными условиями являются средством для обоснования мероприятий по очистке территорий. Аналитических решений такая сложная система не имеет, ее решают конечно-разностными методами, которые реализуются в виде программ для ЭВМ. Пример расчета вытеснения нефтепродуктов из грунта приведен в разделе 9.4.3.1.

3.7. БИОТИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ

Фотосинтез. Биотический круговорот веществ прежде всего выражается в продуцировании биомассы — одного из отличительных свойств земных ландшафтов. В основе его лежит процесс фотосинтеза, т. е. образования органического вещества из диоксида углерода и воды с потреблением коротковолновой солнечной радиации определенного спектра. В фотосинтезе участвуют высшие растения, водоросли и фотосинтезирующие бактерии. Зеленые растения используют для этих целей излучение в более узком диапазоне (0,4...0,7 мкм), чем видимый свет, которое называют фотосинтетически активной радиацией (ФАР), составляющей около половины суммарной радиации. Хотя растения поглощают около 75 % солнечной радиации, но на фотосинтез расходуется не более 1...1,5 % (коэффициент полезного использования ФАР у очень урожайных культурных растений доходит до 2...3 %), подавляющая часть солнечной энергии тратится растениями на транспирацию.

Органическое вещество образуется в результате сложных биохимических реакций в присутствии определенных ферментов, при этом выделяется большое количество молекулярного кислорода. Органические вещества, по сути, аккумулируют солнечную энергию, которая затем выделяется при окислении органики в процессе ее разложения как продукта питания или при горении. Фотосинтез — основа жизни на Земле. Схематически процесс фотосинтеза выглядит так:



в результате которого образуются глюкоза и кислород.

При молярной массе глюкозы 180 г затраты энергии на образование одного 1 кг расходуется $2890/0,18 = 16\,050$ кДж. Образуются различные углеводы: глюкоза, фруктоза, а затем из них — сахароза и целлюлоза. Растения, используя элементы минерального питания (азот, фосфор, калий) и микроэлементы, участвующие в катализе (медь, цинк, железо и др.), создают белки, органические кис-

лоты и другие соединения. Анаболизм, т. е. синтез сложных органических соединений, требует притока энергии. Продукты анаболизма в большом количестве аккумулируют солнечную энергию. Обратный процесс — катаболизм, т. е. разложение органики, идет с выделением теплоты и поглощением кислорода. Обмен веществ (анаболизм и катаболизм) называют биологическим метаболизмом.

Около половины создаваемого при фотосинтезе вещества окисляется до CO_2 в самом растении в процессе роста и развития (дыхание растений). Оставшаяся фитомасса поступает в круговорот. Часть ее включается в трофическую (питательную) цепь и потребляется животными (фитофагами), следующая трофическая ступень — поедание фитофагов зоофагами. При переходе с одного трофического уровня на другой соотношение биомасс уменьшается в 100...1000 раз.

Ежегодно в процессе фотосинтеза на Земле образуется 140...160 млрд т биомассы, связывается 250...300 млрд т CO_2 , выделяется 180...200 млрд т O_2 , в продуктах фотосинтеза аккумулируется энергия, эквивалентная 50...60 млрд т нефти при годовой ее добыче около 3 млрд т.

После отмирания фитомасса разлагается животными-сапрофитами, бактериями, грибами, актиномицетами, а мертвые органические остатки минерализуются микроорганизмами до простейших минеральных соединений, которые в свою очередь являются пищей для растений. Основная среда или природное тело, где идут многие из указанных процессов, — почва, которая создает условия для жизни многим организмам, накапливает продукты синтеза и разложения органики.

Поэтому наряду с фотосинтезом на Земле совершаются примерно равноценные по масштабам, но противоположные по направлению процессы окисления органических веществ и восстановления углерода при расхождении органических веществ живыми организмами в процессе их жизнедеятельности (дыхание, брожение), при горении топливных материалов (каменный уголь, нефть, газ, торф, дрова и т. п.), в результате которых образуются полностью окисленные соединения — диоксид углерода и вода, и освобождается энергия. Большую роль в деструкции органики играют почвенные микроорганизмы, в результате их деятельности образуется около 85 % CO_2 . С помощью солнечной энергии диоксид углерода, вода снова вовлекаются в процессы фотосинтеза. Таким образом, энергия солнечного света, используемая при фотосинтезе, служит движущей силой колоссального по размерам круговорота на Земле таких элементов, как углерод, водород, кислород. В этот круговорот включаются и многие другие элементы:

N, S, P, K, Ca, Mg и др. Вынос биогенов культурными растениями измеряется десятками килограммов в год с 1 га. В малых дозах потребляются тяжелые металлы (микроэлементы): В, Cu, Mn, Zn, Mo, вынос которых исчисляется граммами и десятками граммов с 1 га. Живые организмы могут извлекать вещества из геологического круговорота, участвуя тем самым в процессах самоочищения природной среды (см. их значение как биогеохимических барьеров).

За время существования Земли благодаря фотосинтезу важнейшие элементы и вещества прошли уже много тысяч циклов полного круговорота.

В предшествующие эпохи условия для фотосинтеза на Земле были более благоприятны в связи с преобладанием восстановительных процессов над окислительными. Постепенно огромные количества восстановленного углерода в органических остатках оказались захороненными в недрах Земли, образовав громадные залежи горючих ископаемых. В результате этого в атмосфере сильно снизилось относительное содержание диоксида углерода (до 0,03 об. %) и повысилось содержание кислорода, что существенно ухудшило условия для фотосинтеза.

Следствием появления на Земле мира фотосинтезирующих растений и непрерывного новообразования ими больших количеств богатых энергией органических веществ явилось развитие мира гетеротрофных организмов (бактерий, грибов, животных, человека) — потребителей этих веществ и энергии. В результате дыхания, брожения, гниения, сжигания органические соединения стали окисляться и подвергаться разложению в таких же количествах, в каких образуют их высшие растения, водоросли, бактерии. На Земле установился круговорот веществ. Однако в связи с бурно возрастающим использованием продуктов фотосинтеза основным ее потребителем — человеком наблюдается истощение горючих ископаемых, пищевых, лесных ресурсов и т. п. Фотосинтетическая мощность современной растительности для регенерации атмосферы недостаточна: растительность Земли не способна полностью усваивать весь диоксид углерода (относительное содержание его в атмосфере за последние 100 лет медленно, но неуклонно возрастает), дополнительно поступающий в окружающую среду в результате бурно возрастающих масштабов добычи и сжигания горючих ископаемых.

Биотический круговорот характеризуется запасами биомассы на единице площади и ее ежегодным приростом. Запасы биомассы зависят от вида растительности, в лесах ее гораздо больше, чем в степях, а прирост биомассы в большей степени зависит от степени тепло- и влагообеспеченности (табл. 3.4).

3.4. Запасы и ежегодный прирост фитомассы в различных зонах, т/га

Зона	Фитомасса	
	Запас	Прирост
Арктическая тундра	5	1
Лесотундра	25	3
Тайга:		
северная	125	5
южная	300	8
Широколиственные леса западноевропейские	380	13
То же, восточноевропейские	350	12
Степи:		
луговые	17	19
типичные	12	15
сухие	6	7
Пустыни:		
умеренных широт	4	1
тропические	1,5	0,5
Леса субтропические:		
влажные	450	24
экваториальные	500	35

Ежегодное продуцирование биомассы B в разных природных зонах можно определить в зависимости от степени благоприятности климата CL , по С. А. Пегову и П. М. Хомякову, т. е. от степени оптимальности тепло- и влагообеспеченности и индекса плодородия почвы S , отражающего его свойства, т/(га · год):

$$B = CLS, \quad (3.93)$$

который они рекомендуют оценивать по запасам гумуса, его качеству (по соотношению гуматной $G_{гн}$ и фульватной $G_{фк}$ его частей), по запасам основных биогенов NPK и по гидролитической кислотности почвы H_f :

$$S = 0,0107(G_{гн} + 0,2G_{фк}) + 8,5\sqrt{NPK} + 5,1\exp(-0,25|H_f - 1|), \quad (3.94)$$

где S — индекс плодородия почвы, выраженный в годовой продуктивности биомассы, т/(га · год); $G_{гн}$ и $G_{фк}$ — запасы гуматного и фульватного гумуса во всем почвенном слое, т/га, в литературе часто приводится их соотношение $G_{гн}/G_{фк}$; N, P и K — содержание доступных форм азота, фосфора (в форме P_2O_5) и калия (K_2O), доли от максимально возможного их содержания в данной почве; H_f — гидролитическая кислотность почвы, мг · экв/100 г сухой почвы, она проявляется при взаимодействии твердой фазы почвы с растворами гидролитически щелочных солей, в результате чего почвенный раствор подкисляется гидроксильными анионами OH^- ; изменяется от 0...0,5 мг · экв/100 г для щелочных почв и до 5...6 мг · экв/100 г для очень кислых почв.

Степень благоприятности климата, или относительная тепло- и влагообеспеченность, CL зависит от показателя эффективного ув-

лажнения, по В. Р. Волобуеву:

$$\mathcal{E}_{\text{ув}} = 18,8 \ln(Oc) - T, \quad (3.95)$$

где Oc — среднееголетние осадки, мм; T — среднегодовая температура воздуха, °С.

$$CL = \sqrt{\arctg[0,25(\mathcal{E}_{\text{ув}} - 113)] + 15,7} \cdot \sqrt{\arctg[0,2(T - 6)] + 1,57}. \quad (3.96)$$

Примерные значения потенциального плодородия различных типов почв приведены в таблице 3.5, а ежегодное продуцирование биомассы с учетом тепло- и влагообеспеченности различных природных зон и плодородия почв по расчетам С. А. Пегова и П. М. Хомякова в сравнении с данными Л. Е. Родина и Н. И. Базилевич — в таблице 3.6. Значения продуктивности биоценозов, приведенные в таблицах 3.6 и 3.4, во многом совпадают, что свидетельствует о достаточно надежном определении плодородия почв по формулам (3.94)...(3.96), которые могут использоваться для оценки мелиоративных воздействий: улучшения тепло- и влагообеспеченности, уменьшения кислотности почв, внесения удобрений.

Человек сильно изменяет растительный покров, вмешивается в биотический круговорот. Особенно это заметно на землях сельскохозяйственного назначения, где практически полностью уничтожена естественная растительность, значительная часть выращиваемой биомассы отчуждается. Геосистемы с большой долей сельскохозяйственных земель называются агрогеосистемами (см. разд. 4.3).

3.5. Потенциальное плодородие почв (индекс плодородия по С. А. Пегову, П. М. Хомякову)

Тип почв	Запасы гумуса во всем слое, т/га	Отношение $G_{\text{п}}/G_{\text{фс}}$	N/N_{max}	P/P_{max}	K/K_{max}	Кислотность, мг экв./100 г	Индекс плодородия, т/(га · год)
Тундрово-глебовые	40	0,30	0,1	0,10	0,3	4,0	3,8
Подзолистые	50	0,70	0,2	0,15	0,4	6,0	3,7
Дерново-подзолистые	80	0,80	0,4	0,20	0,5	4,0	5,8
Серые лесные	300	1,10	0,5	0,25	0,7	3,5	8,5
Черноземы:							
выщелоченные	500	1,75	0,8	0,30	0,9	3,0	12,0
типичные	800	2,00	1,0	0,50	1,0	1,5	17,5
обыкновенные	600	2,20	1,0	0,40	1,0	1,0	16,2
южные	400	1,75	0,7	0,15	0,8	0,5	11,2
Каштановые	300	1,00	0,5	0,25	0,7	0,5	10,2
Бурые полупустынные	50	0,60	0,1	0,15	0,6	0	6,0
Пустынные песчаные	20	0,20	0,03	0,07	0,6	0	5,0

Продолжение

Тип почв	Запасы гумуса во всем слое, т/га	Отношение $G_{\text{дт}}/G_{\text{фк}}$	N/N_{max}	P/P_{max}	K/K_{max}	Кислотность, мг · экв./100 г	Индекс плодородия, т/(га · год)
Сероземы	60	0,90	0,2	0,02	0,7	0	6,9
Красноземы	300	0,70	0,4	0,25	0,8	3,0	8,4
Желтоземы	150	0,50	0,3	0,20	0,7	4,0	6,1

3.6. Продуктивность биоценозов в разных природных зонах

Природные зоны	Тепло- и влагообеспеченность CL	Индекс плодородия, т/(га · год)	Продуктивность биомассы, т/(га · год)	Продуктивность по Родину и Базилевич, т/(га · год)
Лесотундра	1,0	4,0	4,0	4,0
Тайга	1,1	4,0	4,4	4,5
Смешанные леса	1,4	6,0	8,4	8,5
Широколиственные леса и лесостепи	1,4	8,8	12,8	12,0
Степи луговые	1,0	16,0	16,0	15,0
Степи сухие	0,9	10,6	9,5	8,0
Полупустыни умеренного пояса	0,9	6,1	5,5	5,0
Пустыни	0,8	5,0	4,0	4,0
Полупустыни субтропические	0,9	7,0	6,3	6,0
Леса субтропические	2,9	8,7	22,6	22,0
Леса экваториальные	3,1	7,4	23,0	23,0

Продуктивность сельскохозяйственных растений. При мелиорации земель, очистке загрязненных территорий необходимо оценить продуктивность (урожайность) растений, так как создание благоприятных условий для продуцирования биомассы — одна из главных задач природообустройства. Для этого используют модели продуктивности, реагирующие на изменение факторов и условий жизни растений. Физиологи разрабатывают модели продуктивности, в которых описываются процессы фотосинтеза, дыхания растения, роста биомассы и развития репродуктивных органов. Однако такие модели еще не находят практического применения из-за слабой изученности используемых в них показателей. Поэтому применяют приближенные эмпирические зависимости конечной продуктивности от основных факторов жизни и развития растений: обеспеченности теплом, влагой, воздухом, в них учитывается снижение продуктивности в результате засоления и загрязнения почв. Эти зависимости основаны на законах земледелия, в частности на законе незаменимости и равнозначности факторов, а также на законе оптимума, гласящего, что наибольшая продуктивность наблюдается, когда все факторы находятся в оптимальном диапазоне. Это позволяет применить мультипликативный вид зависимости продуктивности (урожайности)

от ряда факторов:

$$U_{\phi} = U_0 K_{\omega} K_{\theta} K_{\Pi} K_{S} K_{Z}, \quad (3.97)$$

где U_{ϕ} — фактическая урожайность при неблагоприятных условиях; U_0 — потенциальная урожайность данной культуры при всех оптимальных условиях и агротехнике; K_{ω} , K_{θ} , K_{Π} , K_{S} , K_{Z} — коэффициенты, учитывающие неоптимальное увлажнение почвы, обеспеченность теплом, питательными веществами, снижение урожайности из-за засоления и загрязнения почвы. Набор этих коэффициентов может быть увеличен.

Влияние влажности почвы на урожайность можно определить по формуле В. В. Шабанова:

$$K_{\omega} = \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i \beta_i, \quad (3.98)$$

где i — номер декады вегетационного периода; n — число декад; α_i — вклад каждой декады в урожайность, $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$;

$$\beta = (\theta/\theta_{\text{opt}})^{\gamma \theta_{\text{opt}}} [(1 - \theta)/(1 - \theta_{\text{opt}})]^{\gamma(1 - \theta_{\text{opt}})}, \quad (3.99)$$

где θ — относительные доступные влагозапасы в корнеобитаемом слое почвы в каждую декаду:

$$\theta = (\omega - B3)/(p - B3), \quad (3.100)$$

где ω — влажность почвы; $B3$ — влажность завядания; p — пористость; θ_{opt} — относительная оптимальная влажность для каждой декады, $\theta_{\text{opt}} = (\omega_{\text{opt}} - B3)/(p - B3)$; ω_{opt} — оптимальная влажность для каждой декады; γ — коэффициент чувствительности растения на неоптимальность влагозапасов в данную декаду.

Зависимость коэффициента β от влагозапасов имеет несимметричную куполообразную форму.

Параметры для оценки урожайности яровой пшеницы по фазам развития для обыкновенных черноземов с пористостью 0,52; ППВ = 0,6 пористости; максимальной гигроскопичностью 0,11; влажностью завядания 0,143 приведены в таблице 3.7. Надо обратить внимание на то, что требования растения к увлажнению почвы существенно отличаются в разные фазы его развития. Так, в фазе цветения почва должна быть посуше, а при наливе зерна — влажнее. В фазе цветения растение более чувствительно к отклонению влажности почвы от оптимальной, значение коэффициента γ в это время велико, так же как и в фазе налива зерна.

3.7. Параметры для оценки урожайности яровой пшеницы по фазам развития (В. В. Шабанов)

Фазы развития	Декада	α	θ_{opt}	ω_{opt}	γ	$\omega_{\text{min}} = 0,5\theta_{\text{opt}}$	$\omega_{\text{min}} = 0,7\theta_{\text{opt}}$	$\omega_{\text{min}} = 0,8\theta_{\text{opt}}$
Выход в трубку	1	0,02	0,42	0,97	1,18	0,71	0,81	0,86
	2	0,07	0,40	0,94	1,37	0,70	0,80	0,85
	3	0,10	0,38	0,92	1,58	0,69	0,78	0,83
Колошение	4	0,13	0,35	0,88	2,22	0,67	0,75	0,80
	5	0,18	0,26	0,77	4,48	0,62	0,68	0,71
Цветение	6	0,25	0,22	0,72	7,15	0,59	0,64	0,67
Налив зерна	7	0,17	0,35	0,88	8,00	0,67	0,75	0,80
Созревание	8	0,06	0,27	0,78	3,88	0,62	0,69	0,72
	9	0,02	0,23	0,74	1,31	0,64	0,65	0,68
В среднем за вегетацию с учетом вклада декады	—	—	0,30	0,82	4,33	0,64	0,71	0,75

Примечания: 1. Значения влагозапасов и влажности даны для 0,5-метрового слоя почвы; ω_{opt} , доли ППВ, вычислена по формуле (3.100); ω_{min} — предположительная влажность, соответствующая 0,5; 0,7; 0,8 оптимальных относительных влагозапасов θ_{opt} , доли ППВ.

2. Ориентировочно средние за вегетацию значения коэффициента чувствительности растения γ для других культур: зерновых, корнеплодов, картофеля — 5,6...5,7; для овощей, капусты — 5,3; трав — 6,6; хлопчатника — 5,4.

3. Значение относительных оптимальных влагозапасов θ_{opt} вычисляют по оптимальной влажности почвы для конкретной культуры данного региона с учетом водно-физических свойств почв [формула (3.100)].

Примеры применения указанных зависимостей приведены в разделе 7.3.2.1.

Коэффициент, учитывающий неоптимальность температуры почвы K_{θ} , вычисляют по аналогичной зависимости, в которой вместо влажности подставляют реальную и оптимальную температуры. Зависимость продуктивности от обеспеченности питательными веществами $K_{\text{п}}$ тоже имеет максимум, при «перекормке» растений удобрениями их продуктивность снижается и даже может наступить гибель из-за высокой концентрации почвенного раствора и обезвоживания растений (явление осмоса), эта зависимость также имеет вид выражения (3.99) при соответствующих значениях параметров. Коэффициенты, учитывающие влияние засоления почвы или загрязнения тяжелыми металлами $K_{\text{з}}$ и $K_{\text{з}}$, имеют вид выражения (3.75).

Потенциальная урожайность конкретной культуры при всех оптимальных условиях и агротехнике может быть определена по формуле

$$U_0 = \eta K_{\text{уп}} Q_{\text{ф}} / (q K_{\text{св}}), \quad (3.101)$$

где η — коэффициент полезного использования ФАР, доли; $K_{\text{уп}}$ — коэффициент,

определяющий долю хозяйственно ценной части (урожая) в сухой биомассе; Q_{ϕ} — количество ФАР за вегетацию, приблизительно равно 52 % суммарной солнечной радиации за этот же период, кДж/га; q — количество ФАР для продуцирования 1 кг сухой биомассы; $K_{св}$ — доля сухого вещества в урожае зерна, равная 0,86; картофеля, корнеплодов и силоса — 0,3; сена — 0,83; у полуперепревшего навоза — 0,25.

Значения коэффициентов, входящих в формулу (3.101), для некоторых культур приведены в таблице 3.8.

Так, для озимой пшеницы, выращиваемой на юге Московской области, количество ФАР за вегетацию равно 160 кДж/см^2 , или $1,6 \cdot 10^{10} \text{ кДж/га}$; хорошие сорта озимой пшеницы могут усваивать около 2 % ФАР, т. е. $\eta = 0,02$; для производства 1 кг сухой биомассы пшеницы необходимо $q = 18\,860 \text{ кДж}$ энергии, доля зерна в сухой биомассе $K_{\text{зр}} = 0,25$; амбарная влажность зерна 14 %, $K_{св} = 0,86$. Имеем: $U_0 = 0,02 \cdot 0,25 \frac{1,6 \cdot 10^{10}}{0,1886 \cdot 10^5 \cdot 0,86} = 4932 \text{ кг/га}$, или

около 5 т/га; такие урожаи действительно получают в благоприятные годы при хорошей обеспеченности влагой, теплом и питательными веществами.

3.8. Распределение биомассы сельскохозяйственных культур (по Ф. И. Левину)

Культура	Доля от всей сухой биомассы				Поступление в почву, доля урожая	Затраты ФАР на 1 кг биомассы, кДж	Минимум ФАР для получения урожая, кДж/см ²
	Урожай (основная продукция)	Побочная продукция (солома, ботва)	Поступление в почву	Вся биомасса			
Озимая рожь	0,243	0,426	0,331	1	1,364	18860	160...170
Озимая пшеница	0,250	0,391	0,359	1	1,433	18860	160...170
Яровая пшеница	0,268	0,347	0,384	1	1,431	19300	150...168
Ячмень	0,291	0,333	0,376	1	1,293	19300	145...156
Овес	0,276	0,359	0,365	1	1,325	19350	141...160
Просо	0,239	0,422	0,339	1	1,416	19700	—
Кукуруза на зерно	0,223	0,446	0,332	1	1,489	18450	133...213
Горох	0,300	0,381	0,319	1	1,061	19000	—
Гречиха	0,231	0,407	0,362	1	1,570	19360	—
Подсолнечник	0,197	0,415	0,389	1	1,974	17500	—
Картофель	0,793	0,104	0,104	1	0,131	18000	141...156
Сахарная свекла	0,817	0,109	0,074	1	0,091	18650	165...179
Кормовые корнеплоды	0,848	0,082	0,069	1	0,081	16120	150...160
Овощи	0,835	0,100	0,064	1	0,077	16000	150...160
Силосные (без кукурузы)	0,829	0	0,171	1	0,207	16050	120...150
Кукуруза на силос	0,847	0	0,153	1	0,180	16050	125...150
Однолетние травы (вика, горох + овес)	0,379	0	0,621	1	1,640	16000	122...126
Многолетние травы	0,377	0	0,623	1	1,656	17000	130...140
В среднем	0,612	0,175	0,213	1	0,349	18000	—

В Воронежской области количество ФАР за вегетационный период яровой пшеницы примерно равно 210 кДж/см^2 , это обеспечивает потенциальный урожай около $6,8 \text{ т/га}$ при оптимальных значениях всех факторов роста и развития. Потенциальная урожайность сена люцерны при длительности вегетации 160 сут и доступном количестве ФАР 240 кДж/см^2 в Воронежской области

может составить
$$U_0 = 0,02 \cdot 0,377 \frac{2,4 \cdot 10^{10}}{0,17 \cdot 10^5 \cdot 0,83} = 12 \text{ 820 кг/га, или } 12,8 \text{ т/га.}$$

Для усиления фотосинтетической деятельности растений необходимо повышать коэффициент использования растениями солнечной радиации. Большая роль принадлежит селекции растений — созданию сортов, обладающих высокой интенсивностью ассимиляции CO_2 , и управлению процессами, связанными с эффективным использованием создаваемых при фотосинтезе органических веществ. Важное значение имеют фотоспособ размещения растений на площади (правильные нормы высева семян, густота растительного покрова), обеспечение их достаточным количеством воздуха, воды, тепла, элементов минерального питания. Из этого следует важность совместного регулирования факторов и условий жизни возделываемых растений, мелиорации сельскохозяйственных земель.

Динамика запасов гумуса при мелиорации земель. Почва способна на некоторое время извлекать из биологического круговорота продукты фотосинтеза в виде гумуса — сложного органико-минерального вещества, активно участвующего в почвообразовании, придающего почве нужные свойства, аккумулирующего питательные вещества и в конечном счете формирующего плодородие почвы. Запасы гумуса наибольшие в ландшафтах, оптимально обеспеченных теплом и влагой. В России — это черноземные степи, где запасы гумуса во всем профиле достигают $600 \dots 1000 \text{ т/га}$, в почвах лесостепей и широколиственных лесов — около 300 , в таежных подзолистых почвах — около 100 т/га .

Гумус образуется в процессе гумификации — сложного, до конца не изученного биохимического процесса, в результате которого часть органических остатков превращается в специфические органические соединения — гумусовое вещество в виде смеси высокомолекулярных азотсодержащих соединений с содержанием углерода $36 \dots 62 \%$ в разных фракциях и азота $2,5 \dots 5 \%$. Этот процесс характеризуют коэффициентом гумификации $K_{\text{гум}}$, равным доле углерода органических остатков, включившихся в состав гумусовых веществ при полном их разложении (табл. 3.9).

3.9. Доля углерода и коэффициенты гумификации в растительных остатках (по А. М. Лыкову)

Культура	K_c	$K_{гум}$
Люцерна всех лет	0,405	0,25
Кукуруза на зерно	0,357	0,15
Кукуруза пожнивная	0,370	0,15
Сахарная свекла, картофель.	0,397	0,08
Озимые:		
пшеница	0,348	0,25
ячмень	0,350	0,25
Навоз полуперепревший	0,500	0,30

Гумусовые вещества разделяют на три фракции:

фульвокислоты — наиболее растворимая часть гумуса с пониженным до 50...52 % содержанием углерода, они имеют более светлую окраску, чем другие фракции, преобладают в подзолистых почвах, в сероземах, красноземах;

гуминовые кислоты — нерастворимы в минеральных и органических кислотах, с повышенным содержанием углерода — до 62 %, имеют темную окраску, преобладают в черноземах, серых лесных и хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах;

гумины — самая инертная часть гумуса, прочно связанная с глинистыми минералами, и частично разложившиеся растительные остатки, их содержание в подзолистой почве равно 25...35 %, в черноземе — 32...40, в сероземе — 40...50 %.

Соотношение фульво- и гуминовых кислот зависит от генезиса почв, условий почвообразования; в подзолистых почвах и сероземах фульвокислот относительно больше, отношение $C_{гк}/C_{фк} = 0,4...1$; у черноземов больше гуминовых кислот, $C_{гк}/C_{фк} = 1,3...2,3$.

При мелиорации и последующем использовании земель в сельском хозяйстве надо рассчитывать динамику накопления или сработки запасов гумуса, особенно при распадке, орошении или осушении, при борьбе с эрозией почвы, приводящей к смыву или сдуванию гумуса вместе с почвенными частицами. Изменение запасов гумуса приближенно можно описать дифференциальным уравнением, т/(га · год):

$$dG/dt = A - BG; \quad (3.102)$$

$$G = A/B + (G_0 - A/B)\exp(-Bt), \quad (3.103)$$

где G — текущие запасы гумуса, т/га; A — темпы образования нового гумуса $G_{нов}$ при минерализации растительных остатков или органических удобрений $G_{уд}$, в том числе и сидератов, а также потери гумуса $B_{вым}$ при нисходящих токах влаги: $A = G_{нов} + G_{уд} - B_{вым}$.

Новообразованный гумус можно рассчитать по эквивалентному содержанию углерода, т/(га · год):

$$G_{\text{нов}} = 1,724 K_{\text{гум}} K_C B_{\text{ро}}; \quad G_{\text{уд}} = 1,724 K_{\text{гум}} K_C K_{\text{св}} D_{\text{н}}, \quad (3.104)$$

где 1,724 — коэффициент, учитывающий долю углерода в гумусе; $K_{\text{гум}}$ — коэффициент гумификации растительных остатков или навоза (табл. 3.10); K_C — доля углерода в сухой биомассе или в навозе (табл. 3.10); $B_{\text{ро}}$ — сухая биомасса растительных остатков при известной урожайности $U_{\text{ф}}$, кг/(га · год), получаемая по формуле (3.97), т/(га · год):

$$B_{\text{ро}} = U_{\text{ф}} K_{\text{св}} (1 - K_{\text{ур}}) / K_{\text{ур}}; \quad (3.105)$$

$K_{\text{св}}$ — доля сухой массы в урожае, в навозе или в сидератах; $D_{\text{н}}$ — ежегодная доза навоза или запахиваемых сидератов, т/(га · год). Для ориентировочных расчетов можно принимать, что 1 т биомассы в среднем дает 120 кг нового гумуса, а 1 т навоза — 50...70 кг.

Вымыв гумуса можно оценить, зная его содержание в почвенной влаге, при этом растворяется подвижная фракция гумуса в виде фульвокислот. Концентрация фульвокислот в почвенной влаге зависит от щелочности почвы или от содержания натрия в почвенном поглощающем комплексе (от степени осолонцевания):

Na в ППК, %	0	2	4	6	8	10	15	20
Растворимость гумуса $C_{\text{г}}$, кг/м ³	0,35	0,42	0,55	0,62	0,70	0,85	1,22	2,15

Вымыв гумуса, т/(га · год):

$$V_{\text{ым}} = 0,01 g C_{\text{г}}, \quad (3.106)$$

где g — ежегодная промываемость почвы, мм. При промываемости подзолистых почв южной тайги, равной 100...140 мм/год, вымыв гумуса может составить 0,35...0,49 т/(га · год). Это является одной из причин малогумусности этих почв, в которых гумуса в 1-литровом слое содержится около 100 т/га, тогда как в типичных черноземах — до 700 т/га.

Коэффициент B в формуле (3.102) учитывает разложение или минерализацию гумуса $B_{\text{мин}}$; а также его потери $B_{\text{эр}}$ при эрозии: $B = B_{\text{мин}} + B_{\text{эр}}$, год⁻¹. Скорость минерализации гумуса и его потери, кг/(га · год), зависят от наличия гумуса, поэтому эта составляющая баланса гумуса в уравнении (3.102) имеет вид произведения BG . При постоянстве коэффициента B разложение гумуса со временем затухает.

Скорость минерализации зависит от тепло- и влагообеспеченности территории, определяющей интенсивность биохимических процессов. В северных районах разложение идет медленнее, чем в южных, на его скорость влияют высокая влажность почвы и низкая температура. При переувлажнении разложение при-

останавливается, вместо окислительных идут процессы гниения и консервации растительных остатков, наблюдается торфообразование. На юге в полупустынях и сухих субтропиках гумус почти не накапливается из-за быстрого и глубокого разложения органики, в предгорьях образуются малогумусные плодородные сероземы, очень отзывчивые на орошение. Минерализованный гумус пополняет запасы азота и фосфора в почве, но в большей степени он обогащает почвенный воздух диоксидом углерода, способствуя развитию микроорганизмов.

В величину B должны также входить смыв и выдувание гумуса при водной и ветровой эрозии, так как количество смытого или вынесенного ветром гумуса зависит от массы удаленной почвы и от содержания гумуса в ней, т. е. $B = B_{\text{мин}} + B_{\text{эр}}$.

Коэффициент $B_{\text{эр}}$ связан с интенсивностью эрозии. Почвы считают слабоэродированными при ежегодном смыве $W_{\text{эр}} = 3 \text{ т/га} \cdot \text{год}$; средне- — до 10; сильноэродированными при смыве — более $20 \text{ т/га} \cdot \text{год}$. При массе удаленной почвы $W_{\text{эр}}$, $\text{т/га} \cdot \text{год}$, и содержании гумуса G , т/га , в слое h , м, с плотностью γ , т/м^3 , ежегодный его смыв водой и вынос ветром $G_{\text{эр}} = 0,0001 W_{\text{эр}} G / (\gamma h)$.

Например, в слое $h = 0,2$ м при содержании гумуса 6 %, или 0,06 массы сухой почвы, масса гумуса $G = 0,06 \cdot 1,2 \cdot 0,2 \cdot 10\,000 = 144 \text{ т/га}$. При ежегодной потере почвы $20 \text{ т/га} \cdot \text{год}$ вынос гумуса $G_{\text{эр}} = 0,0001 \cdot 20 \cdot 144 / 1,2 / 0,2 = 1,2 \text{ т/га} \cdot \text{год}$, а при содержании гумуса 4 %, или 96 т/га , — $0,8 \text{ т/га} \cdot \text{год}$. Коэффициент $B_{\text{эр}} = 0,0001 W_{\text{эр}} / (\gamma h)$, для слабоэродированных почв он составит $0,0001 \cdot 3 / 1,2 / 0,2 = 0,00125 \text{ год}^{-1}$, для среднеэродированных — $0,00417$, для сильноэродированных — $0,00833 \text{ год}^{-1}$.

Наиболее трудно определить коэффициент скорости минерализации $B_{\text{мин}}$. Для его определения проинтегрируем уравнение (3.102) при начальном условии $t = 0$; $G = G_0$:

$$G = A/B + (G_0 - A/B)\exp(-Bt). \quad (3.107)$$

Действительно, при $t = 0$; $G = G_0$, а при $t \rightarrow \infty$ $G \rightarrow A/B$ при любом начальном содержании гумуса, т. е. со временем наступает равновесие между приходом новообразованного гумуса и его минерализацией, вымывом, смывом и выносом ветром. О возможности стабилизации запасов гумуса или хотя бы его подвижной части говорили А. А. Роде, М. М. Кононова и другие исследователи; время стабилизации исчисляются несколькими сотнями лет, основная сработка гумуса происходит в пахотном горизонте. Значения коэффициента скорости минерализации гумуса $B_{\text{мин}}$ по установившимся запасам гумуса в слое 0...20 см (по данным И. В. Тюрина) с учетом его вымывания нисходящими токами влаги приведены в таблице 3.10. Вынос гумуса вследствие эрозии не учтен, так как

предполагается, что при первоначальном накоплении гумуса поверхность почвы защищена растительным покровом. Значения коэффициента $V_{\text{мин}}$ изменяются в соответствии с условиями минерализации гумуса, для черноземов он примерно равен $0,01 \text{ год}^{-1}$, севернее и южнее его значения уменьшаются. В лесной зоне подзолистых почв при значительном количестве новообразованного гумуса из-за сильной промываемости скорость накопления гумуса мала, так же как и в полупустынной зоне бурых почв, из-за малого количества новообразованного гумуса.

3.10. Расчет коэффициента скорости минерализации гумуса $V_{\text{мин}}$

Зона, почвы	Запасы гумуса, т/га	Опад, т/(га · год)	Новый гумус, т/(га · год)	Промываемость, мм	Вымыв гумуса, т/(га · год)	A , т/(га · год)	$V_{\text{мин}} = \frac{A}{G}$, год ⁻¹
Срединная тайга, подзолистые	53	5	0,60	125	0,438	0,163	0,0031
Южная тайга, дерново-подзолистые	75	8	0,96	114	0,399	0,561	0,0075
Широколиственная, серые лесные	109	12	1,44	97	0,340	1,101	0,0101
Лесостепь, выщелоченные черноземы	192	19	2,28	82	0,287	1,993	0,0104
Степь, черноземы:							
типичные	224	15	1,80	56	0,196	1,604	0,0072
обыкновенные	137	14	1,68	45	0,158	1,523	0,0111
Степь сухая, каштановые	99	7	0,84	17	0,060	0,781	0,0079
Полупустыня, бурые	37	2	0,24	6	0,021	0,219	0,0059
Пустыня, серо-бурые	15	0,7	0,08	0	0	0,084	0,0056

Г. Я. Чесняк, Ф. Я. Гаврилюк и др. (1983) сравнили запасы гумуса в 30-сантиметровом слое почвы по карте, составленной В. В. Докучаевым в 1881 г., и по данным съемок 1981 г. Приняв скорость минерализации $0,01 \text{ год}^{-1}$, получаем темпы поступления гумуса в естественной степи и после интенсивного сельскохозяйственного освоения, когда поступление гумуса сократилось примерно на одну треть (табл. 3.11). Главная причина сработки запасов гумуса — отчуждение значительной части (около половины) биомассы с урожаем, которое не компенсируется органическими удобрениями, несмотря на то что продукция надземной части увеличивается за счет урожайных сортов, о чем свидетельствуют данные украинских почвоведов (табл. 3.12), а также эрозия почвы.

3.11. Сработка запасов гумуса черноземов за 100 лет в слое 0...30 см

Черноземы	Запасы гумуса, т/га		Поступление нового гумуса, т/(га · год)		Уменьшение гумусообразования, %
	1881 г.	1981 г.	1881 г.	1981 г.	
Выщелоченные	255	165	2,55	1,65	39
Типичные	345	230	3,45	2,30	33
Обыкновенные	240	155	2,40	1,55	35

3.12. Уменьшение прироста фитомассы при распашке

Черноземы	Место исследования	Прирост фитомассы, т/(га · год)		
		надземной	подземной	всей

В естественных биогеоценозах

Черноземы	Заповедник:	надземной	подземной	всей
Типичный	«Михайловская целина»	4,2	11,2	15,4
Обыкновенный	«Хомутовская степь»	3,8	10,9	14,7
Южный	«Аскания Нова»	3,5	13,2	16,7

В агроценозах

Черноземы	Область:	надземной	подземной	всей
Типичный	Сумская	7,7	3,6	11,3
Обыкновенный	Харьковская	5,6	3,3	8,9
	Запорожская	4,9	2,8	7,7
Южный	Херсонская	4,3	2,2	6,5

Темпы сработки запасов гумуса на землях Михайловского стационара при распашке и вычисленные по формуле (3.103) при $A = 1$ т/(га · год) и $B = 0,01$ год⁻¹ составили:

Угодье	Запасы гумуса, т/га	Вычисленные запасы, т/га
Целина	240	240
Пашня:		
12 лет	229	224
37 лет	213	197
52 года	176	183
90 лет	159	157

Вычисленные запасы почти совпадают с измеренными, что подтверждает правильность формулы (3.103), которую можно использовать для оценки мелиоративных приемов с позиций сохранения гумуса.

По данным Ф. И. Левина, растительные остатки севооборота образуют новый гумус в подзолистых почвах — 0,4 т/(га · год); в дерново-подзолистых — 0,6; в серых лесных — 0,8; в выщелоченных черноземах — 1; в типичных — 1,2; в обыкновенных — 1; в каштановых — 0,8; в бурых — около 0,3 т/(га · год).

На рисунке 3.5 приведена динамика накопления гумуса обыкновенных черноземов в 0,2-сантиметровом слое в естественных условиях степей, когда при массе растительного опада 14 т/(га · год)

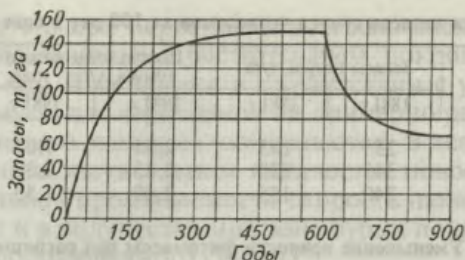


Рис. 3.5. Накопление гумуса в обыкновенных черноземах при естественных условиях и последующей распашке и эрозии

поступление нового гумуса с учетом вымыва составляло $A_0 = 1,5$ т/(га · год), обеспечившего за длительное время (600...800 лет) накопление гумуса с установившимися запасами $G_0 = 1,5/0,01 = 150$ т/га гумуса в 20-сантиметровом слое или 225 т/га в 30-сантиметровом слое (см. табл. 3.11). При последующей распашке поступление гумуса сократилось до $A_1 = 1$ т/(га · год), т. е. на одну треть, и почвы подверглись средней эрозии (коэффициент B увеличился с $B_0 = 0,01$ до $B_1 = 0,015$ год⁻¹). Видно, что самая интенсивная сработка (накопление запасов < 0) идет в первый год со скоростью $A_1 - B_1 G_0 = 1,25$ т/(га · год), через 50 лет она уменьшается до $B_1(G_0 - A_1/B_1) \exp(-B_1 t) = 0,59$ т/(га · год). Так как темпы накопления или сработки запасов гумуса во времени затухают, то простым балансовым уравнением пользоваться нельзя.

По формуле (3.103) можно установить время перехода запасов гумуса с одного установившегося уровня до другого, вызванного, например, распашкой территории. При постоянстве $B = 0,01$, т. е. без эрозии, запасы гумуса уменьшатся на 0,9 возможного за $t_{\text{стаб}} = 1/B \cdot \ln[1/(1 - 0,9)] = 230$ лет; на 0,8 от возможного — за $t_{\text{стаб}} = (1/0,01) \cdot \ln[1/(1 - 0,8)] = 160$ лет. При средней эродируемости значение коэффициента B возрастает до 0,015 и время стабилизации запасов гумуса на уровне 0,9 сократится до 154 лет, а на уровне 0,8 — до 107 лет.

Зависимости (3.103) и другие получены из условия, что поступление нового гумуса A постоянно во времени. При высоком уровне хозяйствования это поступление, зависящее от урожайности, может увеличиваться, а при неблагоприятных условиях (засоленности, заболачивании) — уменьшаться. Рассмотрим этот случай, приняв $A = A_0(1 + \alpha t)$, где α — ежегодный относительный прирост нового гумуса, год⁻¹; t — время, лет; при снижении урожайности $\alpha < 0$. В этом случае дифференциальное уравнение изменения запасов гумуса, т/(га · год), примет вид

$$dG/dt = A_0(1 + \alpha t) - BG, \quad (3.108)$$

а решая его, получим, т/га,

$$G = [(A_0(1 + \alpha t) - \alpha A_0/B)/B + (G_0 - A_0/B + \alpha A_0/B^2)\exp(-Bt)]. \quad (3.109)$$

Например, при удвоении количества новообразованного гумуса за 20 лет с $A_0 = 1$ т/(га · год) до $A_1 = 2$ т/(га · год), т. е. при $\alpha = 0,05$, за счет повышения урожайности и увеличения дозы органических удобрений запасы гумуса вначале будут медленно уменьшаться со 150 до 147,6 т/га к 10-му году, а затем — увеличиваться и достигнут начальных запасов к 20-му году и будут расти дальше. При постоянном же поступлении нового гумуса со скоростью 1 т/(га · год) к 10-му году его запасы уменьшатся до 145, а к 20-му — до 141 т/га, т. е. в среднем за 20 лет сработка гумуса составит 0,45 т/(га · год), что соответствует реальной (табл. 3.13). Недостаток формулы (3.108) в том, что при больших временах запасы гумуса не стабилизируются, а неограниченно растут или убывают.

3.13. Сработка запасов гумуса на пашне в разных экономических районах, т/(га · год)

Экономический район	1967— 1971 гг.	1981— 1985 гг.	1986— 1990 гг.	1995 г.	2000 г.
Северный	0,31	0,31	0,55	0,26	0,31
Северо-Западный	0,30	0,37	0,47	0,42	0,50
Центральный	0,34	0,19	0,19	0,60	0,71
Волго-Вятский	0,52	0,29	0,20	0,53	0,63
Центрально-Черноземный	0,80	0,45	0,51	0,68	0,80
Поволжский	0,68	0,50	0,50	0,65	0,77
Северо-Кавказский	0,88	0,56	0,72	0,95	1,12

Усредненные по экономическим районам темпы сработки гумуса, приведенные в таблице 3.13, показывают, что в результате совершенствования ведения сельского хозяйства (улучшение агротехники, рост урожайности и внесение удобрений, борьба с эрозией) до 1990 г. приводили к уменьшению темпов сработки гумуса, но еще не остановили этот процесс. После экономической реформы и резкого упадка сельского хозяйства скорость сработки гумуса опять увеличилась.

Пример использования указанных зависимостей приведен в разделе 7.3.2.1.

Контрольные вопросы и задания. 1. Опишите круговорот веществ и энергии. Какова его роль в природе? 2. Охарактеризуйте термодинамический потенциал почвенного раствора. 3. Напишите водный баланс Земли и отдельных участков. 4. Перечислите составляющие радиационного и теплового балансов. 5. Какие основные феноменологические законы природы вы знаете? 6. Перечислите требования к моделям в природообустройстве. 7. Каковы сходства и отличия физического и аналогового моделирования? 8. Что такое оптимальная сложность моделей?

9. Что такое галогеохимическая емкость геосистемы? 10. Насколько полно можно очистить почвы и грунты от загрязнения легкими нефтепродуктами? 11. От каких показателей зависит потенциальная урожайность сельскохозяйственной культуры в конкретном регионе?

4. ТЕХНОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОСИСТЕМЫ. КУЛЬТУРНЫЕ ЛАНДШАФТЫ

4.1. ИЗМЕНЕННЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

Важная проблема — изучение закономерностей сосуществования и взаимодействия естественных ландшафтов и встроенных в них человеком искусственных сооружений, устройств; изменения ландшафта при смене растительного покрова, при регулировании течения рек, при строительстве водохранилищ, карьеров, шахт и т. п.

Встроенные в ландшафт или в геосистемы любого ранга искусственные сооружения или вносимые в него новые элементы (посевы новых культур, здания, сооружения) функционируют в нем, подчиняясь природным законам. Новые техногенные или антропогенные объекты физически входят в ландшафт, становятся его элементами, но ландшафт остается природной системой. В некотором смысле неважно, как появился в составе ландшафта тот или иной элемент: образовался водоем в результате естественной запруды на реке или человек насыпал в русле плотину, образовался овраг естественным путем или в результате неправильной распашки склонов. Важно то, что эти элементы «работают» вместе с природными и именно их взаимодействие нужно изучать, чтобы уменьшить негативные последствия изменения ландшафта.

Человек не в состоянии отменить объективные законы функционирования и развития геосистем, сnivelировать качественные различия между ландшафтами тайги и степи, степи и пустыни. Воздействие человека на ландшафт следует рассматривать как природный процесс, в котором человек выступает как внешний фактор. Надо иметь в виду, что новые элементы, внедряемые человеком в ландшафт (пашни, сооружения, техногенные выбросы), не вытекают из структуры ландшафта, не обусловлены им и поэтому оказываются чужеродными элементами, не свойственными конкретному ландшафту. Поэтому ландшафт стремится отторгнуть их или «переварить», модифицировать. В связи с этим антропогенные элементы, внедряемые в ландшафт, неустойчивы, не способны самостоятельно существовать без постоянной поддержки человека. Так, культурные растения, если за ними не ухаживают,

вать, не возобновлять, будут вытеснены «дикими»; пашня — зарастет; каналы в земляном русле — или заплывут, или будут меандрировать, как реки; здания — разрушатся.

Следствие этого, во-первых, необходимость постоянной затраты человеком труда и ресурсов на поддержание таких элементов, необходимость ухода, ремонта, реконструкции, а во-вторых, для повышения устойчивости внедряемых элементов человек должен максимально уменьшать их «чужеродность» для ландшафта (см. принцип природных аналогий).

Измененную геосистему, т. е. квазиприродную, нужно рассматривать как особую *техноприродную систему*, в которую встроены *техногенные инородные для природы блоки*: посевы сельскохозяйственных культур, здания, сооружения, коммуникации и т. п. В такой системе техногенные и природные блоки функционируют, подчиняясь природным законам. Вместе с тем надо рассматривать и взаимодействие техногенных блоков, их зависимость от социально-экономических условий, например в свете собственности: земля принадлежит одному субъекту, а сооружения, построенные на ней, — другому.

Устойчивость техноприродных систем вступает в противоречие с устойчивостью измененной природной системы. Если природная система старается возвратиться в «первобытное» состояние, о чем было сказано ранее, то человек заинтересован в устойчивости техноприродных систем. Критерии устойчивости в обоих случаях противоположны. Если зарастание пашни служит критерием устойчивости геосистемы как природного образования, то этот же процесс рассматривают как свидетельство неустойчивости уже техноприродной системы, в данном случае — агрогеосистемы, назначение которой — поддерживать заданные свойства пашни для получения требуемого урожая определенных культур. Без поддержки человека осушительная система приходит в негодность (мелеют каналы, заиляются и зарастают корнями дрены и т. п.), разрушаются плотины. Следовательно, природная геосистема восстанавливает свой естественный водный режим, который был до осушения, и это есть критерий ее устойчивости. С точки зрения техноприродной системы эта же ситуация является признаком неустойчивости.

Устойчивость преднамеренно модифицированной геосистемы (техноприродной системы) вместе с встроеным в нее техногенным блоком определяют как способность выполнять заданную социально-экономическую функцию.

Измененные человеком геосистемы, как правило, менее устойчивы, чем первичные, поскольку естественный механизм саморегулирования в них нарушен. Поэтому экстремальные отклонения параметров внешней среды, которые «гасятся» в естественной гео-

системе, могут оказаться разрушительными для антропогенной модификации: один заморозок может погубить культурную растительность, пыльная буря за несколько дней может разрушить почвенный слой на распаханной территории. Техногенный блок техноприродных систем менее устойчив и может существовать только при постоянной поддержке человеком.

Степень изменения ландшафта зависит от того, какие компоненты подверглись модификации или даже разрушению. С этих позиций выделяют первичные и вторичные компоненты. Геологический фундамент и свойства воздушных масс, т. е. климат, — базовые, первичные, формирующие облик ландшафта, их, кстати, человеку трудней всего изменить, хотя примеры этого уже имеются: разработка месторождений открытым способом, когда карьеры достигают глубины 100...200 м и более, а в плане их измеряют десятками километров. Легче всего человек может изменять вторичные компоненты (растительный покров, почвы), которые восстанавливаются быстрее первичных.

Ландшафты по степени их изменения А. Г. Исаченко подразделяет:

на условно неизменные, которые не подверглись непосредственному хозяйственному использованию и воздействию, в них можно обнаружить лишь слабые следы косвенного воздействия, например осадение техногенных выбросов из атмосферы в нетронутой тайге, в высокогорьях, в Арктике, Антарктике;

слабоизмененные, подвергающиеся преимущественно экстенсивному хозяйственному воздействию (охота, рыбная ловля, выборочная рубка леса), которое частично затронуло отдельные «вторичные» компоненты ландшафта (растительный покров, фауну), но основные природные связи не нарушены и изменения обратимы; это тундровые, таежные, пустынные, экваториальные ландшафты;

среднеизмененные ландшафты, в которых необратимая трансформация затронула некоторые компоненты, особенно растительный и почвенный покров; это сводка леса, широкомасштабная распашка, в результате которых изменяется структура водного и частично теплового баланса, биогеохимический круговорот веществ;

сильноизмененные ландшафты, которые подверглись интенсивному воздействию, затронувшему почти все компоненты (растительность, почвы, воды и даже массы твердой земной коры), что привело к существенному нарушению структуры, часто необратимому и неблагоприятному с точки зрения интересов общества и природы; это главным образом южнотаежные, лесостепные, степные, сухостепные ландшафты, в которых наблюдаются обезлесивание, эрозия, засоление, подтопление, загрязнение атмосферы,

вод и почв; широкомасштабная мелиорация (орошение, осушение) также сильно изменяет ландшафты; другое дело, в какую сторону — они могут и должны быть позитивными как для природной системы, так и для человека;

культурные ландшафты, в которых структура рационально изменена и оптимизирована на научной основе, с учетом вышеизложенных принципов, в интересах человека и природы; именно таким ландшафтам должно принадлежать будущее.

4.2. КУЛЬТУРНЫЕ ЛАНДШАФТЫ

Прежде всего надо задуматься, а насколько далеко надо заходить в преобразовании природы, ландшафтов в частности? Некоторые ученые и специалисты представляют себе будущую среду обитания человечества в виде некоторой сплошной природно-технической системы, насыщенной техническими устройствами, в которой природные элементы будут сохранены лишь частично или в виде «сплошного города необычной застройки» (Ф. Н. Мильков). Вряд ли это правильно. Более обоснована идея В. Б. Сочавы — сотворчества с природой. Даже в интенсивно эксплуатируемых ландшафтах природа должна проявляться в полной мере; действуя в союзе с природой, можно добиться больших успехов, нежели пытаясь «покорить» ее.

Очевидно, мы не можем и не должны стремиться превратить все ландшафты в культурные; так, таежные ландшафты или ландшафты тропических лесов пусть еще долгое время будут природными фабриками кислорода, местом обитания животных и растений, регуляторами водного режима, наконец, запасами древесины и других ресурсов для будущих поколений.

Поэтому за многими ландшафтами, особенно условно неизменными и слабоизмененными, необходим *уход*: уменьшение загрязнения за счет сокращения техногенных выбросов в атмосферу, противопожарные мероприятия, борьба с вредителями и болезнями, санитарные рубки леса, регулирование (ограничение) хозяйственной деятельности. Это касается тундровых, слабоосвоенных таежных, полупустынных и пустынных ландшафтов.

Полезна *консервация* некоторых ландшафтов, т. е. организация заповедников, природных и национальных парков, прежде всего для сохранения генофонда растений и животных, а также в рекреационных, оздоровительных, научных, водоохраных, почвозащитных, санитарных и даже воспитательных целях.

Еще одно направление — это *оптимизация* средне- и сильноизмененных (нарушенных) ландшафтов с целью превращения их в культурные.

При разработке критериев оптимизации культурного ландшафта нужно иметь в виду:

объектом оптимизации должна быть конкретная геосистема, а именно ландшафт, а не такая неопределенная вещь, как природная или окружающая среда; это положение вытекает из целостности геосистемы: незнание или игнорирование объективных связей между компонентами геосистемы при воздействии на ее структуру и функционирование приводит к негативным последствиям; внутреннее разнообразие ландшафта создает возможности для многофункционального использования территории, повышает ее экологические, рекреационные, эстетические качества; в пределах фации или урочища невозможно создать многофункциональную, внутренне разнообразную и поэтому устойчивую среду для жизни человека;

при разработке проектов оптимизации ландшафта надо учитывать разную степень организации его элементов и разную их устойчивость; известно, что иерархически более низкие элементы менее устойчивы к внешним воздействиям;

географическая оболочка континуальна (непрерывна), ее элементы — открытые системы, постоянно обменивающиеся энергией и веществом, поэтому локальные воздействия могут распространяться далеко за пределы источника этого воздействия посредством потоков растворов, циркуляцией воздушных масс и т. п., поэтому же эти воздействия трудно локализовать, их нужно не только учитывать, но и предотвращать или компенсировать ущерб от негативных воздействий на прилегающие территории;

локальные воздействия обладают кумулятивным эффектом, и устойчивые вначале геосистемы могут потерять эту устойчивость и трансформироваться в новые, поэтому надо уметь оценивать буферность геосистемы и не выходить за ее пределы (пример: буферность почвы — способность почвы до определенного предела сохранять активную реакцию при внесении в нее кислот или щелочей), поэтому важны долговременные количественные прогнозы функционирования техноприродных систем.

Создавая культурные ландшафты, человек повышает их полезность, продуктивность. Для этого надо всесторонне оценивать экономическую ценность (стоимость) ландшафтов или их частей в естественном состоянии, в процессе существующего использования и после превращения их в культурные.

В последнее время экономисты предложили довольно полную, всестороннюю оценку ландшафтов или отдельных природных объектов, например болота, дуга, леса, водоема и т. д. Общую экономическую ценность (стоимость) ландшафтов $\mathcal{E}_ц$ представляют как стоимость использования $C_{и}$ и стоимость неиспользования

$C_{ни}$, отражающие социальную значимость природы для общества не только в настоящем, но и в будущем:

$$\mathcal{E}_{ц} = C_{и} + C_{ни}. \quad (4.1)$$

В свою очередь стоимость использования подразделяют на прямую стоимость P_c (извлекаемую и неизвлекаемую), косвенную стоимость использования K_c и стоимость отложенной альтернативы C_a :

$$C_{и} = P_c + K_c + C_a. \quad (4.2)$$

Стоимость неиспользования, т. е. сохранения природного объекта для природы и человека, $C_{ни}$ складывают из стоимости его существования и наследования будущими поколениями (непотребительской стоимости) C_c , стоимости (ценности) выполняемых им экологических функций C_3 , информационной стоимости $C_{ин}$:

$$C_{ни} = C_c + C_3 + C_{ин}. \quad (4.3)$$

Например, общая экономическая стоимость болота состоит из прямой стоимости его использования человеком: извлекаемой без осушения (добыча мха, клюквы), а после осушения (добыча торфа) — выращивание сельскохозяйственных культур; неизвлекаемой (охота); косвенной стоимости использования (изучение флоры и фауны, миграции птиц и т. п.), в связи с этим — защита флоры и фауны; стоимости отложенной альтернативы — сохранение торфа для будущего использования по мере развития новых технологий в химической, медицинской промышленности; стоимости существования и наследования — затраты на сохранения болота для будущих поколений при осушении прилегающих земель, при дорожном строительстве, борьбе с пожарами; стоимости экологических функций — значимость болота для регулирования стока рек, как биогеохимического барьера на пути миграции загрязняющих веществ; информационной стоимости — возможность познания геологической истории местности, использование генофонда проживающих организмов для селекционной работы.

Такая оценка изменяет отношение человека к природным объектам как к бесплатным, даровым источникам ресурсов и услуг. Она позволяет определить их значимость как уникальных объектов, осознанно подходить к их изменению в процессе природообустройства и использованию, показывает взаимозависимость частных ценностей. Повышая одну из ценностей, полезных, можно уменьшить другую, что в сумме, возможно, приведет к отрицательному эффекту.

Важно также, какой ценой оплачено увеличение одной из полезностей, в частности, каким объемом материальных или энергетических ресурсов, извлекаемых в том числе и из других ландшафтов. Например, идея межбассейновых перебросок речного стока была бы принята обществом, если бы изначально смогли доказать «межландшафтную» полезность перераспределения водных ресурсов.

Таким образом, мероприятия по окультуриванию ландшафтов должны основываться на оптимизации не частных полезностей, что обычно и делают, а на доказательстве повышения общей полезности с учетом межландшафтных связей.

В культурном (оптимизированном) ландшафте надо обеспечить максимальную производительность возобновляемых природных ресурсов, прежде всего биологических. Нужно ориентироваться на использование возобновляемых «чистых» энергетических ресурсов, не загрязняющих природную среду; предотвращать нежелательные как природные, так и техногенные процессы (эрозия почв, заболачивание, засоление, наводнения, оползни, размывы берегов, сели, обмеление рек, загрязнение воздуха, вод, почвы и т. д.).

Большие возможности имеет мелиорация земель как средство создания культурных ландшафтов, хотя неправильное ее применение сопряжено с негативными последствиями. Но надо ли сразу применять мелиорацию ландшафта, желая сделать его культурным? Помимо мелиорации имеется достаточно средств для создания культурных ландшафтов. Одно из них — научная организация территории ландшафтов, заключающаяся в оптимальном наборе угодий различного назначения, рациональном соотношении их площадей, взаимном расположении, форме и размерах, режиме использования, разумном количестве мелиорированных земель (иногда надо не увеличивать их, а сокращать, реконструируя мелиоративные системы), мерах охраны.

При этом, с одной стороны, следует учитывать социальный заказ, а с другой — строение самого ландшафта и наследие, которое оставила предшествующая хозяйственная деятельность. Нужно иметь в виду, что интересы экономики и охраны природы не всегда совпадают, нужно искать компромисс, отдавая предпочтение сохранению природы, так как это является долговременным фактором жизни людей на данной территории. Часто вступают в противоречие и интересы различных отраслей производства: например, при создании водохранилищ повсеместно возникает конфликт между интересами гидроэнергетики, сельского хозяйства, рыболовства. Особенно сложная ситуация складывается в густонаселенных, давно освоенных районах с напряженным земельным балансом, где нужны резервные территории для развития населен-

ных пунктов, коммуникаций, оздоровительных и природоохран-ных зон.

Для успешного функционирования культурного ландшафта (по А. Г. Исаченко) необходимо, чтобы:

он не был однообразным, кстати, это объясняется его изначально сложным морфологическим строением, которое в общем-то затрудняет использование земель, например в Нечерноземной зоне России, где распространены холмисто-моренные таежные ландшафты с большим числом болот и переувлажненных почв, с чередованием небольших массивов пашни, лугов с лесными массивами, затруднено применение сельскохозяйственной техники, но проводившиеся в одно время укрупнение полей, борьба с мелкоконтурностью вряд ли оправданны; лучше технику приспособлять к ландшафту, чем провоцировать эрозию почвы и другие нежелательные последствия;

не было антропогенных пустошей, заброшенных карьеров, отвалов, свалок, служащих источниками загрязнения; все они должны быть рекультивированы;

площади под растительным покровом были увеличены, включая посевы сельскохозяйственных культур, среди которых обязательно должны быть травы; рекультивируемые площади желательно занимать древесными насаждениями, устраивать природоохранные зоны в виде древесно-кустарниковых полос;

на части культурного ландшафта было экстенсивное приспособительное использование земель, так как естественные ценозы довольно эффективно используют солнечную энергию и при определенных условиях экономически не менее выгодны, чем посевы культурных растений: при разумном уходе за лесами, естественными лугами, пастбищами и даже болотами (особенно верховыми) с них можно получать много полезного для человека, и это будет способствовать охране природы;

культурный ландшафт имел охраняемые территории, на которых в разной степени консервируют элементы ландшафта; это могут быть заповедники как самые строго охраняемые земли, где разрешены только научные исследования без всякой хозяйственной деятельности и без массового посещения людьми, природные резерваты, заказники разного назначения (в том числе и охотничьи); были выявлены и сохранены отдельные редкие или интересные природные объекты: водопады, формы рельефа, геологические обнажения, уцелевшие остатки коренных растительных сообществ и т. п.; хорошо сочетаются природоохранные, рекреационные, культурно-воспитательные и экономические функции ландшафта в национальных и природных парках;

при организации территории ландшафта учитывались горизонтальные связи между его составляющими, направление потоков

веществ и их интенсивность, что очень важно при размещении промышленных предприятий, жилых кварталов, зеленых зон, водоемов, участков пашни при расчлененном рельефе;

на территории культурного ландшафта был выполнен комплекс работ по улучшению, восстановлению и облагораживанию гидрографической сети: восстановление малых рек, создание водоемов, регулирование поверхностного и подземного стока, улучшение качества поверхностных и подземных вод;

создание культурного ландшафта завершалось его внешним благоустройством; это достигается уже при рекультивации земель, при рациональном размещении угодий, при создании природоохранных зон, помимо этого очень важно удачное вписывание в ландшафт различных сооружений (это предмет ландшафтной архитектуры).

Перечисленные мероприятия по рациональному размещению угодий, правильному их использованию и охране надо сочетать с мероприятиями по повышению их потенциала путем различных мелиораций, т. е. активным регулированием процессов функционирования ландшафта.

4.3. КУЛЬТУРНЫЕ АГРОГЕОСИСТЕМЫ

Высказанные соображения о способах создания культурных (оптимизированных) ландшафтов начинают реализовывать в научных и практических проработках по ландшафтному земледелию. Именно сельскохозяйственное производство, несмотря на кажущееся несильное влияние на природные системы, но благодаря широкомасштабному развитию является мощным природоизменяющим фактором. Важность этого вида природопользования и значительные негативные экологические последствия заставили аграриев в первую очередь обратиться к системному анализу своей деятельности, переходить к адаптивным природосберегающим технологиям.

В рамках геосистемного подхода сформулированы многие положения концепции «агроландшафта» в работах В. А. Николаева, В. И. Кирюшина и др. Однако считаем термин «агроландшафт» неудачным, так как практически никогда весь ландшафт не используют в сельскохозяйственном производстве не только из-за его значительной территории, но главным образом из-за его внутреннего разнообразия. Поэтому понятие «агрогеосистема» более строгое. Агрогеосистемы формируются в рамках фаций и их сообществ или урочищ, они выступают непосредственным объектом при мелиорации сельскохозяйственных земель.

Агрогеосистема — это техноприродная ресурсовоспроизводя-

шая и средообразующая гео(эко)система, она служит объектом сельскохозяйственной деятельности и одновременно средой обитания культурных растений, домашних животных и человека. В ней человек эксплуатирует уникальный природный процесс, свойственный зеленым растениям, — фотосинтез, создающий живое вещество из неорганических веществ, энергетическая основа которого — солнечное излучение.

Агрогеосистема во многом отличается от природной, целинной геосистемы. Прежде всего это коренная трансформация биогеохимического круговорота веществ. Если в природных геосистемах лишь около 10 % первичной биологической продукции, создаваемой зелеными растениями, утилизируют в трофических (питательных) цепях травоядные и всеядные животные, а остальная растительная масса после отмирания идет на расширенное воспроизводство плодородия почвы, то в пахотных агрогеосистемах отчуждение с убранным урожаем подавляющей части биомассы (см. табл. 3.8) приводит к резкому дисбалансу биогеохимического круговорота. Как следствие, происходит обеднение почв гумусом, питательными элементами, разрушается структура пахотного горизонта. Почва теряет свое плодородие, становится податливой к эрозионным процессам. Возникает необходимость восстановления плодородия почвы за счет внесения органических и минеральных удобрений. К этому добавляется и другая химическая нагрузка: разнообразные ядохимикаты, химмелиоранты (известь, гипс).

Как уже отмечалось, агрогеосистемы менее устойчивы из-за уменьшения разнообразия растительного покрова.

Создание культурных агрогеосистем предполагает адаптивное растениеводство; контурное земледелие; биологические (альтернативные) системы полеводства с отказом от ядохимикатов и с сокращением минеральных удобрений; минимизацию обработки почвы; переход от монокультурных посевов к поликультуре; рациональную организацию территории.

В концепции ландшафтного земледелия много внимания уделяется оптимальному насыщению агрогеосистем морфологическими элементами экологического назначения. Они могут быть как природными, так и специально созданными. В составе культурной агрогеосистемы обязательно должна быть экологическая инфраструктура, которая поддерживает геосистему в динамически устойчивом состоянии (см. разд. 2.3).

Контрольные вопросы и задания. 1. Что такое измененная геосистема? 2. Какова устойчивость техноприродной системы? 3. Приведите классификацию степени изменения геосистем по А. Г. Исаченко. 4. Что такое культурные ландшафты? Каковы критерии их оптимизации? 5. Что такое полезность и общая экономическая ценность ландшафта? 6. Расскажите об агрогеосистеме. В чем ее отличия от природной? 7. В чем противоречие устойчивостей природной и техноприродной систем?

5. ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Природообустройство — сложное дорогостоящее ресурсо- и энергоемкое мероприятие, проводимое длительное время, для его осуществления необходимо создание комплекса инженерных сооружений и устройств, надежно функционирующих в разнообразных природных условиях, часто экстремальных, при переменных погодных условиях. Поэтому на больших площадях строят инженерные системы природообустройства, т. е. комплекс сооружений, устройств, машин и оборудования, предназначенные вместе с мероприятиями для достижения той или иной цели. Инженерные системы природообустройства вместе с природными объектами, на которых они построены и которые они призваны модифицировать в нужном человеку направлении, образуют техноприродные системы, которые принято называть природно-техногенными комплексами, подчеркивая значимость техногенных элементов.

Природно-техногенный комплекс (ПТК) состоит из двух основных частей: природной и техногенной, он включает средства управления и управляемую подсистему, которые можно представить в виде схемы (рис. 5.1).

Для организации управления необходим ряд элементов: рецептор — часть комплекса, которая воспринимает и передает информацию об управляемом объекте (измерители влажности почвы,

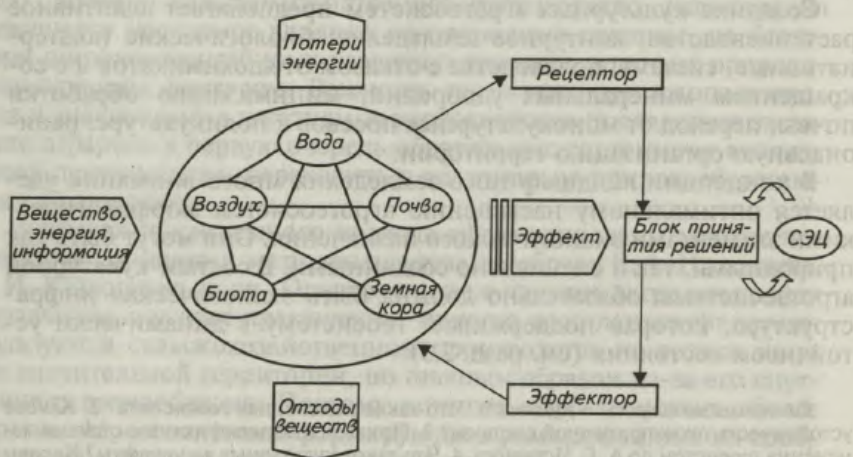


Рис. 5.1. Схема управления природно-техногенным комплексом природообустройства

температуры воздуха, уровня воды в реке и др.); эффектор — та часть, с помощью которой оказывают воздействие на управляемый параметр (насосы, каналы, трубопроводы, дождевальная техника, дрены, шлюзы и т. п.); блок принятия решений, который, соотнося поступающую от рецептора информацию с необходимым результатом, вырабатывает решения, позволяющие оптимальным способом достичь определенную социально-экономическую цель. Блоком принятия решений управляет лицо, принимающее решения. На современном этапе принятия решений поддерживается использованием экспертных систем, баз данных и геоинформационных систем, систем мониторинга, дистанционного зондирования, которые позволяют реализовать принципы адекватности воздействий и предсказуемости.

У термина «природно-техногенный комплекс природообустройства» есть синонимы. Подобные объекты еще называют геотехническими системами и техноприродными системами (удачный вариант, подчеркивающий первичность природы в этом комплексе). Нельзя путать природно-техногенный комплекс с природно-территориальным комплексом, т. е. с крупной геосистемой масштабов ландшафта, а также с производственно-территориальным комплексом — группой предприятий и учреждений, выполняющих определенную экономическую функцию и связанных производственными циклами и потоками, совместным использованием территории, природных и трудовых ресурсов и производственной инфраструктуры.

Не следует отождествлять инженерные системы природообустройства с природно-техногенными комплексами природообустройства. Последние помимо сооружений и устройств включают обустраиваемые природные объекты, на них создают комплексы природопользования. На мелиорируемых землях есть мелиоративная система, а также обязательно сельскохозяйственные предприятия растениеводства, которые вместе с мелиорированными почвами, подземными водами и другими компонентами образуют ПТК. На обустроенных водных объектах помимо средств регулирования речного стока есть гидроэлектростанции, средства судоходства, рыболовства; все они работают в тесном взаимодействии, вместе с водосбором и рекой образуют большую квазиприродную систему, или комплекс.

Природно-техногенные комплексы природообустройства сложны в правовом отношении. Например, в соответствии с Водным кодексом РФ реки — общенародное достояние. Они находятся в государственной собственности, а насосная станция на ее берегу и подключенная к ней мелиоративная система могут принадлежать частным лицам. Так, закон РФ «О мелиорации земель» предполагает наличие государственных мелиоративных систем,

систем коллективного пользования (субъектов Федерации, муниципальных органов, группы лиц) или индивидуального пользования. В соответствии с Земельным кодексом РФ земли для размещения мелиоративной системы могут быть в собственности ее владельцев. Мелиорируемые земли могут находиться в собственности других физических и юридических лиц. В связи с этим возникают противоречия между здравым смыслом и юридическими нормами. По смыслу водоисточник, водоприемник, мелиоративная сеть, линии энергоснабжения, дорожная сеть, мелиорируемые земли — единый природно-техногенный комплекс, а в правовом отношении это собственность разных субъектов. Надо отдавать себе отчет в том, что юридические нормы, в отличие от объективных законов природы, являются субъективными, предметом соглашения между людьми и в любой момент времени могут быть изменены.

5.1. ВИДЫ ПТК И ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Природно-техногенные комплексы природообустройства — это мелиорируемые земли разного назначения (сельскохозяйственные, лесного фонда, поселений, индустриальные и др.); рекультивируемые земли; обустроенные человеком водные объекты (отрегулированные реки, гидроузлы на них); обводненные, канализованные земли и поселения; защищенные от природных стихий земли (от эрозии, паводков, размывов, подтопления, от селей, оползней); земли с воссозданной экологической инфраструктурой (земли с защитными лесополосами, лесонасаждениями); природоохранные зоны.

При природообустройстве возникает необходимость в течение сравнительно продолжительного времени и на большой территории оказывать управляющие и изменяющие воздействия на компоненты природы для увеличения их полезности, восстановления, очистки, защиты. Это приводит к необходимости создания разнообразных инженерных систем природообустройства.

Инженерная мелиоративная система (ИМС) — комплекс сооружений и мероприятий для создания оптимального мелиоративного режима на землях различного назначения. К ним относятся оросительные и осушительные системы на землях сельскохозяйственного назначения, специальные дренажные системы на городских землях и землях транспорта, землях обороны и др. Мелиоративный режим, по А. И. Голованову и И. П. Айдарову, — совокупность требований к управляемым факторам почвообразования, роста растений и воздействия на окружающую среду, которые

должна обеспечивать система мелиоративных мероприятий для достижения поставленной цели.

Инженерно-экологическая система (ИЭС) — комплекс сооружений и мероприятий по восстановлению естественной самоочищающей способности компонентов геосистем, снижению до допустимых норм поступления в них загрязняющих веществ, локализации и удалению этих веществ, обеспечению экологически безопасного существования биоценозов и человека. К ним относятся системы очистки земель от загрязнения нефтепродуктами, тяжелыми металлами и другими веществами.

Инженерная природоохранная система (ИПС) — комплекс сооружений и мероприятий для защиты территории от негативных последствий природопользования и природообустройства. Назначение таких систем — защита поселений, промышленных и сельскохозяйственных районов, особо охраняемых природных территорий, рекреаций от побочного негативного влияния деятельности вблизи границ объекта. Такие системы способны перехватывать загрязненный поверхностный и подземный сток с прилегающей территории, предотвращать переосушку территории и т. д.

Инженерная противостихийная система (ИПСС) — комплекс сооружений и мероприятий для защиты территории от неблагоприятных природных воздействий: селей, наводнений, подтопления, суховеев, размыва берегов, оползней, эрозии, дефляции, заморозков.

Система регулирования речного стока (СРПС) — комплекс сооружений и мероприятий сезонного и многолетнего регулирования стока рек.

Инженерная система рекультивации земель (ИСРЗ) — временно действующий комплекс сооружений и мероприятий, который применяют для создания оптимального рекультивационного режима на землях различного назначения. Особенность систем в том, что создают их на сравнительно короткий срок — 10...20 лет, т. е. на период рекультивационных мероприятий, после которого проект завершается, земли переводят в другой фонд и передают землепользователям.

Системы водоснабжения, водоотведения, обводнения — комплекс сооружений и мероприятий, обеспечивающих потребности в воде требуемого качества, а также удаляющих использованные воды (с очисткой и размещением их в водоприемнике). Это повсеместно распространенные системы, повышающие полезность территории для человека и потому относящиеся к ПТК природообустройства.

Система хранения отходов (СХО) — комплекс сооружений и мероприятий, обеспечивающих длительное экологически безопасное хранение отходов потребления и производства. К ним относятся полигоны твердых бытовых отходов (ТБО), устройство

которых позволяет компактно, экологически и пожаробезопасно хранить ТБО, контролируя и управляя процессом их разложения.

5.2. ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПТК ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

При создании ПТК природообустройства надо последовательно решить ряд задач, которые удобно рассмотреть по стадиям жизни проекта.

Период проектирования. Его делят на ряд последовательных этапов — от обсуждения идей до имитационного моделирования будущей системы и разработки конкретных инженерных решений.

Обоснование необходимости природообустройства. Природообустройство — дорогая и потенциально экологически опасная деятельность, поэтому обосновывать его необходимо особенно аккуратно. Когда свойства геосистем и компонентов природы не устраивают природопользователей или в нем возникает необходимость из-за неблагоприятных последствий деятельности человека, часто природообустройство предшествует природопользованию. При этом природообустроитель согласовывает требования природопользователя со свойствами геосистемы, т. е. он не абстрактно «улучшает», а изменяет состояние (свойства, ценность) конкретной геосистемы в сторону увеличения ее общей полезности, доводя некоторые компоненты природы до заданного заказчиком качества. При обосновании необходимости природообустройства человек во многом руководствуется своим опытом, анализируя успехи и неудачи предшествующих проектов, проводит научные исследования, выполняет комплекс расчетных или модельных исследований, показывающих существенную необходимость вмешательства в природу. Из-за изменчивости погодных условий необходимость в природообустройстве оценивают с вероятностных позиций: например, если орошение необходимо только один раз в десять лет, то стоит ли «огород городить». Конкретный вид обустройства территории выбирают в зависимости от степени изменения конкретной геосистемы и планируемого вида природопользования.

Выбор конкретного варианта реализации ПТК и его эколого-экономическое обоснование. На данном этапе необходимо сформулировать задачу оптимизации, целевая функция которой — экономическая эффективность ПТК, ограничения — сформулированные ранее социально-экономическая цель, масштабы воздействия и эколого-ресурсные пределы нагрузки на геосистему; критерии оптимизации — управляемые факторы и условия существования геосистем и ПТК. Эко-

лого-экономическое обоснование позволяет еще на предпроектной стадии сравнить методы управления для выбора наилучших. Непременен для данного этапа — изучение различных вариантов параметров инженерных систем природообустройства.

Решение этих задач позволяет сформулировать техническое задание для проектирования и требования к точности и объемам предпроектных изысканий.

Предпроектные изыскания. Требование информационного обеспечения реализуется на всех этапах предпроектной стадии. При этом нужно иметь необходимую и достаточную для принятия решений информацию об изменяемой геосистеме, экономической и социальной ситуации. Как правило, нужно знать иерархический уровень и границы геосистемы, генезис, состав и свойства подсистем и компонентов природы, протекающие в геосистеме процессы, вид и степень техногенного воздействия, межсистемные связи, устойчивость и допустимую антропогенную нагрузку. Изменчивость и неоднородность (особенно стохастическая) свойств компонентов природы осложняют сбор необходимых данных исходя из накопленного опыта и научных исследований. На этой стадии в зависимости от качественной оценки объектов определяют виды изысканий, способы разведки и опробований, число точек измерения или необходимую длину рядов многолетних наблюдений погодных условий, расходов в реках и т. п. Наличие достоверной информации позволяет выявить внутреннюю неоднородность геосистемы и эффективно реализовать принцип необходимого разнообразия. Ввиду уникальности ПТК необходимо научное сопровождение проектов, так как типовые решения и сооружения без адаптации к конкретной геосистеме, как правило, не обеспечивают эффективного управления ПТК.

Требуемая степень изучения экономической и социальной сферы зависит от правового статуса ПТК, размеров, сложности и «времени жизни» проекта, стоимости и источника финансирования, потенциальной экологической опасности и пр.

При проектировании системы нужно назначить параметры сооружений, техники и технологий, применяемых в ПТК. Необходимо рассчитать требуемую мощность ПТК (размеры плотин, каналов, диаметры трубопроводов, мощность насосных станций, число дрен и т. п.), его состав и конструкцию, время жизни проекта. При прочих равных условиях для осуществления принятых решений следует использовать технику и технологию, обеспечивающие ресурсосбережение, высокий КПД, точность, локальность воздействий, возможность модернизации и адаптации, сниженное влияние человеческого фактора.

Обязательное условие успешного проектирования — это воспроизводство, моделирование функционирования ПТК в не-

скольких вариантах за несколько (30...50) будущих лет для количественной оценки всех благоприятных и неблагоприятных ситуаций. Для этого часто применяют способ ретроспективного моделирования, мысленно отодвигая время начала жизни проекта на эти же 30...50 лет назад, за которые есть фактические наблюдения за параметрами природных условий. Если имеются достоверные данные о возможном изменении климата или водности лет, то их нетрудно учесть при моделировании, даже проиграть разные сценарии этих изменений и оценить их значимость для конкретного проекта. Нельзя судить об эффективности и экологической безопасности проекта природообустройства по одному наихудшему или расчетному году.

Период прогнозирования должен быть больше «времени жизни» проекта для оценки критических по природным условиям лет, чтобы заранее иметь сценарии разрешения кризисных ситуаций.

«Время жизни» проекта определяется физическим износом основных сооружений и устройств, а также моральным износом проекта ПТК в целом. Например, может измениться форма использования объекта природообустройства: возникла потребность в других сельскохозяйственных культурах, изменились требования водопотребителей или водопользователей, вид использования земель. Моральный износ наступает при существенной смене технологий: замена полива по бороздам дождеванием, затем капельным или внутрипочвенным орошением, замена земляных каналов бетонными или трубами, замена гидросилового оборудования (турбин, насосов, двигателей) на более совершенное. При износе ПТК требуется их реконструкция, для чего необходимы специальные проекты.

Время существования проекта отличается от срока окупаемости, т. е. времени, когда возвращаются затраты в инвестиционный проект природообустройства и проект начинает приносить прибыль. Для объектов природообустройства срок окупаемости часто превышает 10 лет.

Предпроектная документация и проекты строительства и реконструкции природно-техногенных комплексов и инженерных систем природообустройства подлежат обязательной государственной экспертизе на соответствие исходным данным, техническим условиям и требованиям нормативной документации по проектированию и строительству. Осуществляют ее федеральные органы исполнительной власти. Помимо этого проводят государственную экологическую экспертизу в соответствии с законодательством Российской Федерации об охране окружающей природной среды и об экологической экспертизе. В проектах обязательно должен быть раздел оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) (см. разд. 6).

Период строительства. На этой стадии прежде всего разрабатывают проект организации и технологии строительства. Поскольку ПТК природообустройства — часто большие и сложные объекты, этот период строительства делят на очереди, что позволяет постепенно сдавать в эксплуатацию отдельные участки, осваивать их и одновременно доводить мощность системы до проектной. Это реализуется в календарных планах строительства. Далее подбирают способы строительства отдельных элементов инженерных систем, машины и механизмы, разрабатывают технологические карты. В процессе строительства постоянно контролируют качество строительства, составляют акты на скрытые работы, качество выполнения которых проверить потом затруднительно, а также контролируют и документально оформляют завершение строительства отдельных объектов. Строительные работы проводят с учетом охраны окружающей среды, которые завершают с обязательной рекультивацией земель, нарушенных в процессе строительства.

Период окультуривания и первичного освоения. Включает в себя комплекс инженерных, агротехнических и организационно-хозяйственных мероприятий, обеспечивающих получение запланированного результата функционирования ПТК (урожайности сельскохозяйственных культур, показателей мелиоративного режима и пр.). Выполняют культуртехнические работы, планировку поверхности почвы, вносят сорбенты, удобрения, подготавливают почву к посеву культур. Например, на мелиоративных системах это возможно при улучшении водно-физических, агрохимических и биологических свойств почвы. Качество проведения этого периода оценивают по показателям состояния земель, грунтовых вод, продуктивности растений, направленности и мощности геохимических потоков в геосистеме.

Период эффективного использования. Основной на стадии эксплуатации является задача управления ПТК. Ввиду крайней неоднородности свойств природы и нелинейности природных процессов, а также изменчивости погодных условий нужно, ориентируясь на средние, среднемноголетние значения неуправляемых факторов [(количество фотосинтетически активной радиации (ФАР), осадков, температуры воздуха, стока рек)], создавать предварительную схему действий на водохозяйственный год или вегетационный период, которые позволят достичь определенных проектом ПТК пределов регулирования управляемых параметров. При управлении ПТК кроме стратегического управления (за многолетний период) необходимо и оперативное. В соответствии с принципом адекватности воздействий оперативное управление (принятие решений по управлению сроком на день, декаду) основывают на краткосрочных прогнозах, стараясь использовать при

этом наукоемкие технологии: экспертные системы, дистанционное зондирование, моделирование, вероятностные расчеты и геоинформационное сопровождение в реальном времени. В этих расчетах стремятся к некоторому интервалу эффекта, поскольку и воздействия на управляемые факторы оказываются в некотором интервале.

При управлении существует ряд рисков: из-за аварий (их можно скомпенсировать созданием запаса элементов, запчастей, стройматериалов), из-за изменчивости погодных условий (решают оптимизационную задачу максимизации эффекта от принятых решений, например при распределении мелиоративной или водохозяйственной системой ограниченного количества воды потребителям). Риски по причине форс-мажорных обстоятельств нужно оценивать расчетами и страховать.

В задачи эксплуатации инженерной системы природообустройства также входят уход за ее элементами, текущие и капитальные ремонты.

Мониторинг поставляет информацию о реакции природно- и техногенного комплекса на меры по управлению, на основе которой согласно принципу адекватности воздействий и осуществляют управление природными процессами. Необходимо научное обоснование периодичности наблюдений, выбора непосредственного объекта и технических средств мониторинга, сопряжения систем дистанционного зондирования.

5.3. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СОСТАВ ТЕХНОГЕННОГО БЛОКА ПТК ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

К техногенным компонентам ПТК относятся мероприятия и все виды созданных человеком объектов для достижения социально-экономических и экологических целей. Техногенные объекты можно разделить на технические устройства и сооружения — точечные, локальные объекты (скважина, шлюз-регулятор на канале, насосная станция); инженерные сети — протяженные и разветвленные объекты, связывающие устройства и сооружения (каналы, дренажная и дорожная сети, сети водоснабжения и водоотведения и пр.); технические системы — комплекс разнообразных сооружений и инженерных сетей, расположенных на определенной территории и функционирующих в соответствии с единой задачей (инженерно-экологическая система, водохранилищный гидроузел).

Принципиально важно, что встроенные в ландшафт или в геосистемы любого уровня искусственные сооружения или вносимые в них новые элементы (посевы новых культур, здания, сооруже-

ния) функционируют в них, подчиняясь природным законам, «работают» вместе с природными элементами.

Участие человека в техногенном изменении геосистем не ограничивается встроенной техникой. Большое значение имеют мероприятия, которые, проведенные однажды (многократно, периодически), придают компонентам природы новые качества, не оставляя после себя сооружений, построек, технических систем (например, культуртехнические работы, рассоляющая промывка, глубокая вспашка, регулирование русл рек). Таким образом, мероприятия влияют в основном на свойства компонентов природы (впитывающая способность почвы увеличивается при мелиоративной вспашке, на емкость поглощения влияет внесение сорбента). Для регулярных воздействий, изменения состава компонентов природы и управления природными процессами создаются специальные технические элементы — подсистемы.

Для мелиоративных систем такой анализ подсистем был проделан еще А. Н. Костяковым, который к оросительной системе относит источник орошения, головное сооружение (водозабор и насосную станцию), магистральный оросительный канал, распределительные каналы (межхозяйственные и внутрихозяйственные), временную оросительную регулируемую сеть, водоотводящую сеть (сбросную и дренажную), искусственные сооружения (арматуру на каналах), поливную технику, средства водораспределения. В осушительную сеть А. Н. Костяков включает регулируемую сеть, проводящие каналы, ограждающую сеть, осушительные насосные станции, водоприемник. Помимо этого в состав и тех и других входят средства учета и автоматизации, связи, линии энергоснабжения, дороги, лесополосы.

Строго говоря, мелиоративные системы привязывают к водисточникам и водоприемникам, в качестве которых могут быть естественные или искусственные водные объекты (реки, озера, водохранилища и т. п.). Последние юридически не входят в состав мелиоративных систем, так же как и мелиорируемые земли, за исключением земель, на которых построена межхозяйственная часть мелиоративной системы.

По аналогии можно назвать технические подсистемы, общие для всех инженерных систем природообустройства.

Регулирующая подсистема, непосредственно влияющая на природные процессы, представляет собой, как правило, инженерные подводящие либо отводящие вещество сети, которые должны быть оптимально расположены на площади (дренажная и оросительная сети, регулирующие водный режим; вертикальный дренаж, создающий условия для очистки земель от нефтепродуктов; сеть дренажных и газоотводных трубок для отвода фильтрата и биогаза из пласта отходов на полигоне ТБО).

Проводящая подсистема подает (отводит) вещество к (от) регулирующей сети. Это сеть коллекторов в осушительной и канализационной сети, магистральные и распределительные каналы и трубопроводы.

Локализующая подсистема ограничивает по площади действие регулирующей сети, защищая окружающую ПТК среду от косвенных и побочных негативных воздействий. Это, например, контурный дренаж по границам орошаемого массива, противотрационные завесы как защита от осушающего воздействия на прилегающие земли, стена в грунте, изолирующая область загрязнения нефтепродуктами и препятствующая их движению.

Ограждающая подсистема защищает ПТК от нежелательных внешних воздействий. Это береговой дренаж, защищающий поселение от подтопления, дамба обвалования для защиты территории от затопления, нагорные и ловчие каналы по границам осушаемой площади.

Аккумулирующая подсистема запасает вещество. Например, чаша водохранилища запасает воду в соответствии со способом регулирования — сезонным или многолетним. Водооборотные системы имеют специальные накопительные резервуары для повторного использования воды, польдерные системы имеют бассейны-накопители вблизи откачивающих насосных станций; на системах утилизации сточных вод накопители стоков используют для согласования режимов их поступления и режима орошения.

Заборные и сбросные подсистемы — с их помощью ПТК связаны с источниками и приемниками веществ. Как правило, это водозаборы, водовыпуски.

Гидротехнические сооружения строят в составе тех ПТК, которые используют водные потоки. К гидротехническим сооружениям относятся сооружения на каналах (регуляторы, акведуки, перепады, дюкеры, вододелители), насосные станции, плотины, водосбросы.

Подсистемы обеспечения экологической безопасности снижают и компенсируют экологическую опасность ПТК, действуют как в штатном, так и в аварийном режимах. К ним относятся очистные сооружения и биоплато, опреснители поливной воды, поля фильтрации, песколовки в каналах и пр.

Подсистемы мониторинга, контроля и автоматизации поддерживают и обеспечивают прямую (само воздействие) и обратную (восприятие и анализ ответных реакций) связи при управлении ПТК.

Эксплуатационная инфраструктура включает производственные, жилые и административные постройки; дороги; линии связи и электросети; технику для эксплуатации ПТК; запасы стройматериалов, стандартных сборных элементов, запчастей для техники.

5.4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ПТК ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Прогнозирование — основанный на ретроспективном анализе системы и ее поведения метод получения конкретного предсказания или вероятностного суждения о состоянии системы в будущем (т. е. прогноза). По сути, прогнозирование — это выбор одного или нескольких наиболее вероятных вариантов (сценариев) состояния системы в будущем из множества возможных. Часто требуется именно многовариантный прогноз. Например, прогноз техногенной аварии на химическом заводе составляют для нескольких вариантов количества и качества выбросов. Прогноз затопления территории при наводнении составляют для нескольких уровней воды.

Прогноз должен быть достоверным, по возможности опираться на модели прогнозируемых процессов. От прогноза следует отличать предупреждение-экстраполяцию, которое основывается на простейших балансовых расчетах и отвечает на вопрос: что будет, если процесс будет идти наблюдаемыми темпами.

В природообустройстве нужны прогнозы функционирования и развития природных систем при антропогенном влиянии. Прогнозирование природных и техноприродных процессов осложнено неопределенностью условий, в которых они протекают, а также изменчивостью во времени свойств природных тел; нелинейностью природных процессов, а также резкой вариацией погодных условий.

Прогноз может быть количественным или качественным. По масштабам прогнозируемых явлений прогнозы делят на глобальные, региональные, национальные, локальные, а по срокам — на краткосрочные (в основном для нужд оперативного управления ПТК), среднесрочные (на год, для вегетационного периода и т. д.) и долгосрочные (на время, сравнимое со сроками существования ПТК).

Методики прогнозирования:

линейная экстраполяция. Ее проводят с помощью функциональных зависимостей, приближенных к предшествующему и современному развитию процесса;

модельная экстраполяция — расчеты на модели процесса, в том числе учитывающей возможную нелинейность процесса, для условий будущего;

интуитивное (экспертное) предсказание (метод Делфи), когда мнения ряда исследователей-экспертов обобщают с помощью специальных методик статистики и теории планирования эксперимента;

анализ причинно-следственной связи (метод аналогии), когда

предполагают, что грядущий процесс для данной системы в чем-то аналогичен уже известным явлениям, происходившим в сходных условиях;

на основе гипотезы первичного толчка, при котором наблюдаемое слабое изменение, несущественное сейчас, рассматривают как способное перерасти в сильное, значительное;

качественный скачок: прогноз основан на предсказании перехода слабого роста в резкий (экспоненциальный, степенной) и вызванных им изменений.

Контрольные вопросы и задания. 1. Что такое природно-техногенный комплекс? 2. Какие виды ПТК природообустройства вы знаете? 3. Расскажите о периодах создания и существования ПТК. 4. Каков состав оросительных и осушительных систем по А. Н. Костякову? 5. Дайте современную классификацию техногенных подсистем ПТК. 6. Каковы требования к прогнозам в природообустройстве?

6. НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ БАЗА И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

6.1. ПРАВОВАЯ БАЗА ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Природообустройство имеет большое значение для национальной безопасности страны и повышения качества жизни людей, поэтому государство берет на себя регламентацию многих сторон этой деятельности. Одна из форм государственного регулирования — закон в юридическом смысле — воля общества, поддержанная государством. *Право* — общественный регулятор, т. е. система правил поведения в определенных ситуациях. *Норма права* — общеобязательное правило, устанавливаемое и поддерживаемое государством в интересах всего общества.

Нужно понимать, что закон в данном смысле — предмет соглашения между людьми и потому он не может оставаться неизменным, как не остаются неизменными отношения между людьми.

Всякая деятельность человека, связанная с природой, и природообустройство в том числе, опирается на ряд документов — источников права. Важнейшие среди них: международные договоры (например, Киотское соглашение), Конституция РФ, Земельный кодекс РФ, Водный кодекс РФ, Лесной кодекс РФ, а также федеральные законы «О мелиорации земель», «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения», «О недрах», «Об охране окружающей среды», «Об экологической экспертизе» и др. Ответственность за экологические правонарушения закреплена Кодексом РФ об административных правонарушениях, Уголовным кодексом РФ, глава 26 которого посвящена экологическим преступлениям, и Гражданским кодексом РФ, регулирующим в том числе и иму-

ественные права. Отметим, что нормативная правовая база постоянно меняется, что отражается на юридическом сопровождении и обеспечении природообустройства.

По российскому законодательству предмет регулирования в области природопользования и тесно связанного с ним природообустройства — общественные отношения, возникающие по поводу земель, недр, почв, поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха, растительного и животного мира. Кроме того, нормативная правовая база определяет:

- права и обязанности лиц, вступающих в названные отношения, в том числе имущественные права (собственности и использования), на природные ресурсы, сооружения и системы природообустройства, образующие природно-техногенные комплексы;

- управление этими отношениями, включающее нормирование и лицензирование различных видов деятельности, связанных с воздействием на природу;

- экономический механизм экологических отношений, регламентирующий вопросы налогообложения, оценки экономической эффективности проектов, штрафы, обязательные и добровольные взносы в различные экологические фонды;

- процедуру экологической экспертизы и экологического аудита;
- обеспечение экологической безопасности;

- правовую охрану окружающей природной среды от загрязнения;

- ответственность за нарушение законодательства. Существует дисциплинарная, административная, гражданская и уголовная ответственность за нарушения требований экологического законодательства.

Принципы права в сфере экологии, природопользования и природообустройства следующие:

- презумпция экологической опасности любой деятельности: любая антропогенная деятельность потенциально опасна для природы;

- предотвращение вреда окружающей природной среде: правовое регулирование ставит своей задачей недопущение ущерба природе;

- охрана жизни и здоровья человека — одна из основных задач обеспечения прав человека на жизнь и здоровье;

- обеспечение рационального использования природных объектов;

- принцип платности природопользования: природу используют на платной, возмездной основе, что учитывает интересы общества в целом;

- загрязняющий платит: в отношении лица или организации, загрязняющих компоненты природы, действует экономический

механизм: нормативная плата за сброс сточных вод, штрафы за превышение заданных лимитов;

принцип устойчивого экологически обоснованного развития: экономическое развитие должно находить баланс между потребностями ныне живущих людей и возможностью жить и развиваться будущим поколениям;

принцип свободного доступа к экологической информации: информация о состоянии окружающей природной среды важна для людей, и потому закон гарантирует свободный доступ к ней;

принцип ответственности за экологические последствия деятельности. Экологические последствия деятельности — любые антропогенные изменения в природе. Закон гласит, что за эти изменения как физические, так и юридические лица должны в полной мере нести ответственность, предусмотренную законодательством (дисциплинарную, гражданскую, административную, уголовную).

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» регулирует отношения в сфере взаимодействия общества и природы, возникающие при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, связанной с воздействием на природную среду как важнейшую составляющую окружающей среды, являющуюся основой жизни на Земле, в пределах территории Российской Федерации, а также на континентальном шельфе и в исключительной экономической зоне Российской Федерации.

В этом законе использовано определение окружающей среды как совокупности компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов.

Водный кодекс РФ указывает, что оборот водных объектов осуществляют особым образом: продажа, залог и совершение других сделок, которые влекут или могут повлечь отчуждение водных объектов, не допускаются (за исключением обособленных, т.е. небольших по площади и непроточных искусственных водоемов, не имеющих гидравлической связи с другими поверхностными водными объектами). В нем подробно описаны участники водных отношений, право собственности и другие права на водные объекты, вопросы государственного управления в области использования и охраны водных объектов. Отношения по поводу воды, находящейся в окружающей среде и не сосредоточенной в водных объектах (т.е. сосредоточениях вод на поверхности суши в формах ее рельефа либо в недрах, имеющих границы, объем и черты водного режима), не относятся к предмету регулирования водного законодательства Российской Федерации.

Федеральный закон «О мелиорации земель» указывает, что предметом регулирования являются отношения, возникающие в процессе осуществления мелиоративных мероприятий на землях

сельскохозяйственного назначения или на землях, предназначенных для производства сельскохозяйственной продукции, и, к сожалению, не регулирует вопросы мелиорации земель иного назначения. В нем подчеркнуто, что мелиоративные системы и отдельно расположенные гидротехнические сооружения в соответствии с гражданским законодательством РФ могут находиться в государственной (федеральной и региональной), муниципальной, частной и иных формах собственности.

Закон требует учета мелиорированных земель и мелиоративных систем, который заключается в сборе данных о почвенных, гидрологических, технических и об иных характеристиках. Указанные данные заносят в государственный земельный кадастр; на мелиоративную систему составляют паспорт, в котором содержатся сведения о технических характеристиках и состоянии соответственно мелиоративной системы и гидротехнических сооружений. Мелиорируемые земли обслуживаются мелиоративной системой, но не входят в ее состав как собственность.

Согласно ст. 33 мелиорацию земель (мелиоративные мероприятия) финансируют за счет средств федерального бюджета, выделяемых федеральному органу исполнительной власти, управляющему сельским хозяйством, средств бюджетов субъектов Российской Федерации, а также за счет средств собственников, владельцев и пользователей мелиорируемых (мелиорированных) земель, кредитов банков и других не запрещенных законом источников.

В небольших странах с малым разнообразием природных условий может быть достаточно единого закона, регулирующего какую-либо деятельность, в таком законе можно даже указать примерные значения управляемых параметров. В условиях России огромное разнообразие условий приводит к тому, что практически невозможно использовать одинаковые технологии в различных регионах. Поэтому государство закрепляет с помощью федеральных законов наиболее общие принципы, а отраслевые и региональные рекомендации дают соответственно министерства в виде различных нормативных документов (инструкций, методических указаний, основных положений, стандартов) и субъекты Федерации (местные законы, постановления, указы).

Например, в Основных положениях о рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы, разработанных Министерством охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ и Комитетом РФ по земельным ресурсам и землеустройству 22.12.1995 г., определены общие требования при проведении работ, связанных с нарушением почвенного покрова и рекультивацией земель, которые обязательны для всех юридических, должностных и физических лиц; обозначены цели и этапы рекультивации, земли, подлежащие рекультива-

ции; оговорены порядок приемки и передачи рекультивированных земель, их учет; контроль за рекультивацией земель и ответственность за невыполнение обязанностей по рекультивации.

6.2. СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Существуют международные стандарты, государственные стандарты (ГОСТ), отраслевые стандарты (ОСТ), стандарты предприятий и др. Специальные стандарты (например, строительные нормы и правила — СНиП) регламентируют создание технических систем. Эти стандарты обязательны к применению. Например, СНиП 3.07.03—85 «Мелиоративные устройства и сооружения» распространяется на строительство новых и реконструкцию действующих мелиоративных систем и сооружений. Он содержит рекомендации по строительству каналов, оградительных дамб, закрытой оросительной сети, лотковой оросительной сети, закрытого горизонтального дренажа, вертикального дренажа, противодренажных облицовок и экранов, гидротехнических сооружений и насосных станций. Отдельно оговорены планировка орошаемых земель, культуртехнические работы, охрана окружающей природной среды.

Следует понимать, что любой стандарт имеет как положительные, так и отрицательные стороны. С одной стороны, стандарт унифицирует деятельность, конструкции сооружений, способы их расчета, обобщает опыт в данной сфере, что позволяет установить критерии ответственности проектировщика, строителя, эксплуатационника. Вместе с тем стандарты останавливают прогресс, СНиП не позволяет принимать решения на основе современных достижений науки. Хотя стандарты и пересматривают, средний период внесения значительных изменений около 10 лет, но ученые должны активно продвигать научные достижения и результаты в практику, в том числе и закрепляя их в стандартах.

В современной российской нормативной системе важное место занимают стандарты ГОСТ Р ИСО серии 14000. В России они введены в конце 1990-х. Практика показывает, что та организация, которая придерживается этих стандартов, имеет больше возможностей для получения кредитов, страхования на выгодных условиях, имеет положительную репутацию в среде партнеров, в отношениях с государством и на международной арене.

Например, ГОСТ Р ИСО 14001—98 «Системы управления окружающей средой» описывает общие требования к системе управления окружающей средой в соответствии с экологической политикой организации, внедрение и функционирование такой системы, проведение ее проверок и улучшения.

Подобных требований все больше в деловом мире, они хорошо работают в условиях экономической свободы и развитого демократического общества, но даже в них обязательно нужны строго регламентированные требования со стороны государства, ограничивающие загрязнение, деградацию, истощение компонентов природы.

6.3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА В ОБЛАСТИ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Обеспокоенность человечества своим будущим возникла примерно в середине XX в. после окончания Второй мировой войны, в период бурного развития мирной науки и экономики, потребовавшей колоссальных ресурсов и производящей горы отходов. Наибольшее опасение у международного сообщества вызывали «большие проекты», связанные с изменением природы, т. е. проекты существенного перераспределения природных ресурсов по территории, например, при нефте- и газодобыче или переброске стока рек, увеличивающаяся распашка земель и химизация сельского хозяйства, проекты широкомасштабной мелиорации, индустриальное загрязнение природной среды. Естественная реакция на эту угрозу — ограничение опасной для человека деятельности, установление экологического контроля над ней.

Возникла необходимость в формулировании экологической политики, под которой понимают заявление организации о своих намерениях и принципах, связанных с экологической эффективностью ее деятельности. Для успешности управления качеством окружающей среды экологическую политику должны заявлять все органы управления, начиная от государства и кончая хозяйствующим субъектом и просто гражданином. Любая организация должна создавать, внедрять, поддерживать и улучшать систему управления окружающей средой. Вместе с тем она должна удостовериться в справедливости своей экологической политики. Для этого нужно продемонстрировать соответствие своей экологической политики интересам других организаций и граждан и добиться одобрения (сертификации или регистрации) своей деятельности обществом, внешней организацией, например при экологической экспертизе проекта природообустройства.

Экологическая политика должна:

соответствовать характеру и масштабу деятельности организации, учитывать вид продукции или услуг и соответствовать воздействиям на окружающую среду;

включать обязательства в отношении соответствия природоохранному законодательству и регламентам;

включать обязательства в отношении постоянного улучшения окружающей среды и предотвращать ее загрязнение;

предусматривать основу для установления целевых и плановых экологических показателей и их анализа (такие показатели, например, могут входить в структуру мелиоративного режима);

быть оформлена документально, ее необходимо внедрять, поддерживать руководством и доводить до сведения всех сотрудников, а также быть доступной для общественности.

Экологическая политика — двигатель в деле внедрения и совершенствования системы управления окружающей средой на всех уровнях хозяйственной деятельности. Она должна отражать обязательства руководства, соблюдать применяемые законы, выполнять плановые показатели качества окружающей среды. Политика должна быть достаточно четкой, чтобы ее понимали внутренние и внешние участники хозяйственной деятельности, периодически совершенствоваться (анализироваться и пересматриваться).

Природообустройство непосредственно ориентировано на управление окружающей средой, придание ей нового качества, обеспечивающего гармоничное сочетание суверенных интересов человека и природы. Экологическая политика природообустройства конкретно изложена в его принципах (см. разд. 1.3). Принципы целостности, сбалансированности, природных аналогий, необходимого разнообразия, адекватности воздействия, гармонизации круговоротов, предсказуемости, эффективности и безопасности, нравственности ориентируют природообустройство на постоянное улучшение качества среды, экономное расходование всех ресурсов при его реализации, недопущение или компенсацию ущерба другим природопользователям и природе как таковой.

Эти принципы должны реализовываться при обосновании методов и способов природообустройства на конкретных территориях, выполнении мелиоративных или рекультивационных режимов. Главное средство реализации экологической политики — надлежащее научное обоснование приемов обустройства. Привлечение всех знаний, в том числе и накопленного человеком опыта, детальное изучение обустраиваемых территорий, использование современных природо- и ресурсосберегающих технологий природообустройства, качественное проектирование, применение совершенных технологий строительства и последующее адекватное управление инженерными системами природообустройства могут обеспечить выполнение принятых обязательств.

К инструментам реализации экологической политики также относятся оценка воздействия на окружающую среду (внутренняя экспертиза); независимая внешняя экспертиза, как государственная, так и общественная; мониторинг систем природообустрой-

ства; экологический аудит, экологический контроль, которые вместе составляют *экологическую оценку*.

Экологическую оценку надо проводить на всех этапах конкретной деятельности:

при разработке нормативно-правовой базы: международных договоров, законов, постановлений, руководств, стандартов, норм, правил;

при составлении прогнозов развития народного хозяйства страны в целом или ее регионов, развития отдельных отраслей, национальных или региональных программ;

при технико-экономическом обосновании проектов (ТЭО); разработке технических проектов, регламентов функционирования предприятий и при их ликвидации.

6.4. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) — составная часть экологической оценки, и она обязательна для любого проекта. ОВОС должна содержать достоверные количественные оценки планируемой деятельности на окружающую среду при разработке всех альтернативных вариантов предпроектной, в том числе прединвестиционной, и проектной документации, обосновывающей планируемую хозяйственную и иную деятельность, с участием общественных объединений. Процедуры ОВОС регламентированы Федеральным законом «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г., Положением об оценке воздействия намечаемой и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации (2000 г.).

Различают стратегическую оценку воздействия на окружающую среду (СОВОС), собственно ОВОС и заявление о воздействии на окружающую среду (ЗВОС).

Стратегическая оценка воздействия на окружающую среду (СОВОС). Это достаточно новый подход, который хотя и базируется на концепции и принципах ОВОС, но в отличие от нее предполагает оценку комплексного воздействия на окружающую среду плана, программы, политики или проекта законодательного акта правительства. Основная цель СОВОС заключается в обеспечении учета и оценки окружающей среды до принятия политики, стратегий, программ, планов и законодательства. Иными словами, СОВОС применяют на стадии, когда лица, отвечающие за принятие решений, еще способны учесть возможное воздействие определенной стратегии на окружающую среду и повлиять на ход событий.

СОВОС можно проводить для оценки национальной энергетической, промышленной или сельскохозяйственной политики,

территориальных планов развития на различных уровнях (района или округа), проектов национального законодательства в различных областях (обращение с отходами, потребление) и т. д.

Стратегическая оценка направлена:

на возможность решения существующих проблем состояния окружающей среды и здоровья в рамках рассматриваемой стратегии;

анализ целей и задач стратегии с экологической точки зрения;

оценку вклада стратегии в достижение экологической устойчивости;

анализ альтернатив стратегии, вариантов программ, их влияния на окружающую среду, условия жизни людей, их здоровье;

оценку возможности мониторинга потенциального воздействия стратегии на окружающую среду.

При проведении СОВОС обычно используют два подхода: оценку воздействия и оценку ожидаемых результатов. *Оценка воздействия* исходит из предпосылки, что до принятия окончательного решения необходимо оценить любое воздействие рассматриваемой стратегии и ее альтернатив на окружающую среду и здоровье людей. Сам процесс такой оценки (появление нового знания) может повлиять на окончательное решение.

Оценка ожидаемых результатов должна ответить на вопрос о том, насколько эффективно учитывают экологические интересы на всех стадиях планирования стратегии и насколько они адекватны целям и задачам стратегии по сравнению с возможными альтернативами.

Принятые стратегии, программы и планы предопределяют решения на более низком уровне (при реализации проектов на местах), поэтому разработчики должны обеспечить общественность информацией. Разработчики должны создать условия для реализации ее права на участие в процессах планирования и разработки таких документов. Это может быть сделано либо через общественные организации, либо через представительные органы (советы, думы и т. п.).

Если реализация стратегии может оказать воздействие на окружающую среду другой страны, то власти и общественность затрагиваемой страны должны быть заранее информированы обо всех значительных потенциальных трансграничных формах воздействия стратегии, иметь возможность принять участие в ее обсуждении и высказать свои пожелания. В рамках СОВОС должны быть учтены пожелания других стран при принятии решений страной, планирующей осуществление оцениваемой стратегии. Это обстоятельство учитывается в европейском и международном законодательстве, где признается важность демократичности СОВОС. В рамках ЕС действует Директива 2001/42/ЕС по страте-

гической оценке воздействия на окружающую среду. Она имеет непосредственную юридическую силу для 31 европейского государства (стран-участниц и стран-кандидатов ЕС) и требует использования общих подходов.

Пока ни в одной стране СОВОС не используется комплексно, т. е. на всех уровнях разработки стратегических документов (политики, планов, программ). В ряде стран СОВОС используют на уровне разработки политики (например, в Канаде, Болгарии, Чехии, Эстонии, Польше и Словакии) или при разработке законодательства и подзаконных актов (Дания, Нидерланды). В большинстве случаев СОВОС используют только в отношении планов или программ. Основные секторы, на которые направлена СОВОС, — сферы природопользования (землепользование, водный сектор, обращение с отходами, транспорт и энергетика), а также природообустройство.

В некоторых странах СОВОС во многом базируется на видоизмененных процедурах ОВОС и проводят ее как дополнительное мероприятие, оказывающее реальное влияние на процессы планирования и разработки программ. В новых независимых государствах (ННГ) схожей с СОВОС является система государственной экологической экспертизы (ГЭЭ), которая имеет статус национального закона в ряде стран (Белорусии, Грузии, Казахстане, Молдавии, России, Туркменистане, Украине).

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС). Она сформировалась как интегрированный системный процесс. Концепция ОВОС была впервые введена в США с принятием Закона о национальной политике в области охраны окружающей среды (1969 г.) ОВОС, как правило, используют для выявления отрицательного воздействия планируемого проекта на окружающую среду до его одобрения и реализации, а также для планирования соответствующих мер по сокращению или предотвращению такого воздействия. В большинстве стран Европы и некоторых странах бывшего СССР ОВОС имеет статус национального закона.

По своим функциям и особенностям ОВОС — инструмент превентивного характера, а не метод решения уже возникшей проблемы. Поэтому ОВОС — это процесс, который гарантирует, что все экологические последствия от реализации хозяйственной деятельности приняты во внимание перед тем, как решение реализовано.

Задачи ОВОС:

выявление, анализ, оценка и учет в проектных решениях предполагаемых воздействий намечаемой хозяйственной деятельности; изменений в окружающей среде как результатов этих воздействий; последствий для общества и экосистемы, к которым приводят изменения в окружающей среде;

выявление, анализ и сравнение всех реальных и разумных аль-

тернатив (включая полный отказ от деятельности) на основе социально-экономических и экологических оценок каждой из них;

формализация, в рамках которой заказчик представляет результаты проведенных процедур ОВОС в процессе разработки проектного замысла на различных стадиях проектирования.

Процедура ОВОС дает возможность провести анализ возможных воздействий на окружающую среду и документировать их в виде отчета, после чего провести общественные слушания по рассмотрению отчета, принять во внимание все комментарии граждан, представить отчет с окончательным решением и, наконец, информировать общественность об этом решении.

Главные цели ОВОС в контексте природообустройства следующие:

оценить направление и глубину изменений в окружающей среде при осуществлении проекта;

оценить возможные изменения в природных и антропогенных экосистемах;

определить пути минимизации негативного влияния на окружающую среду и биоту;

предложить альтернативы с различными экологическими последствиями;

предотвратить ухудшение среды обитания, реализуя возможные альтернативные решения и принимая меры по уменьшению негативного влияния;

оценить риски как вероятность проявления незапланированных последствий природообустройства в экстремальных условиях: в годы с водной обеспеченностью менее расчетной; при возможном изменении местного климата, базиса эрозии (подтопление водоприемников дренажных вод) и т. п.;

рассмотреть сценарии антропогенных катастроф или разрушений и способов ликвидации их последствий (поломки на насосных станциях, нарушение энергоснабжения, прорыв дамб, выход из строя очистных сооружений и др.);

ознакомить лиц, принимающих решения, с возможными последствиями осуществления намечаемого проекта, способствовать сотрудничеству между заинтересованными сторонами;

сообщить общественности об эффективности проекта и возможных экологических последствиях; стимулировать дальнейшее участие общественности в процессе принятия решений, связанных с реализацией проекта.

В проектах мелиорации, рекультивации земель, обустройства водных объектов, обводнения территорий и водоотведения, природоохранного обустройства надлежит:

оценить естественный и измененный радиационный и тепловой балансы обустраиваемых и окружающих их природных объектов,

например изменение альбедо, поглощенной радиации, затраты теплоты на испарение, изменение температурного режима почв и грунтов, в том числе под влиянием тепловых, водных мелиораций;

исследовать естественный водный режим и водный баланс природных объектов и их составляющих (поверхностных, почвенных, подземных вод), вертикальный и латеральный водообмен между сопряженными геосистемами, водосборами в совокупности сухих и влажных лет;

оценить количественно по результатам многолетних прогнозов все возможные изменения водного режима и баланса под действием инженерных систем природообустройства и мероприятий не только в средние, но и в экстремальные по влагообеспеченности годы (примеры такого анализа приведены в разд. 7.3.2.1), особое природоохранное значение имеют оценка вертикального водообмена, формирующего почвообразовательные процессы (промывной, испарительный), взаимодействие с подземными безнапорными и напорными водами, влияние на водный режим и баланс сопредельных территорий и водных объектов (влияние оросительных и осушительных мелиораций, противоэрозионных, агролесомелиоративных мероприятий на прилегающие земли и на речной сток); оценить влияние систем водоснабжения, обводнения и водоотведения на водный баланс рек и водоносных горизонтов; оценить водохозяйственные балансы при развитии регионов и способы ликвидации дефицита водных ресурсов;

исследовать количественно природные процессы геохимического круговорота веществ, особенно загрязняющих, засоляющих, природные и антропогенные источники загрязнения; выявить на основании долгосрочных прогнозов тенденции в природной структуре баланса веществ (см. разд. 3.6.1...3.6.4);

оценить эффективность приемов управления геохимическими потоками на длительную перспективу, выявить периоды релаксации и время наступления нового равновесного или квазистационарного состояния; оценить эффективность, экологическую допустимость, безопасность этих приемов, а также влияние этих приемов на прилегающие земли, водные объекты и их экосистемы, на качество поверхностных и подземных вод, флору и фауну, население;

обратить особое внимание на существующее состояние почвенного покрова, природные и антропогенные процессы деградации почв, снижение их плодородия, выполнение почвой стокообразующих и природоохранных функций;

выявить на основании долгосрочных прогнозов изменения в почвообразовательных процессах, составе и свойствах почв, балансе элементов питания, гумусе (см. разд. 3.7);

оценить изменения экологической инфраструктуры и биораз-

нообразия территорий, их экологической устойчивости, самоочищения, биопродуктивности (см. разд. 3.7);

оценить технологии рекультивации нарушенных земель с позиций их дальнейшего использования, технологии хранения отходов, очистки и утилизации сточных вод (см. разд. 12.3);

исследовать влияние природообустроительной деятельности на местный климат — оазисный эффект при орошении или осушении больших территорий, влияние крупных водохранилищ на температуру, влажность воздуха, ветровой режим прилегающих земель; загрязнение воздушной среды (пыльные бури, пожары на торфяниках и т. п.).

Оценивая влияние природообустройства на окружающую среду, надо помнить о существенной неоднородности природных объектов в пространстве, изменчивости свойств компонентов природы во времени, существенной вариации погодных условий, нелинейности природных процессов, делающих недостоверной экстраполяцию балансовых соотношений на длительные отрезки времени [см. результаты длительных прогнозов засоления и рассоления (см. рис. 3.3), накопления и сработки запасов гумуса (см. рис. 3.5)].

Методы ОВОС: обобщение опыта природообустройства (метод аналогии); матричный метод путем заполнения таблиц «виды воздействий — компоненты природы», «виды деятельности — изменения компонентов природы» и т. п.; сопряженный анализ карт состояния природных объектов до и после природообустройства; метод потоковых диаграмм и схем, например схемы водохозяйственных балансов до и после обустройства водных объектов; имитационное моделирование функционирования природных и измененных геосистем, успешность этого метода зависит от полноты списка моделируемых процессов, их внутренней взаимосвязи (см. принципы целостности и открытости), а также от глубины изучения природных процессов и наличия достоверной информации о свойствах природных тел; метод экспертной оценки, проявляющийся в заполнении матриц типа «воздействие — последствия», построении качественных шкал оценок воздействия.

ОВОС базируется на следующих принципах:

обязательность для определенных видов и объектов хозяйственной деятельности, среди которых, в частности, крупные плотины высотой 15 м и более, водохранилища с площадью поверхности 2 км² и более; магистральные каналы, гидромелиоративные системы; системы водоснабжения крупных городов; крупные заборы подземных вод; сооружения по очистке промышленных и коммунальных сточных вод с годовым стоком более 5 % объема стока бассейна реки; крупные животноводческие комплексы; объекты хозяйственной или иной деятельности, расположенные на особоохраняемых территориях и эксплуатация которых не свя-

зана с режимом этих территорий; сплошнолесосечная заготовка древесины на лесосеках с площадью вырубki более 200 га или вырубka древесины на площади более 20 га при переводе лесных земель в нелесные в целях, не связанных с ведением лесного хозяйства и использованием лесным фондом, и др. Для видов хозяйственной деятельности, не вошедших в этот перечень (в том числе и для многих видов деятельности по природообустройству), обязательна разработка Заявления о воздействии на окружающую среду (ЗВОС);

превентивность — применение ОВОС в качестве инструмента формирования решений на самых ранних этапах проектирования;

вариантность — рассмотрение альтернативных проектных решений и предложение при необходимости новых вариантов;

комплексность — интеграция (рассмотрение во взаимосвязи) технологических, технических, социальных, природоохранных, экономических и других показателей проектных предложений;

гласность — доступность информации по проектным решениям для общественности на самой ранней стадии рассмотрения проекта;

ответственность заказчика (инициатора) деятельности за последствия реализации проектных решений.

Порядок проведения ОВОС. Перед началом проектирования и проведения ОВОС заказчик подготавливает Уведомление о намерениях, которое содержит информацию о намерениях заказчика по намечаемой деятельности. Его представляют в государственные органы власти и управления (по уровням компетенции) с целью получения согласия на дальнейшую подготовку и рассмотрение предложений по развитию намечаемой деятельности на возможных площадках ее осуществления. Согласие не означает закрепление за данным заказчиком возможных площадок или землеотводов. Всю документацию по ОВОС подготавливает заказчик намечаемой деятельности через разработчика или специалистов по проведению ОВОС.

Общий порядок проведения ОВОС включает следующие этапы:

разработку Проекта Заявления о воздействии на окружающую среду (ЗВОС); представление Проекта в государственные органы власти, управления и контроля;

разработку заданий на проектирование, изыскания и исследования в соответствии с требованиями, выдвинутыми по результатам рассмотрения Проекта ЗВОС в государственных органах власти, управления и контроля;

разработку ЗВОС на основе Проекта ЗВОС, по результатам изысканий и исследований;

организацию и проведение общественных слушаний ЗВОС;

доработку технико-экономического обоснования или проекта строительства хозяйственного объекта или комплекса;

принятие заказчиком решения о возможности и целесообразности реализации намечаемой деятельности на данном объекте, исходя из представленных и зафиксированных условий, из сформированного понимания экологических и связанных с ними последствий ее осуществления.

Разработка Проекта ЗВОС. Проект ЗВОС предназначается для заказчика проектной документации и для государственных органов власти, управления (в том числе в области регулирования природопользования) и контроля (в том числе органов экологического контроля). Отсюда определяются и цели его подготовки. Во-первых, это обоснование проектного замысла с рассмотрением реальных и разумных альтернатив намечаемой деятельности и возможных площадок для ее осуществления. Во-вторых, выбор принципиальных инженерных, технологических, архитектурно-планировочных и других проектных решений в рамках намечаемой деятельности. В третьих, получение условий на проектирование в органах власти, государственного управления и контроля.

Для каждого варианта собирают и анализируют имеющуюся информацию об основных особенностях окружающей среды в районах возможных площадок для осуществления намечаемой деятельности. На основании этого анализа обосновывают необходимость и целесообразность реализации проектного замысла, выявляя, анализируя и оценивая реальные и разумные альтернативы развития намечаемой деятельности. Далее выявляют принципиальные варианты проектных решений в соответствии с проектным замыслом. После этого определяют характеристики основных видов, источников и объектов воздействия по основным вариантам проектных решений в районах возможных площадок.

Характеристики основных видов воздействий могут быть получены на основании экспертных прогнозов и оценки изменений окружающей среды как результатов выявленных воздействий по основным вариантам проектных решений в районах возможных объектов.

На основании прогнозов могут быть предложены мероприятия для предотвращения или смягчения выявленных неблагоприятных воздействий по основным вариантам. Если данных не хватает, то могут быть сделаны дополнительные изыскания и исследования для проектирования в районах возможных площадок осуществления намечаемой деятельности.

В состав Проекта ЗВОС обычно входят следующие разделы.

1. Описание основных особенностей окружающей среды.
2. Анализ и оценка реальных и разумных альтернатив развития намечаемой деятельности в районах возможных площадок.

3. Описание возможных принципиальных вариантов проектных решений в соответствии с проектным замыслом.

4. Описание и характеристика основных источников, видов и объектов воздействия (если таковые имеются) по основным вариантам проектных решений.

5. Экспертные оценки и прогноз изменений окружающей среды как результатов выявленных воздействий по основным вариантам проектных решений.

6. Предложения по мероприятиям для предотвращения или смягчения выявленных возможных неблагоприятных воздействий по основным вариантам.

7. Программы изысканий и исследований для проектирования в районах возможных площадок осуществления намечаемой деятельности.

Большинство из этих разделов необходимы в проектах мелиорации земель или в проектах другой деятельности, связанной с природообустройством.

В первом разделе описывают те аспекты окружающей среды, которые потенциально могут быть вовлечены в процедуры ОВОС в качестве предмета анализа и оценки. Главное требование, предъявляемое к описанию основных особенностей окружающей среды, — полнота охвата всего комплекса факторов. При этом полнота сведений должна показать все недостатки имеющейся информации и указать области требуемых дальнейших специальных исследований и изысканий. В первую очередь здесь должны быть проанализированы существующие источники антропогенного воздействия, оказывающие значительное влияние на окружающую среду, состояние атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, недр, растительного и животного мира, визуального качества ландшафта, в том числе для визуальных доминант, состояние материальных и культурно-исторических памятников. Кроме того, нужно проанализировать социально-экономические аспекты территории: инфраструктуру, занятость населения и ее формы, связь, демографию, жилищный фонд и т. д.

Во втором разделе анализируют и оценивают реальные, разумные и возможные альтернативы развития намечаемой деятельности в районах возможных площадок. Здесь описывают цели, характер, средства, места и сроки реализации намечаемой деятельности. Альтернативы могут включать варианты территориального размещения намечаемой деятельности в районах возможных площадок (со сравнительной оценкой рассмотренных альтернатив), «нулевой» вариант (отказ от намечаемой деятельности при сохранении существующего использования возможных площадок).

В третьем разделе описывают принципиальные варианты проектных решений в соответствии с проектным замыслом, такие, как инженерные (пристроительные), технологические, архитектурно-планировочные, организационные и др.

В четвертом разделе описывают и характеризуют основные источники воздействия обращают внимание на элементы основных и вспомогательных технологий, использование которых является причиной изменений окружающей среды, на новые материальные объекты (здания, сооружения и т. д.), размещаемые в окружающей среде, предприятия и объекты, функционирование которых связано со строительством проектируемого объекта, на следы хозяйственной деятельности (отвалы, терриконы, хвостохранилища, накопители, свалки и т. д.), на удаление существующих материальных объектов.

Виды воздействия определяются привнесением в окружающую среду или изъятием из нее отдельных компонентов: например, привнес или отвод нехарактерных для этой территории больших количеств воды, нарушающих водный баланс территории, химических веществ, радиоактивных веществ и излучений, шума и вибраций, теплоты, электромагнитных излучений, визуальных доминант и т. д. При организации новой хозяйственной деятельности можно столкнуться с изъятием из окружающей среды земельных, водных ресурсов, ресурсов флоры и фауны, полезных ископаемых, агрокультурных ресурсов (плодородных земель, как вовлеченных в агропроизводство, так и резервных), местообитаний популяций ценных видов растительного и животного мира (мест воспроизводства, миграции и т. д.), культурных, исторических и природных памятников, визуальных доминант, определяющих характерный облик ландшафта, и т. д.

Воздействие определяют через следующие показатели:

характер (прямое, косвенное, кумулятивное, синергическое, в том числе с учетом возможности проявления через определенный промежуток времени);

интенсивность (воздействие на единицу времени);

уровень (воздействие на единицу площади или объема);

продолжительность;

временная динамика (непрерывное, периодическое, кратковременное, только при аварийных режимах и т. д.);

пространственный охват (площадь распространения);

степень опасности намечаемой деятельности (по действующему классификатору опасных производств и предприятий).

Основные объекты воздействия должны включать:

воздух, воду, почву, флору, фауну, местный климат, ландшафт, исторические памятники, другие материальные объекты или взаи-

мосвязь между этими компонентами (в том числе в пределах санитарно-защитной зоны предприятия);

население, попадающее в зону воздействия (помимо санитарно-защитной зоны предприятия), и персонал предприятия (включая рабочую и санитарно-защитную зоны);

социально-экономические условия жизнедеятельности населения, включая занятость, демографические сдвиги, социальную инфраструктуру, этнические особенности и т. д.

Пятый раздел посвящен экспертным оценкам и прогнозам изменений окружающей среды как результатов выявленных воздействий по основным вариантам проектных решений. В этом разделе могут быть приведены как краткие экспертные оценки, так и прогнозы по таким показателям, как качество воздуха, количество и качество поверхностных и подземных вод, изменение плодородия почв и направления почвообразовательного процесса, прогноз влияния на недра, прогноз состояния растительного и животного мира, изменение качества ландшафта, в том числе для визуальных доминант, материальных и культурно-исторических памятников.

В шестом разделе рассматривают предложения и мероприятия, направленные на предотвращение или смягчение выявленных возможных неблагоприятных воздействий по основным вариантам. Здесь могут быть такие подразделы: инженерные мероприятия (например, создание дренажа, предотвращающего подтопление от водохранилища), технологические мероприятия (например, агротехнические методы повышения плодородия мелиорируемых земель) и, наконец, архитектурно-планировочные мероприятия.

В том случае, если для прогнозов или принятия решений не хватает информации, разрабатывают седьмой раздел Проекта ЗВОС — программы дополнительных изысканий и исследований компонентов окружающей среды, существенно затрагиваемых в случае реализации намечаемой деятельности.

Представление и рассмотрение Проекта ЗВОС. Проект ЗВОС как целостный документ предварительной экологической оценки передают на рассмотрение в органы государственного контроля, государственного управления, в органы власти. В органах государственного контроля определяют полноту охвата проекта и проработанности вариантов развития намечаемой деятельности в районах возможных площадок и перечень условий по выполнению нормативных и других требований, соблюдение которых необходимо при дальнейшем проектировании намечаемой деятельности на возможных площадках. Кроме того, оценивают значимость предполагаемых воздействий намечаемой деятельности на окружающую среду.

В государственных органах территориального управления оп-

ределяют полноту охвата и проработанность вариантов развития намечаемой деятельности в районах возможных площадок. Здесь же принимают решение о принципиальной возможности и приемлемости предлагаемых вариантов развития намечаемой деятельности в зависимости от ранее принятых направлений или сложившихся тенденций использования территории в целом. Например, намечаемая деятельность противоречит долгосрочным планам развития региона. Кроме того, на этом уровне формулируют перечень условий территориального развития, выполнение которых необходимо при дальнейшем проектировании намечаемой деятельности в районах возможных площадок, и подготавливают проект решения государственного органа власти об условиях дальнейшего проектирования.

В органах власти (Правительство РФ, администрация области или района) принимают (утверждают) решения о перечне условий, выполнение которых как минимум необходимо при дальнейшем проектировании на возможных площадках. В перечень условий, выполнение которых необходимо при дальнейшем проектировании, могут быть включены: существующие ограничения, связанные с правовым статусом территории или с природной и техногенной обстановкой. Здесь же может быть принято решение о дополнении программ изысканий и исследований, в том числе по моделированию и прогнозированию процессов и обстановки для компонентов окружающей среды, существенно затрагиваемых в случае реализации намечаемой деятельности на возможных площадках. В случае наличия существенных разногласий между участвующими сторонами (заказчиком, государственными органами контроля и управления) оценивают и предлагают все заинтересованные стороны (заказчик, государственные органы контроля и управления) по поводу выдвинутых условий дальнейшего проектирования на возможных площадках. На этом уровне может быть принято решение о нецелесообразности продолжения проведения последующих процедур ОВОС в связи с выявленной незначительностью предполагаемых воздействий намечаемой деятельности на окружающую среду.

Разработка Заявления о воздействии на окружающую среду. В том случае, если Проект ЗВОС проходит все стадии согласования, переходят к разработке Заявления о воздействии на окружающую среду. Именно этот документ подготавливают в процессе проектирования, и он предназначен для более широкого круга пользователей, чем Проект ЗВОС, именно его выставляют на общественные слушания и передают на экологическую экспертизу. ЗВОС предназначен для заказчика намечаемой деятельности, государственных органов власти, управления и контроля, профессиональных сообществ, экологически ориентированной обще-

ственности и населения региона, в котором предполагается реализация намечаемой деятельности.

Основная цель разработки ЗВОС — создание «предмета обсуждения» для выявления и фиксации всех возможных экологических и других связанных с ними последствий реализации намечаемой деятельности, а также для выявления и последующего обсуждения всех реальных и разумных альтернатив проекту.

ЗВОС разрабатывают на основе Проекта ЗВОС по результатам выполненных изысканий (инженерно-геологических, гидрогеологических, почвенных, растительного и животного мира, социологических, историко-культурных и т. д.) и научных исследований. При этом обязательно учитывают условия на проектирование, выдвинутые при рассмотрении Проекта ЗВОС в государственных органах власти, управления и контроля.

ЗВОС в целом состоит из разделов, аналогичных Проекту ЗВОС, содержание которых обычно существенно расширено, дополнено и конкретизировано по результатам изысканий, исследований и выполнения условий на проектирование, выдвинутых при рассмотрении Проекта ЗВОС в государственных органах власти, управления и контроля.

При этом ЗВОС имеет следующие принципиальные отличия от Проекта ЗВОС. Во-первых, в ЗВОС не приводятся обоснование выбора территориального размещения намечаемой деятельности, так как это сделано на более раннем этапе. Во-вторых, анализируют возможные аварийные ситуации с позиций их предполагаемых экологических и связанных с ними последствий и меры по предотвращению, смягчению или ликвидации этих последствий, а также оценивают (предпочтительно расчетно) степень риска возникновения возможных аварийных ситуаций. В-третьих, приводят результаты прогнозирования и моделирования процессов и обстановки для существенно затрагиваемых компонентов и факторов окружающей среды (согласно перечню условий на проектирование).

В соответствии с процедурой ОВОС Заявление о воздействии на окружающую среду заказчик представляет для общественных слушаний.

Проведение общественных слушаний ОВОС (ЗВОС). Общественные слушания организуют и проводят в целях информирования заинтересованных сторон о намечаемой деятельности или разрабатываемом проекте. В связи с этим выявляют все заинтересованные стороны (общественные экологически значимые позиции). Происходит организация обмена информацией. Этот обмен может продолжаться на дальнейших стадиях подготовки и реализации проектных замыслов. При этом выявляют и фиксируют все возможные неблагоприятные экологические и связанные с ними

последствия. В процессе общественных слушаний происходит поиск взаимоприемлемых решений (для всех общественных позиций) в вопросах предотвращения или уменьшения отрицательных экологических и связанных с ними последствий реализации намечаемой деятельности.

На основе общественных слушаний корректируют проектные решения по осуществлению намечаемой деятельности.

Публичные слушания и обсуждения организуют преимущественно в районе осуществления намечаемой деятельности (в случаях ненаселенности выбранной территории — в любом доступном месте по согласованию со всеми заинтересованными сторонами).

Для достижения поставленных целей можно применять следующие способы работы с общественностью: публикация проектных предложений в средствах массовой информации (газеты, радио, телевидение), распространение информационных листов и бюллетеней, опросы общественного мнения, публичные слушания, официальные встречи представителей заказчика и разработчика ОВОС с общественностью (народными депутатами, представителями комитетов самоуправления и т. д.), неформальные встречи с небольшими группами местных жителей, семинары, совещательные комитеты, оперативные группы и т. д.

Все эти методы законодательно рекомендованы. Вообще широкая гласность хозяйственной деятельности создает не только большую стабильность в обществе, но и укрепляет отрасль. Это особенно важно для природообустройства, так как недостаточная гласность в прошлом некоторых водохозяйственных и мелиоративных проектов привела к отрицательному отношению общественности к ним.

Общественные слушания включают следующие этапы: уведомление о слушаниях; представление и обсуждение ОВОС на публичных слушаниях; формирование Листа замечаний; приостановка общественных слушаний.

Если заказчик видит, что замечания существенны, то он может приостановить слушания с целью внесения изменений и дополнений в проектные предложения. Изменения проводят либо по результатам обсуждений и анализа Листа замечаний или в результате проведения дополнительных исследований и изысканий. При этом заказчик должен искать взаимоприемлемые решения по предотвращению или уменьшению отрицательных экологических и связанных с ними последствий. После доработки проектных материалов, включая меры и мероприятия по компенсации ущерба от неустраиваемых последствий, слушания возобновляют для выявления других ранее непредвиденных последствий. Общественные слушания могут быть вновь приостановлены до внесения необходимых изменений в проектные решения.

В результате обсуждения ОВОС (ЗВОС) и доработки проектных материалов заказчик и все заинтересованные стороны формируют для себя понимание возможности и целесообразности реализации намечаемой деятельности на данной площадке, исходя из экологических и связанных с ними последствий ее осуществления, на представленных и зафиксированных условиях.

Оформление результатов проведения ОВОС. Основные выводы по возможности осуществления намечаемой деятельности с учетом выявленных экологических, экономических и социальных последствий излагают в специальном разделе пояснительной записки к ТЭО или проекту строительства объекта в виде Заявления об экологических последствиях (ЗЭП), которое содержит список разработчиков ОВОС и основные результаты исследований, выполненных на всех этапах проведения ОВОС, выводы, сделанные на основе научных исследований, изысканий и общественных слушаний ЗВОС. Кроме того, в Заявлении должны быть прописаны экологические последствия воздействий на окружающую среду и экосистемы, здоровье населения и условия его жизнедеятельности, не снятые проектными решениями. Здесь же указывают обязательства заказчика по реализации мер и мероприятий, изложенных в проектной документации в соответствии с требованиями экологической безопасности и гарантирующих выполнение этих обязательств на весь период «жизненного цикла» предприятия.

Все материалы ОВОС оформляют в самостоятельном разделе ТЭО или проекта, который содержит: Проект ЗВОС; результаты его рассмотрения в государственных органах власти, управления и контроля; программы изысканий и научных исследований, подготовленные на основании перечня условий для проектирования и сформированные по результатам рассмотрения Проекта ЗВОС; Заявление о воздействии на окружающую среду; описание этапов общественных слушаний; характеристику мер и мероприятий, предусмотренных в ТЭО, по предотвращению возможных отрицательных экологических и связанных с ними последствий реализации намечаемой деятельности на данной площадке; описание мер по организации мониторинга проекта строительства будущего объекта, включая участие общественности. Оформленные таким образом материалы представляют на экспертизу.

6.5. ЭКСПЕРТИЗА ПРОЕКТОВ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Экспертиза означает исследование и разрешение при помощи сведущих людей (экспертов) какого-либо вопроса, требующего специальных знаний. Необходимость экспертизы возникает либо при неочевидности ошибок, либо в случае недоверия обще-

ства к результатам какой-то деятельности, например при рассмотрении проекта сооружения или устройства, которые еще не построены, и неясно, как поведут себя они при эксплуатации. Недоверие может возникнуть в следующих случаях: проектируют устройство или систему большой сложности, ненадлежащее функционирование которой сопряжено с большими рисками и ущербами; возникли сомнения в компетентности проектировщиков или сомнения в честности людей, «проталкивающих» тот или иной проект. При подготовке собственных проектов на собственные деньги экспертизу проводят не всегда. Нужна ли была экспертиза при строительстве храма Василия Блаженного или при возведении монастырских стен? Несмотря на то что и тогда ошибки возникали, доброе имя проектировщика-строителя было лучшей гарантией высокого качества и надежности работы сооружения.

Вместе с тем большие сооружения или проекты при удовлетворении собственных запросов их создателей могут затронуть интересы других сторон, поэтому при планировании какой-либо деятельности нужно думать не только о себе, но и о «ближнем». В большинстве случаев учет интересов других бывает экономически невыгоден инициатору деятельности. Здесь на первое место выступает нравственная сторона.

Для специалиста по природообустройству необходимо знать основные положения и правила проведения экспертизы, с одной стороны, чтобы предугадать возможные вопросы экспертов и при проектировании устранить основание для таких вопросов, а с другой — подготовить себя к возможному участию в экспертизе в качестве эксперта.

Виды экспертизы. Экспертизу проводят органы государственной власти, ведомства, органы местного самоуправления, общественность.

Экспертизе в первую очередь подвергают нормативно-правовые документы, т. е. проводят их *юридическую (правовую) экспертизу*. Предпроектные и проектные документы подлежат *технической и экономической экспертизам*, иногда их объединяют в *технико-экономическую экспертизу*.

Техническая экспертиза в существующих нормативных правовых документах прописана явно недостаточно: например, проекты мелиорации, комплексного использования водных ресурсов, градостроительства подлежат государственной технической экспертизе, но порядок ее проведения не оговорен.

Во многих случаях необходима экспертная оценка воздействия проекта на окружающую среду, которую реализуют в *экологической экспертизе*, т. е. в установлении соответствия намечаемой хозяйственной и иной деятельности экологическим требованиям и

определении допустимости реализации объекта экологической экспертизы в целях предупреждения возможных неблагоприятных воздействий этой деятельности на окружающую природную среду и связанных с ними социальных, экономических и иных последствий реализации объекта экологической экспертизы.

Несмотря на важность экологической экспертизы, она не должна заменять техническую и экономическую экспертизы. Строго говоря, экологическая экспертиза пока не в состоянии точно (количественно) оценить возможные потери от того или иного вида хозяйственной деятельности, но она по крайней мере способна предупредить о возможных экологических неприятностях в рамках существующих нормативов. К сожалению, применение существующих нормативов не гарантирует сохранения не только здоровья экосистемы, но и здоровья человека.

Законодательством предопределена государственная и общественная экологическая экспертиза. Ее проводят на всех этапах деятельности: при разработке нормативно-правовой базы; при составлении прогнозов развития народного хозяйства страны в целом или ее регионов, развития отдельных отраслей, национальных или региональных программ; при технико-экономическом обосновании проектов (ТЭО); разработке технических проектов, регламентов функционирования предприятий при их ликвидации.

Законодательная, нормативно-методическая и организационно-распорядительная документальная база экологической экспертизы. Основной законодательный документ, который инициирует проведение экологической экспертизы, — Конституция Российской Федерации, принятая в 1993 г. В ст. 42 сказано, что каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением. Здесь заложено не только право знать о намечаемой хозяйственной деятельности, способной ухудшить состояние окружающей среды, но и требовать возмещения за ущерб. В развитие этой статьи в 1995 г. был принят Федеральный закон «Об экологической экспертизе», в котором записано, что он направлен на реализацию конституционного права граждан Российской Федерации на благоприятную окружающую среду посредством предупреждения негативных воздействий хозяйственной и иной деятельности. Этот закон регулирует отношения в области экологической экспертизы и предусматривает в этой части реализацию конституционного права субъектов Российской Федерации на совместную с Российской Федерацией охрану окружающей среды и обеспечение экологической безопасности. Получило законодательную основу участие общества в принятии решений, связанных с проведением эколо-

гической политики. Экологическая экспертиза зафиксирована в ряде кодексов и законов, регламентирующих отдельные виды деятельности: в сельском хозяйстве, при землепользовании, в водном хозяйстве, при недропользовании и др.

В качестве нормативно-методического документа Правительством РФ от 11 июня 1996 г. № 698 принято Положение о порядке проведения государственной экологической экспертизы.

Объекты государственной экологической экспертизы аналогичны объектам ОВОС: экспертиза стратегии политики; схем развития и технико-экономических обоснований; проектов предприятий или размещения оборудования и инфраструктуры; технологий и оборудования; безопасности готовых продуктов и отходов производства. Объектами экспертизы также являются нормативы, стандарты, технические условия, методики расчетов и другие нормативные материалы.

Принципы экспертизы:

презумпция потенциальной экологической опасности любой намечаемой хозяйственной и иной деятельности, экологическую безопасность проекта должны доказывать проектировщики или инициаторы хозяйственной деятельности;

обязательность проведения государственной экологической экспертизы до принятия решений о реализации объекта экологической экспертизы не осуществляют и не финансируют;

комплексность оценки воздействия на окружающую природную среду хозяйственной и иной деятельности и его последствий — при экспертизе должны быть проанализированы все аспекты влияния антропогенной деятельности (экологические, экономические, социальные, политические, нравственные);

обязательность учета требований экологической безопасности для человека и биоты как в настоящее время, так и в будущем;

достоверность и полнота информации, представляемой на экологическую экспертизу, эксперты в праве потребовать дополнительную информацию или вернуть проект на доработку;

независимость экспертов при осуществлении ими своих полномочий в области экологической экспертизы;

научная обоснованность, объективность и законность заключений экологической экспертизы должна основываться на фундаментальных знаниях современной науки; представлять собой научно-исследовательский процесс и проводиться на современном научно-техническом уровне с использованием новейших форм и методов научных исследований квалифицированными учеными-экспертами; результатом экспертизы должны быть не только констатация допущенных нарушений и оценка их последствий, но и разработка рекомендаций органам или лицам, принимающим решения, а также прогнозы их реализации в действующих объек-

тах; в ней должны соблюдаться положения законодательства в области охраны окружающей среды и природопользования;

гласность, участие общественных организаций (объединений), учет общественного мнения, процесс экспертизы должны быть максимально демократичными;

ответственность участников экологической экспертизы и заинтересованных лиц за организацию, проведение, качество экологической экспертизы; лица, участвующие в экспертизе, отвечают за ее качество (справедливость) не только перед своей совестью, но и перед законом; заключение экспертизы должно быть объективным, непредвзятым и беспристрастным.

Некоторые принципы экологической экспертизы отвечают принципам природообустройства. Так, если выдержан принцип целостности, т. е. в проекте природообустройства будет рассмотрено влияние на все компоненты природы, то выполнится и принцип комплексности. Принципы предсказуемости и интеграции знаний отвечают принципу научной обоснованности экспертизы. Следовательно, если проект природообустройства выполнен в соответствии с основополагающими принципами, то вероятность его успешного прохождения в экспертизе увеличивается.

Порядок и процедура проведения экологической экспертизы регламентируется постановлением Правительства РФ. На экспертизу в специальный уполномоченный орган (например, Росприроднадзор) представляют конкретные объекты (документацию и материалы). Обязательное условие принятия материалов — оценка воздействия на окружающую среду. После этого образуется экспертная комиссия, состоящая как из штатных сотрудников органов экспертизы, так и из внештатных экспертов. Проведение экспертизы оплачивает заказчик. В состав экспертной комиссии входят руководитель (обычно крупный ученый или известный специалист), ответственный секретарь (обычно сотрудник Госэкспертизы) и члены комиссии (авторитетные специалисты в той или иной области знаний). Продолжительность проведения экспертизы ограничена обычно одним—четырьмя месяцами.

Функции организации, проводящей экспертизу: регистрация экспертизы; решение вопросов, связанных с финансированием экспертизы; получение необходимых документов; подбор руководителя и формирование экспертной комиссии; взаимодействие с общественными организациями и гражданами; создание условий для работы экспертной комиссии.

Работу экспертной комиссии начинают со знакомства членов комиссии с документацией, представленной на экспертизу, и обсуждения ее на заседаниях комиссии. На заседания можно приглашать представителей заказчика, государственных структур, эк-

спертов, не входящих в состав комиссии. Важно обеспечить реальную возможность присутствия на заседаниях комиссии представителей местных общественных организаций и населения. В случае необходимости можно запросить у заказчика дополнительную информацию.

Далее начинают основную процедуру экспертизы — определение полноты и правильности материалов проекта по оценке воздействий на окружающую среду. Каждый эксперт высказывает свое мнение по порученному вопросу в соответствии с заданием — «частное заключение эксперта», которое потом обсуждается на заседаниях комиссии, и на основе частных заключений делают сводное заключение. При обсуждении мнения экспертов могут разделиться. В этом случае эксперт имеет право сформулировать особое мнение, которое прилагают к общему заключению.

Одна из важных задач руководителя экспертизы — организация взаимодействия между экспертами. Качество экспертизы зависит от того, как будет вырабатываться общее мнение членов комиссии, особенно при оценке сложных многоплановых проектов.

Экспертом государственной экологической экспертизы может быть специалист, обладающий научными и (или) практическими познаниями по рассматриваемому вопросу (по соответствующим направлениям науки, техники, технологии). Не может быть экспертом представитель заказчика или разработчика, гражданин, состоящий в трудовых или иных договорных отношениях с указанным заказчиком или с разработчиком, а также представитель юридического лица, состоящего с указанным заказчиком или с разработчиком объекта государственной экологической экспертизы в таких договорных отношениях.

Эксперт имеет право: заявлять о необходимости представления заказчиком дополнительных материалов для всесторонней и объективной оценки объектов государственной экологической экспертизы; формулировать особое мнение по объекту государственной экологической экспертизы, которое прилагают к заключению государственной экологической экспертизы.

Эксперт обязан: осуществлять всесторонний, полный, объективный и комплексный анализ представляемых материалов с учетом передовых достижений отечественной и зарубежной науки и техники, определять их соответствие нормативным правовым актам Российской Федерации, нормативно-техническим документам и предоставлять заключение по таким материалам; соблюдать требования законодательства Российской Федерации и субъектов Российской Федерации об экологической экспертизе; соблюдать установленные специально уполномоченным государственным органом в области экологической экспертизы порядок и сроки проведения государственной экологической экспертизы; обеспе-

чивать объективность и обоснованность выводов своего заключения по объекту экологической экспертизы; участвовать в подготовке материалов, обосновывающих учет заключения общественной экологической экспертизы, а также поступивших от органов местного самоуправления, общественных организаций (объединений) и граждан аргументированных предложений по экологическим аспектам намечаемой хозяйственной и иной деятельности; обеспечивать сохранность материалов и конфиденциальность сведений, представленных на государственную экологическую экспертизу.

Заключение экспертной комиссии должно содержать обоснованные выводы о допустимости воздействия намечаемой деятельности на окружающую природную среду, на основании чего принимают решение о возможности реализации объекта. В целях обеспечения единых требований к оформлению результатов экспертизы разработана форма заключения, которую утверждает специально уполномоченный орган в области экологической экспертизы.

Положительное заключение государственной экологической экспертизы — одно из обязательных условий возможности финансирования и реализации объекта экспертизы. Оно имеет юридическую силу лишь в течение срока, определенного при утверждении заключения. Положительное заключение теряет юридическую силу в случае изменения проектной документации, изменения условий природопользования, реализации объекта с отступлениями от документации.

Основным правовым последствием отрицательного заключения государственной экологической экспертизы является запрет реализации объекта намечаемой деятельности. В случае отрицательного заключения заказчик вправе представить материалы на повторную экспертизу при условии их переработки с учетом замечаний. Заключение государственной экологической экспертизы может быть оспорено в судебном порядке.

Участие в государственной экологической экспертизе граждан и общественных организаций. Экологическая экспертиза во многом была ответом государства на беспокойность граждан экологической обстановкой. Законом также предусмотрено, что граждане и общественные организации имеют право принимать участие в экспертизе на всех стадиях ее проведения. Участие граждан необходимо потому, что в законодательстве нельзя рассмотреть все возможные проявления отрицательного влияния на окружающую среду.

В соответствии с существующим законом граждане и общественные организации имеют право: выдвигать предложения о проведении общественной экологической экспертизы хозяйствен-

ной и иной деятельности, реализация которой затрагивает экологические интересы населения, проживающего на данной территории; направлять в письменной форме специально уполномоченным государственным органам в области экологической экспертизы аргументированные предложения по экологическим аспектам намечаемой хозяйственной и иной деятельности; получать от специально уполномоченных государственных органов, организующих проведение экологической экспертизы конкретных объектов, информацию о результатах ее проведения; могут настаивать на учете общественного мнения в заключениях государственной экологической экспертизы и при принятии решения о реализации объекта.

Общественную экологическую экспертизу организуют и проводят по инициативе граждан и общественных организаций (объединений). Она может быть проведена и по инициативе органов местного самоуправления общественными организациями (объединениями), основное направление деятельности которых в соответствии с их уставами — охрана окружающей природной среды, в том числе организация и проведение экологической экспертизы. Эти организации должны быть зарегистрированы в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

В принципе общественная экологическая экспертиза во многом, по крайней мере по своей направленности, совпадает с государственной экологической экспертизой, и поэтому ее можно проводить в отношении всех объектов, за исключением объектов, сведения о которых составляют государственную, коммерческую и (или) иную охраняемую законом тайну.

Одна из целей общественной экологической экспертизы — обратить внимание государства на проблемы, не решаемые в современном нормативно-правовом поле, т. е. поставить проблему. Ее можно проводить до проведения государственной экологической экспертизы или одновременно с ней, а также независимо от проведения государственной экологической экспертизы тех же объектов.

Общественные организации имеют право: получать от заказчика документацию, подлежащую экологической экспертизе, в объеме, установленном в Федеральном законе; знакомиться с нормативно-технической документацией; устанавливающей требования к проведению государственной экологической экспертизы; участвовать в качестве наблюдателей через своих представителей в заседаниях экспертных комиссий государственной экологической экспертизы и участвовать в проводимом ими обсуждении заключений общественной экологической экспертизы. Эксперты, привлекаемые для проведения общественной экологической экспер-

тизы, должны отвечать тем же требованиям, что и эксперты государственной экспертизы.

Заключение общественной экспертизы приобретает юридическую силу в случае его утверждения в специально уполномоченных государственных органах в области экологической экспертизы. Оно может публиковаться в средствах массовой информации или передаваться органам местного самоуправления, органам государственной экологической экспертизы, заказчикам документации, инвестору.

Недостатки экологической экспертизы как инструмента экологической политики. Возможности экологической экспертизы как инструмента влияния на принятие экологически значимых решений ограничены. Экспертизу проводят, когда проект полностью готов и практически все решения уже приняты заказчиком (проектировщиком). В этом случае принципиально изменить решение достаточно сложно, так как деньги на проект потрачены (а это около 10 % стоимости объекта) и признать проектировщику свои ошибки бывает очень сложно, хотя экспертиза может стать причиной остановки «катастрофического проекта». Так, например, было при экспертизе проекта скоростной железной дороги Москва — Санкт-Петербург.

В случае, если проект отправлен на доработку, т. е. в него должны быть внесены изменения и он должен быть повторно представлен на экспертизу, шансов на коренные изменения также немного. Причина все та же — для серьезных изменений нужны новые данные, новые решения, за которые нужно платить проектировщикам. На это денег обычно не находят, поэтому доработка проекта касается только несущественных аспектов, которые не меняют сути проекта.

Существенное влияние на изменение направленности проекта, выбор лучших альтернатив можно осуществить при проведении ОВОС на первых стадиях проектирования, когда можно более детально рассмотреть альтернативные варианты, т. е. ОВОС является значительным инструментом проведения экологической политики.

6.6. МОНИТОРИНГ ПТК ПРИРОДОБУСТРОЙСТВА

В соответствии с принципом адекватности воздействий природообустройство должно базироваться на мониторинге его объектов. Мониторинг — система повторных наблюдений за компонентами природы в пространстве и времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленными программами. Цель мониторинга — обеспечение экологически безопасного и рацио-

нального использования природных объектов и ресурсов, своевременного оповещения населения о состоянии окружающей среды и создания информационной базы для оценки, прогнозов и управления природно-техническими комплексами. Мониторинг от других наблюдений отличает: комплексность (полнота); непрерывность; единство цели и задачи исследований; системность; достоверность; одновременность; оперативность (своевременность); информативность.

Мониторинг организуют как комплекс информационно-измерительных систем наблюдений на глобальном, национальном, региональном и локальном уровнях.

Глобальный мониторинг — это наблюдения за компонентами глобальной геосистемы, представленной планетой Земля. Основная задача этого мониторинга — общепланетарный межгосударственный контроль за изменениями атмосферы, Мирового океана, состоянием лесных и почвенных ресурсов.

Национальный мониторинг — это единая государственная система, объединяющая системы мониторинга отдельных природных сред, природных и техноприродных объектов. Национальный мониторинг в России формируется при участии федеральных и региональных органов государственной власти.

Региональный мониторинг — это система наблюдений за изменением природной среды в пределах ландшафта, ландшафтного района и области. Региональный мониторинг отслеживает последствия природопользования и техногенного загрязнения на больших территориях, он является подсистемой национального мониторинга и осуществляет комплексный контроль, оценку и прогноз состояния всех компонентов геосистемы на основе обработки информации локальных мониторингов.

Локальный мониторинг организуют для оценки и прогноза экологического состояния компонентов ландшафта, земель, территорий, включая населенные пункты, получения оперативной информации по отдельным природным и техноприродным объектам и разработки способов оздоровления окружающей среды в зоне проводимых наблюдений.

Специальный мониторинг создают на природно-техногенных комплексах для получения информации о состоянии природного и техногенного блоков. Например, на инженерно-экологических системах его создают для контроля над локализованными источниками загрязнения и управления потоками вещества при очистке загрязненных компонентов природы.

Необходимые сведения для различных уровней мониторинга получают с помощью дистанционного зондирования (съемки с космических аппаратов, самолетов, зондов и других средств), наземных наблюдений (съемки, исследования, изыскания, об-

следования, режимные наблюдения), базовых (фондовых) данных.

Мониторинг земель — составная часть мониторинга геосистемы: атмосферы, литосферы, гидросферы, биосферы. Объектом мониторинга являются все земли России независимо от форм собственности, современного состояния, от цели и характера использования земель.

Мониторинг земель состоит из подсистем, которые ведут по видам земель: мониторинг земель сельскохозяйственного назначения, мониторинг земель поселений и т. д. Мониторинг земель предполагает изучение эволюционных (естественно-исторических), циклических (суточных, сезонных, годовых и других характерных периодов), антропогенных процессов; процессов, связанных с чрезвычайными ситуациями (авариями, катастрофами, стихийными и экологическими бедствиями).

Наблюдают за состоянием почв в рамках почвенного мониторинга, который может быть подсистемой мониторинга земель или системой наблюдения за экологическим состоянием почвы как компонента природной среды. Задачи почвенного мониторинга — оценка изменения плодородия почв, потери массы почвы вследствие эрозии, контроль химических свойств, контроль водного режима и динамики загрязняющих веществ, исследование микробиологических процессов и адекватной реакции растительного покрова на конкретные почвенные условия.

Информационная база мониторинга земель служит для организации и ведения *земельного кадастра*, который содержит систему необходимых сведений и документов о правовом режиме земель, их распределении по собственникам земли, землевладельцам, землепользователям и арендаторам, а также сведения о категории земель, данные об их качественных характеристиках и коммерческой ценности.

6.7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ И КОНТРОЛЬ

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 14050—99 экологический аудит — процесс проверки данных о воздействии на окружающую природную среду для определения соответствия выбранным требованиям (по законодательству и стандартам), а также информирование клиента о результатах. Экологический аудит возник по аналогии с традиционным аудитом как процедурой независимой вневедомственной проверки бухгалтерской отчетности, платежно-расчетной документации, налоговых деклараций и других финансовых обязательств предприятия.

Предприятия обязаны не только не допускать негативного вли-

яния на окружающую среду, но и защищать себя от негативного воздействия загрязненных природных объектов. Так, инженерные системы природообустройства в процессе своего функционирования, выполняя свои задачи по преобразованию природы в интересах конкретных природопользователей, не должны наносить вред окружающей среде, другим природопользователям. Вместе с тем необходимо защищать обустраиваемые территории от постороннего негативного воздействия, например: надо обращать внимание на качество поливной воды; состав минеральных удобрений, часто содержащих тяжелые металлы; химических мелиорантов и сорбентов; качество грунтов, используемых при рекультивации земель; качество воды для водоснабжения. Правильно, с соблюдением всех норм запроектированные и построенные системы природообустройства не гарантируют в полной мере требуемой эффективности без постоянного контроля их работы.

Наряду с обязательным есть и добровольный аудит, который нужен предприятию для независимой оценки своей деятельности или демонстрации своих успехов. Опыт показывает, что очень эффективными могут быть независимые постоянно действующие аудиторские агентства, осуществляющие свою деятельность по лицензии.

Экологический аудит имеет ряд достоинств. Во-первых, это превентивное предупреждение штрафов и наказаний. Во-вторых, улучшение репутации в глазах общества, повышение ответственности и осведомленности персонала в вопросах экологической политики. В третьих, это снижение затрат (например, в сфере энерго- и водопотребления) и уменьшение количества отходов, улучшение качества в целом. Экологический аудит представляет собой упреждающий метод, применение которого дает возможность организациям не только соблюдать законодательство, но также определить проблемы, принять меры, оценить, насколько соблюдаются экологические обязательства, стать более квалифицированным в вопросах экологии, создать базу данных для будущих (корректирующих) действий и повысить конкурентоспособность.

Еще один инструмент экологической политики — экологический консалтинг — деятельность по консультированию тех предприятий, которые хотят исправить недостатки, обнаруженные экологическим аудитом. Это достаточно дорогие услуги, оказываемые на договорной основе специальными фирмами, специализирующимися на решении подобных проблем.

Экологический контроль — обеспечение соблюдения экологического законодательства, его норм (нормативов) и правил, а также выполнения планов и мероприятий по охране окружающей среды всеми организациями — предприятиями, учреждениями,

государственными органами, должностными лицами и гражданами, независимо от правового статуса, форм собственности и подчиненности.

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» устанавливает государственный, ведомственный, производственный и общественный экологический контроль. Он может быть информационным, предупредительным и карательным. Закон определил обязанности и права контролирующих органов.

На предприятиях и в организациях природообустройства: управлениях мелиоративными, инженерно-экологическими системами, системами водоснабжения и водоотведения, гидроузлами, осуществляющими природоохранную деятельность (противоэрозийную, противооползневую, противоселевую и т. п.), в зависимости от масштаба их деятельности создаются природоохранные структурные подразделения (отделы, службы, лаборатории, инспекции).

Общественный экологический контроль осуществляют профсоюзные организации, общественные экологические объединения, движения, партии, трудовые коллективы и граждане в рамках своих законных прав.

6.8. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТОВ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Эколого-экономическое обоснование — непременный элемент оценки, сравнения, экспертизы проектов природообустройства. При эколого-экономическом обосновании появляется возможность с помощью нескольких интегральных показателей охарактеризовать совершенство примененных при проектировании технологий, социальную значимость, финансовую реализуемость проекта, параллельно учтя налоговую политику государства и конкретного региона, экономическую ситуацию в стране и прогноз ее развития.

Современное эколого-экономическое обоснование представляет собой оценку инвестиционного проекта на протяжении его времени жизни с обязательным учетом внешних (экологических и социальных) эффектов. Российская методика оценки инвестиционных проектов природообустройства в целом соответствует типовой для любых проектов и опирается на международные стандарты. Стоит отметить, что инвестиционные проекты природообустройства имеют свою специфику, неучет которой приводит к некорректным результатам.

Некоторые общие принципы оценки инвестиционных проектов природообустройства:

оценка реализуемости инвестиционного проекта. Проект должен быть реализуемым с технической, технологической, экологической и других точек зрения, оценке же подвергают финансовую реализуемость проекта;

определение эффекта путем сопоставления предстоящих интегральных результатов и затрат на основе моделирования денежных потоков в течение расчетного периода, соответствующего времени жизни проекта (от обоснования до завершения проекта). Так, для мелиоративных систем рекомендуется принимать расчетный период не менее 20 лет, оптимально — около 25 лет. Отметим, что нерационально принимать большее время жизни проекта, поскольку период смены технологий — 25...30 лет, по прошествии такого срока стоит провести реконструкцию системы, сменив технологию и начав новый инвестиционный проект;

учет фактора времени путем приведения предстоящих разновременных затрат и результатов к их ценности на момент начала осуществления проекта. Это делается для того, чтобы учесть выплаты процентов по кредиту и инфляцию. Для проектов природообустройства особенно важен учет не средних за расчетный период притоков и оттоков средств, а реальных для каждого года. Объясняется это тем, что ПТК природообустройства работают в условиях сильной изменчивости погодных, гидрологических и иных условий, поэтому и ежегодные доходы и затраты (которые, например, для мелиоративной системы зависят от прироста урожая сельскохозяйственных культур, потребления воды, вымыва гумуса, засоления почвы) сильно варьируются. Срок окупаемости становится стохастической величиной, и надо говорить о риске при его оценке. Оценочные расчеты показывают, что суммарная эффективность мелиоративной системы при хорошем и плохом сочетании лет по влагообеспеченности может отличаться на 10...15 %, что весьма существенно;

оценка эффективности инвестиционного проекта сопоставлением ситуаций «без проекта» и «с проектом». Природообустройство иногда приводит к коренным изменениям целых регионов, поэтому необходимо четко разделять, какие полезности создал непосредственно проект, а какие лишь сопутствуют ему во времени/пространстве. Нельзя сравнивать ситуации «до проекта» и «после проекта», поскольку в этом случае допускается методическая ошибка: возможно приписывание проекту положительных эффектов, вызванных другими причинами;

принцип положительности и максимума эффекта. Для того чтобы инвестиционный проект, с точки зрения инвестора, был признан эффективным, необходимо, чтобы эффект от его реализации был положительным. Из двух альтернативных проектов предпочтение отдают проекту с большим значением эффекта. Эф-

фekt удобно выражать интегральным показателем — чистым дисконтированным доходом. Чистый дисконтированный доход — накопленное сальдо потока реальных денег. Это означает, что разность притоков и оттоков в каждом расчетном году складывается с учетом коэффициента дисконтирования, зависящего от процентной ставки банковского кредита. Это позволяет использовать оценку инвестиционных проектов как удобный инструмент для выбора вариантов технических решений ПТК природообустройства, схем финансирования и решения других подобных задач;

проект оценивают на всех стадиях создания, с учетом всех существенных последствий проекта, в том числе и негативных воздействий на прилегающие территории.

Эффективное использование инструментов экологической политики должно привести к запуску экономического механизма рационального природопользования. Этому должны способствовать:

налог за загрязнение окружающей среды, выплачиваемый предприятием-загрязнителем и равный предельным внешним издержкам, которые несут те, кто подвергается последствиям загрязнений от данного предприятия; тем самым предприятие-загрязнитель оказывается информированным о полных общественных (региональных или глобальных) издержках его функционирования, а жертва загрязнения получает справедливое возмещение за нанесенный ущерб;

платежи за загрязнение окружающей природной среды для обеспечения финансовых поступлений в бюджет. Цель этих платежей — изъять от предприятия-загрязнителя стоимость экологического ущерба, нанесенного им обществу в результате загрязнения окружающей среды. Обычно такие платежи превышают расходы на удовлетворение законодательных нормативов загрязнения. Здесь под загрязнением следует понимать любое негативное воздействие на окружающую среду: подтопление, излишнее осушение, засоление и другие негативные последствия природообустройства и природопользования.

Эффективность таких платежей в следующем: индивидуальные интересы определяют поведение человека, в том числе и его техническую политику, цены действуют в качестве сигналов, управляющих поведением человека, и компромиссы между поведением и ценами — или решения на основе анализа издержек и выгод — могут быть достигнуты путем должного управления ценами.

Исходя из этих допущений, можно в принципе реализовать оптимальное распределение (закрепление) ресурсов в рамках так называемого, но никогда не наблюдаемого в действительности «свободного» рынка. Для этого нужно выполнить три условия, связанные с окружающей средой. Первое — бывшие до сих пор бесплатными блага («товары»), такие, как атмосферный воздух,

вода и частично земли, становятся дефицитными. Второе — рынок не может определить для них цену, так как они в значительной степени являются «товарами» с общественной собственностью, т. е. издержки поддержания качества окружающей среды очень трудно поделить среди затрагиваемых загрязнением участников, хотя выгоды от улучшения окружающей среды вполне хорошо распределяются между ними. Третье — для определения экологических издержек требуется вмешательство государства.

Конечная цель введения налогов за загрязнение в экономическом плане — скорректировать неэффективность рынка в том, что касается окружающей среды — этого общественного «товара», ценность (стоимость) которого не отражена в покупательной цене загрязняющего «товара» или процесса. Поэтому источник загрязнения облагается налогом таким образом, чтобы цена товара или процесса, который создает загрязнение, отражала истинные издержки.

Загрязняющий окружающую среду участник экономической деятельности, чтобы сэкономить деньги, будет рассматривать возможность избежать уплаты налога. Прибыли и собственные финансовые интересы будут выступать в качестве мотивирующего фактора для снижения загрязнения и тем самым стимулировать его к применению самых современных природосохраняющих технологий природообустройства и природопользования.

Выработка рыночных инструментов (методов) уменьшения отрицательного воздействия на окружающую среду — весьма сложное дело, требующее тщательного внимания к учету множества деталей, консультаций с общественностью и поддержки со стороны промышленности и профсоюзов. Один из них — налоги за неэкологичную продукцию. Цель таких платежей — создать условия для снижения потребления вредной для окружающей среды продукции. Налоги и/или платежи налагают за продукцию, вызывающую экологические проблемы, при ее использовании в производственных процессах, потреблении и удалении в виде отходов из-за ее значительных объемов, токсичности и т. д.

Еще один инструмент — использование принципа «загрязнитель платит». В соответствии с этим принципом расходы, связанные с мерами по предотвращению, ограничению и сокращению загрязнения, компенсирует «загрязнитель». Но этот принцип не учитывает возможности того, что пользование ресурсом может принести выгоду для общества, не выраженную в денежном выражении, и даже увеличить разнообразие видов пользования ресурсом в будущем. В этом случае на первое место выходит не проблема загрязнения окружающей среды, а принятие мер, которые бы изменили к лучшему состояние ландшафта и ценности биоразнообразия, а также способствовали росту объема экологических услуг.

Соображения экономической эффективности диктуют необходимость того, чтобы природопользователи несли расходы на поддержание экологических функций и услуг, а также их наследуемой ценности и ценности их существования (см. разд. 4.2).

Использование водных бассейнов, атмосферного воздуха и почвы для выбросов в них загрязняющих веществ или хранения отходов представляет собой использование ресурсов, точно так же, когда речь идет о «традиционных» факторах производства.

Повышению эффективности и экологической безопасности природообустройства и природопользования способствует так называемая «экономика замкнутого цикла»: сокращение энерго- и материалоемкости; замещение невозобновимых ресурсов возобновимыми; извлечение полезных компонентов из переработанного сырья; рециркуляция отходов и повторное использование ресурсов и продукции. Например, при орошении сточными водами помимо защиты окружающей среды, особенно водных объектов от загрязнения, достигается экономия минеральных удобрений, извлечение из отходов животноводства полезных веществ, повторное использование этих веществ для получения кормов. Это также реализуется на водооборотных осушительно-оросительных системах с повторным использованием дренажных вод, что не только экономит водные ресурсы и уменьшает загрязнение водных объектов биогенами, но и позволяет доиспользовать вымытые из почвы питательные вещества.

Контрольные вопросы и задания. 1. Каковы принципы права в области природообустройства? 2. Перечислите элементы экологической политики (экологический аудит, контроль, экспертиза и др.). 3. Каковы цели оценки воздействия на окружающую среду? 4. Какие уровни мониторинга природных и техноприродных систем вы знаете? 5. Назовите принципы эколого-экономического обоснования проектов.

Часть II

ПРАКТИКА ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

7. ОСНОВЫ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ. МЕЛИОРАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

7.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ О МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ. МЕЛИОРАТИВНЫЙ РЕЖИМ

Мелиорация земель является важной составляющей природообустройства. Человек занимается мелиорацией постоянно, как только перешел к оседлому образу жизни. *Мелиорация* — это глубокое (прочное, длительное, по А. Н. Костякову, 1938 г.) изменение компонентов природы для повышения потребительской стоимости (полезности) земель. В отличие от временных мероприятий по улучшению земель (расчистка поверхности, вспашка, удобрение и т. п.) мелиорация изменяет природные условия на десятки и сотни лет.

Так как мелиорация — это конкретная потребительская деятельность, то человек мелиорирует территории, т. е. земли, с определенной целью. Земля — это территория с угодьями (пригодная для какого-либо использования), находящаяся в чем-то пользовании, владении или собственности. Вместе с тем земля — это общенациональное достояние, богатство народов, на ней проживающих, основа жизни и деятельности человека. Согласно Земельному кодексу РФ земля — природный объект, важнейшая составная часть природы, природный ресурс, средство производства в сельском и лесном хозяйстве, основа осуществления хозяйственной и иной деятельности; с позиций права — она недвижимое имущество, объект права собственности и иных прав. В Кодексе заявлен приоритет охраны земли перед ее использованием, которое не должно наносить ущерб окружающей среде.

Поэтому забота о земле, ее улучшение — не только дело отдельных пользователей или владельцев, но и общегосударственное дело, что нашло отражение в Законе РФ «О мелиорации земель». Государство берет на себя обязательство координировать и контролировать работы по мелиорации, осуществляемые как за счет владельцев, так и за счет местных и федерального бюджетов.

По целевому назначению и правовому режиму выделяют следующие категории земель:

сельскохозяйственного назначения (сельскохозяйственные земли);

поселений;
промышленности;
энергетики;
транспорта;
связи;
для обеспечения космической деятельности;
обороны;
иного специального назначения;
особоохраняемых территорий и объектов (природоохранного, оздоровительного, рекреационного, историко-культурного, научного назначения);
лесного фонда;
водного фонда;
запаса.

Земли по своим свойствам могут не полностью удовлетворять требованиям конкретного землепользователя и нуждаться в различных мелиорациях. Исходя из этого, различают мелиорацию сельскохозяйственных земель («сельскохозяйственная мелиорация» — выражение неудачное), земель лесного, водного фондов, поселений и т. д. Это первый уровень классификации мелиораций.

Так как граница между природообустройством и природопользованием нечеткая, можно считать, что мелиорация — это такие устройства, сооружения, работы, которые не входят в обычную технологию природопользования, применяемую в данной природной зоне. Например, борьба с ветровой или водной эрозией должна быть непременной составляющей технологии сельскохозяйственного производства в эрозионно опасных зонах; то же можно сказать о снегозадержании на полях, глубоком рыхлении почвы, узкозагонной вспашке и т. п. Эти мероприятия применяют как мелиорирующие, их называют агромелиоративными, и они довольно эффективны в сочетании с «чисто» мелиоративными, но по ряду причин, в том числе и организационных, их не надо относить к мелиорации.

Мелиорация существенно изменяет многие природные процессы — например, мелиорация сельскохозяйственных земель сильно изменяет процесс почвообразования, в результате ее применения исчезают одни элементы почвообразования и появляются другие: оглеение, засоление, торфообразование. Сущность мелиорации почв заключается в управлении составом почвы (увеличение и уменьшение содержания воды, различных химических веществ, тепла); свойствами почвы (рыхлостью, структурностью, водопроницаемостью, водоудержанием, емкостью поглощения, кислотностью, теплоемкостью); некоторыми почвенными процессами (засолением, оглеением, лессиважем, накоплением гумуса). Мелиорация способна приблизить азональные почвы (пойменные, бо-

лотные, засоленные) к зональным, а также существенно модифицировать зональное почвообразование. Аналогично такую же границу можно найти между мелиорацией и культурным использованием земель лесного и водного фондов, земель поселений, промышленности, рекреационного и другого назначения.

Мелиорация отличается от землепользования глубиной преобразования компонентов геосистем, *в результате мелиорации земля приобретает новое качество, т. е. новую ценностную характеристику функционального единства существенных ее свойств, новую внутреннюю и внешнюю определенность, относительную устойчивость, отличие ее от одних участков земли и сходство с другими.*

Мелиорация создает условия для более эффективного (продуктивного) использования земель без изменения их назначения, позволяет изменить назначение их использования в нужном направлении, улучшает социально-экономические условия жизни людей, окультуривает и оздоравливает большие территории. Например, орошение степных районов Крыма изменило облик этого края, а осушение Белорусского Полесья преобразило бедные заболоченные земли.

Мелиорация имеет вполне конкретного заказчика, перед ней ставится вполне определенная цель, это очень дорогое мероприятие, сильно воздействующее на природу. Она призвана повысить, причем существенно, полезность конкретной территории. Поэтому в практическом плане надо говорить о мелиорации конкретных земель. Вместе с тем мелиорируемые земли располагаются на геосистемах различного ранга и при мелиорации надо следовать принципу целостности. В последнее время ставится задача обустройства больших территорий: ландшафта, водосбора, куда входят земли разного назначения. Это более сложная задача, требующая своих подходов (см. разд. 12).

Второй уровень в классификации мелиораций определяется тем, какой из природных процессов или какую составляющую функционирования геосистемы нужно модифицировать, исходя из использования земель, например, химические мелиорации сельскохозяйственных земель или водные мелиорации земель лесного фонда. Водные, химические, физические, тепловые мелиорации осуществляют разными способами и обычно дополняют культуртехническими, агролесомелиоративными мероприятиями. Способы мелиорации — это третий уровень классификации мелиораций, например, искусственное увлажнение почв (орошение) проводят поливами по бороздам, полосам, затоплением (самые древние и не очень эффективные способы), дождеванием, капельным, подпочвенным, внутрпочвенным способами.

Современные мелиорации являются комплексными, т. е. часто необходимы одновременно водные, химические, тепловые и другие

мелиорации, которые вместе с мелиорирующими мероприятиями в сумме дают больший эффект, чем раздельное их применение.

Эффективность мелиораций зависит от интенсивности последующего природопользования, которое имеет определенную специфику на мелиорированных землях. Так, на сельскохозяйственных землях система земледелия включает особые сорта выращиваемых культур, системы обработки почвы и удобрения. Осушенные лесные угодья требуют особых приемов лесоводства.

При мелиорации земель прежде всего следует установить требования землепользователя к свойствам компонентов геосистемы: какими должны быть свойства почв при выращивании определенных растений; свойства грунтов как оснований для сооружений, дорог; свойства вод для водоснабжения или рыборазведения и т. д. При этом становится понятным главный объект мелиорации или предмет труда мелиоратора. При улучшении сельскохозяйственных земель — это почва, которая для земледельца выступает уже как средство производства, причем важнейшее. Отметим, что почва в отличие от других средств производства (машин, удобрений, средств борьбы с болезнями и вредителями, семян) обладает уникальным свойством — неизнашиваемостью. При соответствующем количестве и качестве вложенного в почву живого и овеществленного труда она способна сохранять и даже наращивать свою потребительскую стоимость, т. е. плодородие, что формирует *главную цель мелиорации сельскохозяйственных земель — расширенное воспроизводство плодородия почвы*. Достижение этой цели, а не получение максимального урожая любой ценой, в том числе и ценой истощения почвы, обеспечивает долговременные интересы землепользователя и как следствие — устойчивость агрогеосистемы, так как плодородные почвы более устойчивы, что делает мелиорацию природосберегающей.

Очевидно, что человек не повышает плодородие почвы ради самого плодородия, а заботится и о получении высокого урожая определенных культур, что также необходимо включать в цель мелиорации. При этом надо иметь в виду, что требования растений и почвы не всегда совпадают, они могут вступать в противоречие. Например, растения всегда требуют высокой влажности почвы, но для самой почвы повышенная влажность противопоказана, так как при этом повышается ее промываемость, уменьшаются запасы гумуса и т. д. Возникает непростая проблема разрешения этого противоречия. Опыт оптимизации или согласования требований растений и почвы в смысле сохранения и повышения ее плодородия показывает, что надо ориентироваться на некоторое недополучение урожая по сравнению с наивысшим. Это не только повышает устойчивость агрогеосистемы, но и уменьшает потребность в ресурсах, в орошаемом земледелии — прежде всего уменьшение

оросительных норм, следовательно, уменьшение нагрузки как на мелиорируемую геосистему, так и на прилегающие территории.

Технически мелиорацию земель следует осуществлять при экономном расходовании всех ресурсов: материальных (в том числе и водных), энергетических, трудовых. Это не только выгодно экономически, но и важно для сохранения природы.

Наконец, мелиорация земель как сильный природообразующий фактор может приводить к негативным экологическим последствиям. Поэтому неременной составляющей работ по мелиорации земель является недопущение ущерба природным системам и другим землепользователям или компенсация этого ущерба, что требует дополнительных мероприятий, дополнительных затрат.

Заметим, что высказанные соображения о цели мелиорации земель и об ограничениях при ее осуществлении вытекают из ранее высказанных принципов природообустройства.

Таким образом, *цель мелиорации сельскохозяйственных земель заключается в расширенном воспроизводстве плодородия почвы, получении оптимального урожая определенных сельскохозяйственных культур при экономном расходовании всех ресурсов, недопущении или компенсации ущерба природным системам и другим землепользователям.*

При мелиорации земель другого назначения главная цель может меняться, но ограничения при ее выполнении все равно остаются.

Цели мелиорации земель могут быть достигнуты только при выполнении определенного целостного набора требований, которым должна удовлетворять система мелиоративных мероприятий. Этот набор требований А. И. Голованов и И. П. Айдаров предложили назвать *мелиоративным режимом*. Под словом «режим» нужно понимать не изменение какого-либо показателя во времени, а требования к нему (норму) в разные моменты времени или в различных случаях.

Применительно к *сельскохозяйственным землям* мелиоративный режим — это совокупность требований к управляемым факторам почвообразования, роста растений и воздействия на окружающую среду, которые должна обеспечить система мелиоративных мероприятий для достижения поставленной цели.

Выбор показателей мелиоративного режима — сложная задача, которая требует глубокого обобщения результатов многолетних исследований в различных природных зонах. Набор показателей зависит от разновидности мелиораций (водные, химические и т. д.). Применительно к водным мелиорациям сельскохозяйственных земель набор показателей может быть следующим:

допустимые пределы регулирования влажности корнеобитаемого слоя почвы; периоды и сроки затопления поверхности земли; пределы глубин грунтовых вод; направление и значение влаго-

обмена между корнеобитаемым слоем почвы и подстилающим его слоем или грунтовыми водами;

допустимое содержание токсичных солей в почвенном растворе, состав и количество поглощенных оснований, рН почвенного раствора; допустимые количество и качество дренажных вод, сбрасываемых в поверхностные водотоки или водоемы;

требуемая динамика запасов гумуса и питательных веществ в почве;

предельное значение общей минерализации поливной воды, соотношение в ней ионов натрия и кальция и ее рН.

На *землях лесного фонда* показатели мелиоративного режима в основном — это благоприятная влажность в корнеобитаемом слое, глубина грунтовых вод и сроки затопления.

На *землях поселений, промышленности, транспорта* и т. п. прежде всего необходимо, чтобы глубины грунтовых вод обеспечивали несущую способность грунтов как оснований сооружений, функционирование подземных частей зданий и коммуникаций, санитарное состояние территории, устраняли негативное влияние минерализованных грунтовых вод (коррозионную опасность).

На *землях водного фонда* требования к мелиорации заключаются в улучшении свойств грунтов дна или ложа водоемов: форма поверхности (выравнивание берегов, засыпка ям), расчистка от растительности, перемещение скотомогильников, ликвидация свалок, выемка торфа, удаление загрязненного грунта, илистых отложений.

На *землях рекреационного, историко-культурного и научного назначения* показатели мелиоративного режима сводят к санитарно-экологическим требованиям, обеспечению сохранности ценных природных и антропогенных объектов.

Количественные значения того или иного показателя устанавливают применительно к каждой мелиорируемой территории не только исходя из имеющегося опыта, но и в результате перебора ряда вариантов (оптимизации), с учетом возможного неодинакового воздействия на растения, почву, сооружения, окружающую среду. Так, на сельскохозяйственных землях в критерий отбора наилучшего варианта мелиоративного режима нужно включать не только объем и качество урожая, но также и плодородие почвы, затраты на компенсацию негативных воздействий на окружающую среду, стоимость ресурсов и другие затраты.

Поэтому мелиоративный режим оценивают по следующим эколого-экономическим позициям:

среднегодовалой прибавке урожая всех сельскохозяйственных культур на орошаемом массиве по сравнению с богарой;

компенсационным мероприятиям, не допускающим снижения плодородия почвы; затратам на улучшение солевого режима (про-

мывки, гипсование и т. п.), поддержание требуемого количества гумуса и питательных веществ;

затратам на дренаж, защиту от подтопления соседних земель; штрафам за загрязнение подземных и поверхностных вод или затратам на очистку дренажных вод;

объему используемых водных ресурсов, т. е. оросительным нормам;

затратам на строительство и эксплуатацию мелиоративной системы, обеспечивающей показатели рассматриваемого варианта мелиоративного режима.

После введения цен на землю и воду, строгого контроля за загрязнением окружающей среды такие расчеты необходимы и весьма эффективны, способствуют применению водо- и почвосберегающих технологий орошения и осушения, водооборотных систем и научно-техническому прогрессу в мелиорации.

При этом необходимо увязывать между собой работу отдельных звеньев мелиоративной системы (подающую, отводящую), агротехнические мероприятия (дозы органических и минеральных удобрений, состав культур, технологии возделывания) и мероприятия по охране окружающей среды.

Накопленная научная информация, возросшие возможности ее обработки, большой набор математических моделей и современная вычислительная техника позволяют реализовать на практике идею мелиоративных режимов.

7.2. МЕЛИОРАТИВНЫЕ СИСТЕМЫ

Мелиорация земель — это сложные дорогостоящие ресурсо- и энергоемкие мероприятия, проводимые длительное время, для их осуществления необходимо создание комплекса сложных инженерных сооружений и устройств, надежно функционирующих в разнообразных природных условиях, часто экстремальных, при переменных погодных условиях. Поэтому на мелиорируемых землях строят *инженерные мелиоративные системы*, т. е. комплекс сооружений, устройств, машин и оборудования, предназначенных для регулирования показателей мелиоративного режима. При создании инженерных мелиоративных систем необходимо руководствоваться принципами природообустройства.

Состав мелиоративной системы зависит от вида мелиорируемых земель и регулируемых показателей мелиоративного режима. В общем, мелиоративная система включает регулирующие элементы, непосредственно осуществляющие мелиоративные воздействия, проводящие и ограждающие элементы, источники привлекаемых ресурсов, например воды, приемники технологических

сбросов с мелиорируемой территории (дренажных вод, вредных веществ, наносов и т. п.). Помимо этого в состав системы входят объекты энергетического обеспечения, дороги, сооружения; средства контроля, связи и управления, обеспечивающие обратную связь между управляющими воздействиями и управляемым объектом и мониторинг состояния мелиорируемой и прилегающей территорий; природоохранные сооружения, производственные базы, служебные и жилые помещения службы эксплуатации и консультативной службы, постоянно взаимодействующей с землепользователями и мелиораторами.

Мелиоративные системы в зависимости от их размера могут принадлежать отдельным землепользователям (фермеру, предприятию), группе землепользователей, быть муниципальными, а системы, имеющие важное значение для экономики, быть в собственности субъектов Российской Федерации или даже федеральными.

Мелиорируемые земли, обслуживаемые мелиоративной системой, юридически не входят в ее состав, так как могут принадлежать разным собственникам. Вместе с тем мелиорируемые земли и мелиоративная система образуют единый природно-технический комплекс или техноприродную систему, функционирующую как единое целое.

Надежность мелиорации и ее эффективность во многом зависят не только от технического совершенства мелиоративной системы, но и от правильного ее функционирования, соблюдения технологических режимов, умения управлять ею в неопределенных погодных условиях. Ошибки в управлении гидромелиоративной системой (оросительной или осушительной) могут привести к переувлажнению или иссушению земель, прорыву дамб или плотин, подтоплению земель и др.

Поэтому очень важна правильная научно обоснованная эксплуатация мелиоративных систем, прежде всего грамотное управление ими, основанное на мониторинге состояния земель, долгосрочном и краткосрочном прогнозах погодных условий, моделировании процессов на мелиорируемых землях в режиме реального времени.

7.3. МЕЛИОРАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Мелиорация сельскохозяйственных земель — наиболее древняя и распространенная деятельность человека по обустройству природы, так как земель, пригодных для интенсивного сельскохозяйственного использования, недостаточно.

Площадь обрабатываемых сельскохозяйственных земель в

мире за последние 25 лет сократилась с 0,36 до 0,27 га/чел., на территории бывшего СССР — с 0,89 до 0,79 га/чел. В странах ЕС на одного человека сейчас приходится около 0,2 га. Для обеспечения населения питанием интенсифицируют сельскохозяйственное производство, совершенствуя агротехнику, увеличивая дозы удобрений, борясь с болезнями, вредителями, сорняками, улучшая механизацию работ и снижая потери продукции при уборке и хранении. Эти мероприятия в известной степени опасны, так как увеличивают антропогенную нагрузку на агрогеосистемы. Качественный скачок в урожайности дают селекция и семеноводство, а также мелиорация земель.

Мелиорируемые земли в несколько раз продуктивнее немелиорируемых. Так, в мире мелиорируемые земли составляют 18 % площади пашни, а дают до 50 % продукции. В России мелиорируемые земли составляют только 6,2 % площади пашни, но дают около трети всей продукции, в том числе весь рис, 70 % овощей, 25 % кормов, 20 % зерна кукурузы. В Нечерноземной зоне мелиорировано 9 % пахотных земель, с них получают 15 % продукции растениеводства, в том числе 70 % овощей, 25 % кормов, урожаи в 2...4 раза выше по сравнению с неосушаемыми землями.

Кроме повышения среднемноголетней урожайности мелиорация в экстремальные годы (засушливые или очень влажные) обеспечивает экономическую стабильность страны, позволяет выращивать новые культуры, осваивать непригодные земли, повышая земельный ресурс страны. Мелиорация в крупных регионах, даже несмотря на недостатки при ее выполнении (имеющие субъективные причины), преобразует их в обустроенные для человека края с новым образом жизни, занятостью населения и благоустройством, так как при этом строят дороги, населенные пункты, системы водоснабжения и канализации, предприятия по первичной переработке продукции и др.

Вместе с тем мелиорация сельскохозяйственных земель — это дорогое мероприятие, затраты на 1 га в зависимости от природных условий страны и степени технического совершенства мелиоративных систем составляют 4...20 тыс. долл., а в России — 60...100 тыс. р/га и более. Окупаемость таких затрат зависит от ценности выращиваемых культур и составляет для овощей 3...4 года, для зерновых — 10...12 лет.

7.3.1. ХАРАКТЕРИСТИКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ РОССИИ

По оценке ученых ООН, наша страна отнесена к группе стран с пониженной биологической продуктивностью земель. Так, в Европе более низкая продуктивность земель имеется только в Нор-

вегии и Финляндии, в США и Китае 1 га в среднем в 2 раза продуктивнее, чем в России, в Австралии — в 3, в Бразилии и Индии — в 4 раза. В основном это объясняется географическим положением страны (север США расположен на широте Париж — Днепропетровск — Волгоград, а юг — в 200 км от тропиков). Значительная площадь России находится в зоне многолетней мерзлоты, низких температур, короткого лета, недостатка или избытка осадков, только около 10 % площадей сельскохозяйственных угодий благоприятны для земледелия по климатическим, почвенным и гидрогеологическим условиям, а в США — 60 %. Таким образом, большая часть сельскохозяйственных угодий России нуждается в улучшениях.

Потребность в мелиорации зависит от зональных и азональных особенностей природных условий. Обычно орошают возвышенные выровненные пространства, естественная увлажненность которых характеризуется зональным количеством тепла, или радиационным балансом, и количеством атмосферных осадков; на этих землях распространены зональные почвы. В осушении нуждаются, как правило, азональные природные объекты (фации), которые в силу своего высотного расположения получают дополнительное водное питание за счет притока со стороны зональных фаций, на них формируются азональные почвы: болотно-подзолистые, торфяные, пойменные. Засоленные земли также часто имеют азональный характер расположения. Поэтому потребность в оросительных и осушительных мелиорациях оценивают по-разному.

Природные зоны отличаются по климату (тепло- и влагообеспеченности), растительности и почвам. Зональные отличия выражаются степенью сбалансированности тепловых и водных ресурсов и характеризуются гидротермическим коэффициентом, или «индексом сухости»:

$$I_c = R/LOc, \quad (7.1)$$

где R — радиационный баланс почвы; L — удельная теплота парообразования; Oc — количество осадков.

Типы почв и их свойства подчиняются гидротермической зональности. Зависимости некоторых показателей почвенного плодородия (содержание гумуса, емкость почвенного поглощающего комплекса, агрегатность и др.) от гидротермического коэффициента показаны на рисунке 7.1. По степени сбалансированности тепловых и водных ресурсов выделяют несколько зон.

Зона избыточного увлажнения (гумидная) — $I_c < 0,9$. Из-за недостатка тепла растительные остатки в почве перегнивают медленно, питательные вещества и гумус вымываются осадками, почвы бед-

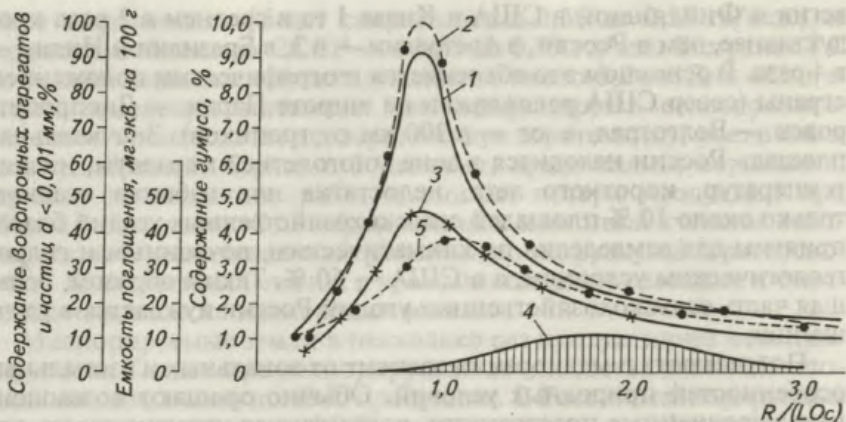


Рис. 7.1. Зависимость основных свойств почвы от гидротермического коэффициента (по И. П. Айдарову):

1 — содержание водопрочных агрегатов; 2 — содержание гумуса в слое 0...50 см; 3 — емкость ППК; 4 — распространение солонцов; 5 — содержание физической глины (частиц диаметром меньше 0,001 мм)

ны гумусом, $pH < 6$. Распространены подзолистые, подзолисто-глеевые, болотные, дерново-подзолистые почвы. Распашка почв увеличивает их тепловой баланс, что благоприятно для почвенных процессов. Приращение радиационного баланса при распашке составляет 10...15%. Возвышенные территории при хорошем оттоке избыточных вод не переувлажнены, но интенсивно промываются, при плохом оттоке — заболочены; в засушливые периоды некоторые культуры нуждаются в поливе. В пониженных местах формируются переувлажненные земли, нуждающиеся в осушении. Кислые почвы требуют известкования. Почти на всех землях нужны культуртехнические мероприятия, включающие: сведение мелкоколесья и кустарника, корчевку пней, срезку кочек, уборку камней, выравнивание поверхности земли, разделку дернины, внесение удобрений.

Зона достаточного и неустойчивого увлажнения (лесостепная и степная) — $I_c = 0,9...1,4$. Сбалансированность тепла и влаги создала наилучшие условия почвообразования. Почвы зоны наиболее плодородные, с наилучшими характеристиками — это серые лесные почвы, выщелоченные, типичные, обыкновенные и южные черноземы, темно-каштановые почвы, $pH 6,5...7,5$. Распашка почв увеличивает их радиационный баланс на $\Delta R = (0,15...0,25)R$, следовательно, для восстановления сбалансированности тепла и влаги необходимо дополнительное увлажнение почв. В этой зоне в

отдельные годы и периоды наблюдаются засухи, снижающие урожай, поэтому для получения гарантированных урожаев сельскохозяйственных культур и улучшения процесса почвообразования применяют орошение. В результате распашки и орошения гидротермический коэффициент

$$I_c = \frac{R + \Delta R}{L(Oc + M)},$$

где M — оросительная норма нетто.

Орошение здесь должно быть лишь дополнением к естественным осадкам. В неблагоприятных гидрогеологических условиях может потребоваться осушение (дренаж для понижения уровня грунтовых вод). Местами могут проявляться процессы осолонцевания и засоления, тогда нужны химические мелиорации и промывки почв.

Засушливая зона (сухостепная, полупустынная) — $I_c = 1,4...3,0$. При повышении температуры и недостатке влаги ускоряется процесс минерализации растительных остатков, снижается интенсивность накопления гумуса. Почвы светло-каштановые, бурые, в сухих предгорьях сероземы; они беднее гумусом, чем черноземы. Для улучшения процесса почвообразования и развития большинства сельскохозяйственных культур необходимо регулярное орошение. $pH > 7,5$, часто проявляются процессы осолонцевания и засоления почв. Основным видом мелиорации является регулярное орошение земель, часто требуются химические мелиорации и промывки засоленных земель; на территориях с недостаточным оттоком подземных вод требуется дренаж.

Острозасушливая (пустынная) зона — $I_c > 3$. Процесс минерализации растительных остатков идет почти без образования гумуса. Почвы пустынные серо-бурые, песчаные, такырные, на больших пространствах почвенный покров не образуется. Земледелие здесь невозможно без орошения. При орошении существенно улучшаются и процессы почвообразования. Для предотвращения засоления почв применяют промывной режим орошения, при котором на поля подают на 15...25 % больше воды, чем требуется растениям, чтобы обеспечить вымыв вредных солей из почвы; на больших площадях требуется дренаж.

Приведенные характеристики земель различных природно-климатических зон страны показывают, что почти все сельскохозяйственные угодья требуют улучшения для повышения эффективности их использования. Орошаемые сельскохозяйственные земли в мире составляют более 275 млн га, осушаемые — более

220 млн га. В 1990 г. в СССР площадь мелиорированных земель составляла 37 млн га, в том числе орошаемых — 19, осушаемых — 18 млн га; в России в это время — 11,2; 6,1 и 5,1 млн га соответственно. В Российской Федерации находится 82,5 % переувлажненных земель территории бывшего СССР. Площадь сельскохозяйственных земель в России около 440 млн га, из них сельскохозяйственных угодий — 190,3, пашни — 124,4 млн га. Площади орошаемых и осушаемых земель в 2003 г. составили около 9,4 млн га, из них орошаемых — 4,5, осушаемых — 4,8 млн га. Интенсивность использования пашни в зерновом эквиваленте невысока и составляет 19,6 т/га (2003 г.), средняя продуктивность орошаемых кормовых угодий 4,5 тыс. корм. ед/га, осушаемых — 2,5...3 тыс. корм. ед/га. Причины невысокой продуктивности земель не только в их низком биоклиматическом потенциале, но и в недостаточной эффективности их использования. Сельскохозяйственные угодья требуют орошения на площади более 29 млн га, осушения — более 25,6 млн га, заросло кустарником и мелколесьем около 10 млн га, засорено камнями 12,2 млн га, подвержено эрозии около 62,7 млн га, требуют известкования 72,9 млн га, засолено более 15 млн га, осолонцовано около 24,3 млн га, подвержено опустыниванию 11 млн га, загрязнено тяжелыми металлами и радионуклидами 5 млн га, нуждается в рекультивации 2,3 млн га. Запасы гумуса в почве в среднем по России снижаются на 0,8 т/га в год, дефицит элементов минерального питания составляет по районам 28...60 кг/га в год. Кроме пашни требуют мелиораций сенокосы, пастбища, многолетние насаждения и другие угодья.

7.3.2. ОРОСИТЕЛЬНЫЕ МЕЛИОРАЦИИ

Оросительные мелиорации нужны на сельскохозяйственных землях, где наблюдается постоянный или периодический недостаток влаги для развития культурных растений. Помимо этого орошение влияет на температурный режим почв, несколько их остужая; на баланс питательных веществ и гумуса в почве, так как усиливает промываемость почвенного слоя; на воздушный режим почв. Орошение оказывает влияние на микроклимат, поверхностные и подземные воды, растительность и животный мир орошаемых и окружающих земель. При орошении крупных массивов могут существенно измениться местный климат и все компоненты природы на больших площадях. Поэтому при проектировании оросительных систем необходимы прогнозы влияния орошения на природные условия.

Орошение может быть регулярным и одноразовым. Регулярное орошение восполняет недостаток влаги в течение всего вегетаци-

онного периода. Одноразовое орошение проводят как весеннюю влагозарядку паводковыми и тальми водами.

7.3.2.1. Режим регулярного орошения земель

Под режимом орошения понимают объемы и сроки подачи воды растениям. Он должен:

обеспечивать потребность растений в воде во все фазы их развития;

способствовать наилучшему сочетанию водного, воздушного, теплового, питательного и солевого режимов в корнеобитаемом слое почвы и приземном слое воздуха, т. е. получению высокого урожая возделываемых культур;

способствовать повышению плодородия почв, не допускать их переувлажнения, заболачивания, засоления, размыва;

не оказывать неблагоприятного влияния на прилегающие земли и водные объекты.

Иными словами, режим орошения должен обеспечивать благоприятный мелиоративный режим территории, назначать его надо, соблюдая принципы природообустройства.

На режим орошения растений влияют природные, биологические, хозяйственные, экономические факторы. К природным факторам относят климатические, почвенные, гидрогеологические условия, вид источника орошения, качество поливной воды. Биологическими факторами являются вид растений, их сорт, качество семян. К хозяйственным, мелиоративным, экономическим факторам относят уровень агротехники, оснащенность хозяйства, наличие трудовых ресурсов и их квалификацию, тип оросительной сети, способ и технику полива, производительность труда на поливе, требуемые капитальные и эксплуатационные затраты на осуществление намеченного режима. Режим орошения является основой для проектирования оросительных систем. Поэтому обоснование режима орошения — важная составная часть задачи оптимизации мелиоративного режима на орошаемых землях.

Климатические условия значительно изменяются по годам, следовательно, и режимы орошения растений в разные годы будут различными.

При составлении проектов оросительных систем режимы орошения разрабатывают для лет различной обеспеченности дефицита естественного увлажнения D , т. е. разности между потенциальным суммарным водопотреблением растений E_{pot} и количеством атмосферных осадков O_c :

$$D = E_{\text{pot}} - O_c.$$

Для сухих лет потребуются большие объемы оросительной воды, соответственно оросительная система для подачи этой воды будет дороже, зато прибавка урожая от орошения будет больше. Для выбора расчетного года проводят технико-экономическое сравнение вариантов проекта оросительной системы, составленных для разных лет. Более высокая обеспеченность орошения экономически целесообразна для влаголюбивых и ценных культур.

Режим орошения для условий расчетного года называют проектным. В период эксплуатации оросительной системы изменения климатических, мелиоративных, хозяйственных условий учитывают в эксплуатационных режимах орошения, которые составляют при сезонном и оперативном планировании водопользования на предстоящий сезон, декаду, неделю.

Основой для разработки режимов орошения служит суммарное водопотребление выращиваемых культур. *Суммарным водопотреблением* (суммарным испарением, эвапотранспирацией) называют количество воды, расходуемой на транспирацию растениями и испарение почвой за расчетный период. Эту величину измеряют в кубометрах на 1 га или в миллиметрах слоя воды за период вегетации, месяц, декаду, неделю, сутки. В различных условиях и для разных культур суммарное водопотребление составляет 250...1000 мм за вегетацию.

Суммарное водопотребление зависит от метеорологических условий, вида и фазы развития растений, состояния почвы, ее затененности листьями, уровня агротехники, обеспеченности элементами питания, степени оптимальности водного, теплового, солевого, воздушного режимов. С улучшением условий произрастания растения используют воду более экономно. Показателем продуктивности использования воды растениями служит *коэффициент водопотребления* — количество воды, затраченной на транспирацию растениями и испарение почвой для образования единицы массы основной продукции. Он изменяется от 10 до 100 мм/т. При повышении плодородия почвы и улучшении агротехники суммарное водопотребление увеличивается медленнее, чем урожайность. Увеличение урожайности за счет повышения обеспеченности растений водой возможно лишь до определенного предела, дальше для повышения продуктивности земель требуется новый уровень агротехники и плодородия почвы. Так, при увеличении урожайности овощей в 2,9...3,2 раза суммарное водопотребление возрастает лишь на 17...25 %, а коэффициент водопотребления уменьшается в 2,4...2,7 раза.

Суммарное водопотребление определяют несколькими методами (полевыми, аналоговыми, расчетными), ориентировочные его значения можно найти в справочниках.

Потенциальное суммарное водопотребление E_{pot} за декаду, мм, т. е. при оптимальной влажности почвы и при оптимальной агротехнике, рассчитывают по формуле Н. Н. Иванова:

$$E_{\text{pot}} = 0,061 K_6 (25 + T)^2 (1 - 0,01 a), \quad (7.2)$$

где K_6 — биологический коэффициент, учитывающий особенности растения и фазу его развития; T и a — среднедекадная температура, °С, и относительная влажность воздуха, %.

При отклонении влажности почвы ω в обе стороны от оптимальной ω_{opt} реальное суммарное водопотребление E уменьшается из-за недоувлажнения или переувлажнения, его можно вычислить с помощью коэффициента:

$$\epsilon = 2,72 \theta / \theta_{\text{opt}} \exp(-\theta / \theta_{\text{opt}}), \quad (7.3)$$

где θ — относительная влажность в корнеобитаемом слое, $\theta = (\omega - B3) / (p - B3)$ ($B3$ — влажность завядания, примерно равная 1,3...1,5 максимальной гигроскопичности почвы; p — пористость почвы в расчетном слое); θ_{opt} — относительная оптимальная влажность в корнеобитаемом слое для конкретной культуры, $\theta_{\text{opt}} = (\omega_{\text{opt}} - B3) / (p - B3)$.

$$E = \epsilon E_{\text{pot}}. \quad (7.4)$$

Средние влагозапасы, мм, в корнеобитаемом слое уменьшаются сначала быстро, а затем медленнее, поэтому примерно можно принять

$$W_{\text{ср}} = W_{\text{нач}} + 0,67(\alpha Oc - \epsilon E_{\text{pot}} + g), \quad (7.5)$$

где $W_{\text{нач}}$ — влагозапасы, образующиеся в корнеобитаемом слое почвы при снеготаянии или в результате влагозарядковых поливов на начало вегетации, $W_{\text{нач}} = 1000 h_{\text{кос}} \omega_{\text{нач}} [h_{\text{кос}} - \text{мощность корнеобитаемого слоя почвы}; \omega_{\text{нач}} - \text{начальная влажность в долях объема почвы}; \text{для культуры весеннего сева и посадки начальная влажность } \omega_{\text{нач}} = (0,85...0,95) \text{ ППВ, а для многолетних трав и насаждений соответствует влажности при ППВ}]; \alpha - \text{доля осадков, впитавшихся в почву}; g - \text{водообмен корнеобитаемого слоя с нижележащим за период вегетации}.$

Запасы влаги, соответствующие ППВ, определяют полевыми изысканиями или ориентировочно их можно принять в зависимости от гранулометрического состава почвы. Для слоя 1 м они составляют в песчаных и супесчаных почвах 120...200 мм, в средне-суглинистых — 210...280 мм, в тяжелосуглинистых и глинистых — 290...360 мм, можно также ориентировочно считать ППВ = 0,55...0,75 пористости. Для расчета по формуле (7.5) коэффициент ϵ , зависящий от средних влагозапасов, находят подбором.

Рассмотрим в качестве примера запасы влаги в почве под яровой пшеницей в Воронежской области, находящейся в Среднерусской провинции степной зоны обыкновенных черноземов. Водно-физические свойства 0,5-метрового слоя этих суглинистых почв: плотность $1,2 \text{ г/см}^3$; пористость $0,52$ объема; ППВ $= 0,65p = 0,65 \cdot 0,52 = 0,312$; максимальная гигроскопичность $0,11$ объема; влажность за-ядания $0,143$; высота капиллярного подъема в этом слое 2 м ; коэффициент фильтрации $0,4 \text{ м/сут}$. Погодные условия вегетационного периода яровой пшеницы, начинающегося 1 апреля и продолжающегося 9 декад, для характерных лет — осадки и потенциальное испарение (метеостанция «Каменная степь») — приведены в таблице 7.1, в которой даны осредненные характеристики для трех сухих лет, близких к 10%-й обеспеченности дефицита увлажнения за вегетацию, среднесухих — 25, средних — 50, средневлажных — 75 и влажных — 90%-й, а также средние значения за 47 лет наблюдений — с 1952 по 1998 г. В среднем за 47 лет осадки теплого периода длительностью 190 сут равны 298 мм , испаряемость — 659 мм ; за вегетацию — 151 и 350 мм соответственно с дефицитом увлажнения $D = 350 - 151 = 199 \text{ мм}$. Из таблицы 7.1 видно, что естественное увлажнение в среднем недостаточное, с резкими колебаниями по годам, во влажные годы дефицит увлажнения отсутствует.

При указанных значениях водно-физических свойств и начальных влагозапасов в 0,5-метровом слое $W_{\text{нач}} = 1000 \cdot 0,5 \cdot 0,95 \cdot 0,312 = 148 \text{ мм}$, средних за вегетацию оптимальных влагозапасов для яровой пшеницы $\theta_{\text{опт}} = 0,3$, атмосферных осадках за период вегетации сухого года $O_c = 31 \text{ мм}$, потенциальном суммарном водопотреблении $E_{\text{пот}} = 430 \text{ мм}$ и водообмене в естественных условиях за период вегетации $g = -8 \text{ мм}$ с помощью формулы (7.5) подбором находим $\theta = 0,0076$ и $\epsilon = 0,535$; т. е. реальное водопотребление $0,535 \cdot 430 = 230 \text{ мм}$ будет на 200 мм меньше потенциального. Результаты этого подбора позволяют оценить среднегодовую относительную урожайность без орошения по формуле В. В. Шабанова (3.98) и эффективность орошения.

7.1. Осредненные характеристики естественного увлажнения по данным метеостанции «Каменная степь»

Годы	O_c , мм	$E_{\text{пот}}$, мм	$E_{\text{пот}} - O_c$, мм
Сухие (1975, 1979, 1984)	31	430	399
Среднесухие (1970, 1971, 1986)	65	388	323
Средние (1969, 1973, 1981)	130	360	230
Средневлажные (1968, 1978, 1987)	187	283	96
Влажные (1974, 1976, 1982)	303	260	-43
В среднем за 47 лет	151	350	199

Для расчета потребности в орошении, т. е. при поддержании влажности почвы вблизи оптимального значения, суммарное водопотребление принимают $0,96...0,98$ потенциального, т. е. $\epsilon_{\text{опт}} = 0,96...0,98$.

Суммарное водопотребление обеспечивается за счет природных факторов (запасов почвенной влаги, осадков, подпитывания грунтовыми водами). При недостаточности естественного увлажнения подают оросительную воду.

Количество воды, подаваемой на единицу орошаемой площади за вегетационный период с целью поддержания требуемой влажности почвы в расчетном слое, называют *оросительной нормой*. Ее измеряют в $\text{м}^3/\text{га}$ или в мм слоя воды.

При определении оросительной нормы расчетный слой принимают равным активному слою в конце вегетации (слою, содержащему 90 % корней), m : для зерновых и зерновых бобовых он равен 0,7...0,9; овощей — 0,5...0,6; картофеля — 0,7; капусты — 0,6; сахарной и кормовой свеклы — 0,8...0,9; многолетних трав — 0,9; хлопчатника — 1; плодовых деревьев — 2,0...2,5.

Оросительная норма сильно зависит от диапазона регулирования влажности почвы, который обычно находится в пределах 60...90 % ППВ, что обеспечивает необходимый воздушный режим и хорошие условия для микробиологических процессов. При поддержании средней за вегетацию влажности ближе к верхнему пределу возможно кратковременное переувлажнение расчетного слоя, в результате чего увеличиваются потери воды на глубинную фильтрацию за счет гравитационного перетока воды вниз, что не только увеличивает непроизводительные затраты воды, но и вызывает вымыв из почвы питательных веществ и подъем уровня грунтовых вод. При поддержании влажности почвы в среднем за вегетацию ближе к нижнему пределу создается опасность недоувлажнения почвы и снижения урожайности, при близких грунтовых водах возможно капиллярное подпитывание корнеобитаемого слоя, что при плохом их качестве грозит засолением почвы.

Поэтому средняя за вегетацию влажность в расчетном слое, диапазон и режим ее регулирования требуют серьезного обоснования и увязки с воздушным, питательным, тепловым, солевым режимами, а также с экономическими и хозяйственными условиями, т. е. оптимизации режима орошения.

По предложению А. Н. Костякова оросительную норму определяют как дефицит водопотребления растений из уравнения водного баланса для расчетного слоя почвы за период вегетации. Схема элементов водного баланса в расчетном слое h показана на рисунке 7.2. Изменение запасов влаги в расчетном слое за период вегетации при орошении:

$$\Delta W = W_{\text{нач}} - W_{\text{кон}} = E - \alpha Oc - M - g_{\text{ор}}, \quad (7.6)$$

где ΔW — количество воды, используемой растениями из запасов почвенной влаги, накопленной к началу вегетации; $W_{\text{нач}}$ и $W_{\text{кон}}$ — запасы влаги в расчетном слое в начале и в конце вегетации; E — суммарное водопотребление растений за период вегетации года расчетной обеспеченности, $E = \epsilon_{\text{ор}} E_{\text{пот}}$; α — доля осадков, впитавшихся в почву; Oc — осадки за период вегетации расчетного года; M — оросительная норма; $g_{\text{ор}}$ — водообмен между расчетным и подстилающим слоями за период вегетации при орошении; при $g_{\text{ор}} > 0$ наблюдается переток влаги из грунтовых вод в

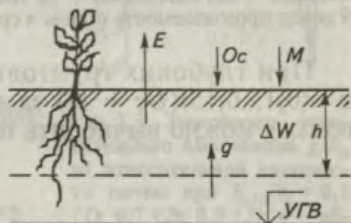


Рис. 7.2. Схема элементов водного баланса в расчетном слое увлажняющей h

почву, при $g_{op} < 0$ — нисходящий переток влаги из почвы в подстилающий слой или в грунтовые воды.

Начальные влагозапасы (см. с. 211) определяют для расчетного слоя h . В конце вегетации растений запасы влаги в расчетном слое рекомендуют принимать: $W_{кон} \cong 1000h(\text{ППВ} + \text{ВЗ})$. При отсутствии данных о влажности завядания ориентировочно можно принять $W_{кон} = 1000h(0,55...0,65)\text{ППВ}$ — для песчаных и супесчаных почв; $(0,65...0,75)\text{ППВ}$ — для суглинистых почв; $(0,75...0,80)\text{ППВ}$ — для глинистых почв. Оросительная норма

$$M = \epsilon_{op} E_{pot} - \alpha Oc - g_{op} - \Delta W, \quad (7.7)$$

или, ориентируясь на средние влагозапасы почвы в период вегетации $W_{cp} = (W_{нач} + W_{кон})/2$:

$$M = \epsilon_{op} E_{pot} - \alpha Oc - g_{op} - 2(W_{нач} - W_{cp}), \quad (7.8)$$

$$W_{cp} = 1000h[\text{ВЗ} + \beta\theta_{opt}(p - \text{ВЗ})], \quad (7.9)$$

где ϵ_{op} зависит от $\beta = \theta_{op}/\theta_{opt}$, т. е. от степени достижения оптимальных влагозапасов, при экономии оросительной воды $\beta = 0,75...0,85$; при этом $\epsilon_{opt} = 0,96...0,98$; g_{op} — водообмен в условиях орошения, который обычно больше, чем в естественных условиях.

Значение и направление водообмена g между расчетным и подстилающим слоями зависят от влажности почвы, глубины уровня грунтовых вод, литологического строения зоны аэрации, мощности корневой системы. В естественных условиях на возвышенных местах и при глубоких грунтовых водах всегда наблюдается нисходящий ток влаги, т. е. $g < 0$, оценить его можно по меженному речному стоку, равному годовому стоку за вычетом слоя стока весеннего половодья и приведенному к длительности периода вегетации.

Например, в Воронежской области средний годовой сток равен 110 мм, сток половодья — 60, меженный — 50 мм и при длительности вегетации яровой пшеницы 9 декад промываемость почвы в средний год составит $50 \cdot 90/365 = 12,3$ мм/сут.

При глубоких грунтовых водах нисходящие токи влаги $g \cong -(0,1...0,15)(Oc + M)$ за вегетацию. При неглубоких грунтовых водах g можно вычислить по формуле Ю. Н. Никольского:

$$g = k_w \frac{\theta^n - e^{-y}}{1 - e^{-y}}, \quad (7.10)$$

где k_w — коэффициент влагопроводности расчетного слоя почвы при влажности,

соответствующей полной влагемкости ПВ, т. е. пористости, уменьшенной на объем заземленного воздуха, который обычно составляет 0,03...0,05 пористости.

По С. Ф. Аверьянову:

$$k_{\omega} = k \left(\frac{ПВ - \omega^*}{p - \omega^*} \right)^n;$$

здесь k — коэффициент фильтрации; ω^* — максимальная молекулярная влагемкость; p — пористость расчетного слоя; n — показатель степени, зависящий от типа почвы, ее гранулометрического и микроагрегатного состава, $n = 3,5...5$; θ — относительная влажность:

$$\theta = (\omega - \omega^*) / (ПВ - \omega^*),$$

где ω — средняя влажность почвы за расчетный период в корнеобитаемом слое $h_{\text{кос}}$; y — параметр, определяемый по формуле

$$y = \frac{n}{h_k} (h_r - 0,5h_{\text{кос}});$$

здесь h_k — высота капиллярного поднятия; h_r — глубина уровня грунтовых вод.

Изменение значения g в зависимости от θ , $h_{\text{кос}}/h_r$ и k_{ω} показано на рисунке 7.3.

При неглубоко залегающих минерализованных грунтовых водах капиллярное подпитывание расчетного слоя допускать нельзя, так как это создает опасность засоления почвы. В расчетном слое необходимо поддерживать такой водный режим, при котором в период вегетации $g < 0$, т. е. будут обеспечены нисходящие токи влаги (промывной режим) и глубина грунтовых вод $h_r > (h_{\text{кос}} + h_k)$. При расчетах промывного режима переток влаги из расчетного слоя вниз ориентировочно можно оценить, по А. И. Голованову, в зависимости от средней за вегетацию влажности расчетного слоя:

$\omega_{\text{ср}}$	0,70	0,80	0,85
g	0	-0,10E	-0,24E

Примечание. E — суммарное водопотребление за расчетный период.

$$\omega_{\text{ср}} = \omega_1 + (\omega_2 - \omega_1)/3,$$

где ω_1 и ω_2 — предполивная и послеполивная влажность, доли ППВ. Например, при $\omega_1 = 0,70$, $\omega_2 = 0,95$ $\omega_{\text{ср}} = 0,70 + (0,95 - 0,70)/3 = 0,78$; интерполяцией находим $g = -0,08E$.

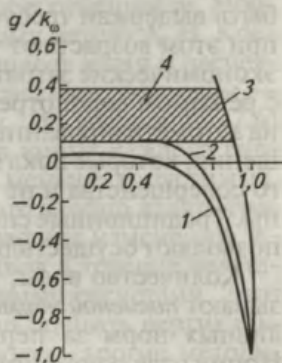


Рис. 7.3. Зависимость относительного влагообмена g/k_{ω} от относительной влажности почвы при $h_{\text{кос}}/h_r = 0,1$ (1); 0,7 (2); 0,9 (3); 4 — область капиллярного подпитывания почвы, определяемого интенсивностью суммарного испарения

Оросительные нормы для разных климатических зон, культур, почв, гидрогеологических условий различны. Так, для засушливой зоны $M = 500 \dots 1000$ мм, для зоны неустойчивого естественного увлажнения $M = 300 \dots 500$ мм, для зоны достаточного увлажнения $M = 50 \dots 200$ мм. Меньшие значения оросительной нормы относятся к засухоустойчивым культурам с коротким периодом вегетации.

Например, для среднеголетних условий Воронежской области $O_c = 151$ мм, начальные влагозапасы в 0,5-метровом слое почвы равны 148 мм, $E_{\text{пот}} = 350$ мм, оптимальные относительные влагозапасы за вегетацию для яровой пшеницы в среднем $\theta_{\text{opt}} = 0,3$; при их поддержании на уровне $0,76\theta_{\text{opt}}$ $\epsilon_{\text{ор}} = 2,72 \cdot 0,76 \exp(-0,76) = 0,967$; $g_{\text{ор}} = -43$ мм; средневегетационные запасы влаги $W_{\text{ор}} = 1000h_{\text{кос}}[B3 + \beta\theta_{\text{opt}}(p - B3)] = 500[0,143 + 0,76 \cdot 0,3(0,52 - 0,143)] = 114$ мм, а оросительная норма для среднеголетних условий $M = 2(W_{\text{ор}} - W_{\text{нач}}) - \alpha O_c + \epsilon_{\text{ор}} E_{\text{пот}} - g_{\text{ор}} = 2(114 - 148) - 151 + 0,967 \cdot 350 + 43 = 162$ мм, которая при $\theta = 0,76 \cdot 0,30 = 0,228$ обеспечивает урожайность 0,942 от плановой. Водообмен составляет $43/(151 + 162) = 0,14$ от водоподачи.

Приведенные в данном примере расчеты оросительной нормы не очень точны, так как не учтены переменные в течение вегетации требования растений к увлажнению, приближенно оценен водообмен. Более точные расчеты приведены ниже при эколого-экономическом обосновании режима орошения.

Поливные нормы и сроки поливов. В течение вегетационного периода оросительную норму подают частями в соответствии с изменением мощности корнеобитаемого слоя, потребностью растений в воде, естественным увлажнением, допустимыми пределами влажности. Чем чаще и меньше по величине поливы, тем точнее может быть выдержан требуемый режим влажности в расчетном слое, но при этом возрастают технические и организационные трудности и экономические затраты. Непрерывная подача воды, согласованная с режимом водопотребления, в настоящее время возможна только на автоматизированных системах капельного и подпочвенного орошения, которые пока не достигли достаточного уровня технического совершенства и не получили распространения из-за дороговизны. Традиционные способы полива (поверхностный и дождевание) позволяют осуществлять только периодические поливы.

Количество воды, подаваемой на 1 га поля за один полив, называют *поливной нормой* m , ее измеряют в $\text{м}^3/\text{га}$ или мм. Сумма поливных норм за период вегетации равна оросительной норме. Норму отдельного полива определяют как разность запасов воды в расчетном слое после и до полива, $\text{м}^3/\text{га}$:

$$m = W_2 - W_1, \quad (7.11)$$

где W_1 и W_2 — запасы влаги, $\text{м}^3/\text{га}$, до и после полива в расчетном слое h , м, определяемые по формуле

$$W = 10\,000h\omega\text{ППВ}_{\text{рво}},$$

где ω — влажность расчетного слоя.

Предполивная влажность почвы определяется требованиями растений (см., например, табл. 3.8), при ее снижении возможно кратковременное угнетение растений; послеполивная влажность зависит от водоудерживающей способности почвы, обычно ее не доводят до ППВ во избежание потерь воды на просачивание.

Чем меньше диапазон регулирования влажности, тем меньше нормы, что благоприятно для растений и почвы, но поливы должны быть чаще. На поливные нормы влияют также мощность почвенного слоя и литологическое строение подстилающих грунтов. На маломощных почвах, подстилаемых хорошо проницаемыми грунтами, нормы уменьшают для снижения глубинной фильтрации оросительной воды. Оказывает влияние и рельеф местности: при больших уклонах поверхности земли поливные нормы принимают меньшими ввиду опасности эрозии почвы. На засоленных почвах поливные нормы больше, чем на незасоленных. Из опыта орошения земель установлены пределы поливных норм при разных способах полива: при поверхностном поливе 60...100 мм, при дождевании — 20...70, при капельном — 5...10, при подпочвенном — 40...80 мм.

Сроки и нормы поливов устанавливаются различными методами. На работающих оросительных системах даты поливов назначают, измеряя влагозапасы в ключевых точках, или по состоянию растений, что менее точно; поливные нормы — исходя из опыта.

При проектировании оросительных систем разрабатывают проектный режим орошения для года расчетной обеспеченности. Нормы и сроки поливов определяют по балансовому методу А. Н. Костякова, в котором анализируются балансы запасов влаги в расчетном слое последовательно по коротким расчетным периодам — фазам развития растений, декадам, неделям. Из уравнения (7.6) определяют запасы воды в расчетном слое в конце каждого расчетного периода и, если запасы становятся меньше допустимых, назначают полив, используя формулу (7.7), это удобно делать графически. На рисунке 7.4 показан пример графика изменений запасов влаги в расчетном слое почвы и поливов в течение вегетации, который строят параллельно с балансовыми расчетами. Этот способ приближенный, так как в нем трудно оценить вертикальные перетоки влаги, поэтому применяют более строгие методы, основанные на математических моделях передвижения влаги (см. разд. 3.5), на детальном учете требований растений к увлажнению, и расчеты на ЭВМ.

Этими методами можно установить среднюю дату полива конкретного поля. Промежуток времени между средними днями поливов называют межполивным периодом. Намеченные даты поливов и межполивные периоды должны быть согласованы с агротехническими сроками проведения сельскохозяйственных и дру-

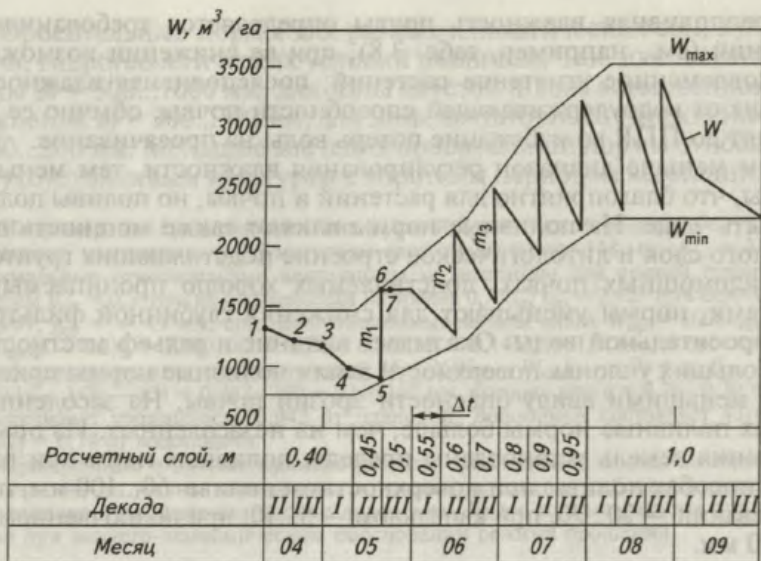


Рис. 7.4. График изменений запасов влаги в расчетном слое почвы в течение вегетации:

m_1, m_2, \dots — поливные нормы; 1...7 — расчетные точки; Δt — расчетный период

гих работ на орошаемой площади. При необходимости поливы могут быть перенесены на 2...3 сут.

Продолжительность одного полива, т. е. время от начала до конца полива, называют *поливным периодом*, который зависит от техники и технологии полива, организации и производительности труда, площади поливных участков, вида культур. Продолжительность поливного периода может быть от 3...5 до 12...15 сут.

Невегетационные и дополнительные поливы. Кроме вегетационных поливов, регулирующих влажность в расчетном слое почвы в период развития растений, проводят поливы других назначений, которые должны быть учтены при распределении водных ресурсов, проектировании оросительной сети, планировании мелиоративных, сельскохозяйственных и других работ.

Влагозарядковые поливы проводят в невегетационный период для создания требуемого запаса воды в расчетном слое к началу вегетации культур при недостаточном естественном увлажнении. Запас влаги создается в слое 1...1,5 м, норма влагозарядкового полива составляет 80...150 мм.

Предпосевные поливы нормами 40...50 мм проводят в районах с сухой весной, где иссушение верхнего слоя почвы задерживает прорастание семян.

Послепосадочные поливы нормами 20...40 мм необходимы для культур, высаживаемых рассадой, для приживания рассады.

Освежительные поливы проводят в жаркие часы суток для овощей, чая, citrusовых. При поливах дождеванием достаточны нормы 5...10 мм, при аэрозольном распылении воды над полем затрачивается 50...150 л/га.

Противозаморозковые поливы нормами до 10...20 мм проводят в садах, на виноградниках и для других ценных культур в районах с прохладным или контрастным климатом, где в начале и в конце вегетационного периода наблюдаются ночные и утренние заморозки (отрицательные температуры воздуха). За счет высокой теплоемкости воды повышается температура на поверхности почвы и в приземном слое воздуха.

Удобрительные поливы проводят для внесения удобрений, микроэлементов, химелиорантов в почву в растворенном виде. Нормы удобрительных поливов принимают в зависимости от требуемого количества внесения веществ и их растворимости. При возможности эти поливы совмещают с другими поливами.

Промывные поливы необходимы на засоленных или склонных к засолению землях для растворения и удаления из корнеобитаемого слоя вредных солей. При освоении засоленных земель для ликвидации существующего природного засоления проводят капитальные промывки, нормы которых обосновываются специальными расчетами и могут составлять 500...3000 мм и более. При орошении земля с близким залеганием минерализованных грунтовых вод или при плохом качестве оросительной воды возникает опасность вторичного засоления почв. Для предотвращения такого сезонного засоления проводят профилактические (эксплуатационные) промывки нормами 150...300 мм в невегетационные периоды.

Графики гидромодуля. Для проектирования оросительной сети и при ее эксплуатации необходимо знать расходы воды, пропускаемой каждым элементом сети и гидротехническим сооружением. Поэтому нормы поливов, представляющие собой объемы воды, переводят в расходы воды, подаваемой в течение определенного времени. При выполнении расчетов для участков различной площади удобно пользоваться удельным расходом, т. е. расходом воды, подаваемой на 1 га поливаемой площади данного поля с учетом доли этого поля в севообороте, который называют *гидромодулем*, л/(с · га):

$$q = \frac{\alpha m}{86,4\beta t}, \quad (7.12)$$

где α — содержание рассматриваемой культуры в севообороте или на орошаемом участке, доли единицы; m — поливная норма, м³/га; β — рабочее время, доли суток; t — поливной период, сут.

По значениям гидромодуля, подсчитанным для поливов всех культур на рассматриваемом участке, строят неуккомплектованный график гидромодуля (рис. 7.5). Неуккомплектованный график гидромодуля полностью соответствует расчетным режимам орошения всех культур, однако он имеет существенные недостатки. Неупорядоченность графика, сильная изменчивость ординат во времени требуют сложного режима эксплуатации мелиоративной системы, затрудняют или делают невозможной автоматизацию управления ее работой. Частые колебания расходов и перерывы в подаче воды ухудшают техническое состояние каналов, гидротехнических сооружений, трубопроводов. Наличие высоких кратковременных ординат требует большой пропускной способности оросительной сети и сооружений. Возможно также несоответствие полученного графика режиму источника воды для орошения.

Эти недостатки могут быть устранены за счет укомплектования графика гидромодуля. Укомплектованием называют некоторые допустимые изменения в графике гидромодуля за счет сдвига на 2...4 сут средних дней поливов и изменения поливных периодов в возможных пределах. При этом обязательно сохраняют поливные нормы, для чего выполняют условие неизменности произведений $q\Delta t$ в неуккомплектованном и укомплектованном графиках для каждого полива.

После укомплектования получают упорядоченный график гидромодуля без кратковременных высоких и низких расходов, без коротких перерывов в подаче воды. Примеры такого графика показаны на рисунке 7.6. С укомплектованного графика получают расчетные значения гидромодуля, по которым определяют макси-

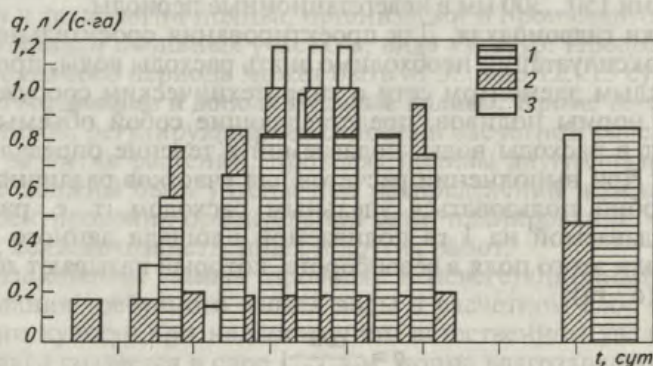


Рис. 7.5. Пример неуккомплектованного графика гидромодуля:

1...3 — сельскохозяйственные культуры, входящие в севооборот

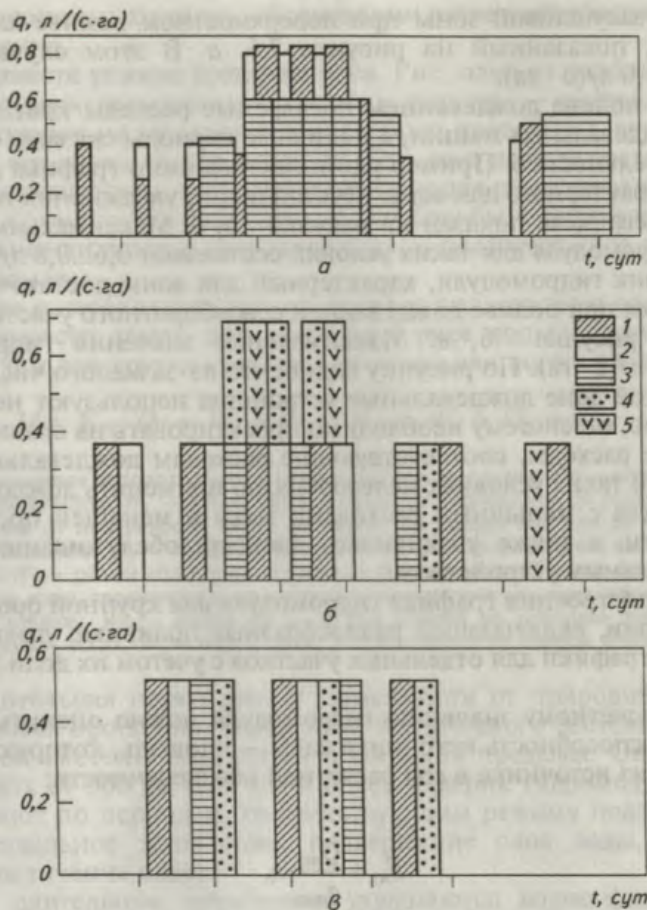


Рис. 7.6. Примеры укрупненного графика гидро модуля:

a — для засушливой зоны при поверхностном способе полива; *б* и *в* — при поливе дождеванием соответственно в зоне неустойчивого и достаточного увлажнения; 1...5 — сельскохозяйственные культуры севооборота

мальные и минимальные расходы воды, подаваемой по оросительной сети на севооборотный участок (расходы нетто):

$$Q_{\max}^{\text{нт}} = q_{\max} F_{\text{нт}}; Q_{\min}^{\text{нт}} = q_{\min} F_{\text{нт}}, \quad (7.13)$$

где q_{\max} , q_{\min} — максимальное и минимальное значения гидро модуля с укрупненного графика, л/(с · га); $F_{\text{нт}}$ — поливная площадь участка нетто, га.

Для засушливой зоны при поверхностном поливе характерен график, показанный на рисунке 7.6, а. В этом случае $q_{\max} = 0,8 \dots 1,0$ л/(с · га).

При поливе дождеванием подаваемые расходы кратны расходам дождевальных машин, а поливные периоды связаны с их производительностью. Пример укомплектованного графика гидромодуля, характерного для зоны неустойчивого увлажнения при поливе дождеванием, показан на рисунке 7.6, б. Максимальные значения гидромодуля для таких условий составляют $0,6 \dots 0,8$ л/(с · га).

График гидромодуля, характерный для зоны достаточного увлажнения при поливе дождеванием севооборотного участка, показан на рисунке 7.6, в. Максимальные значения гидромодуля $0,4 \dots 0,6$ л/(с · га). По рисунку видно, что из-за малого числа поливов в этой зоне дождевальные устройства используют непродолжительно, но систему необходимо проектировать на сравнительно высокие расходы, соответствующие расходам дождевальных устройств. В таких условиях целесообразно применять дождевальные устройства с меньшими расходами воды и меньшей производительности, а также увеличивать площади обслуживания одним дождевальным устройством.

При построении графика гидромодуля для крупной орошаемой территории, включающей разнообразные поливные угодья, суммируют графики для отдельных участков с учетом их доли в общей площади.

По расчетному значению гидромодуля можно оценить оросительную способность источника воды — площадь, которую можно оросить из источника в год расчетной обеспеченности:

$$F_{\text{нт}} = \frac{Q_{\text{ист}}}{q_{\max}} \eta, \quad (7.14)$$

где $Q_{\text{ист}}$ — расход воды, выделяемой из источника на орошение; η — коэффициент полезного действия оросительной сети, учитывающий потери воды при транспортировании ее от источника до поля.

График гидромодуля позволяет сопоставить режим орошения с расходами воды, выделяемой из источника в различные по водообеспеченности годы и периоды, выявить периоды с дефицитами оросительной воды и возможные пути устранения дефицитов путем корректировки графиков поливов. По расчетному максимальному гидромодулю может быть выполнено гидромодульное районирование территории региона или страны, которое применяют при планировании использования земельных и водных ресурсов, разработке мелиоративных мероприятий, размещении и исполь-

зовании орошаемых земель, обосновании расчетной обеспеченности орошения.

Особенности режима орошения риса. Рис, одна из наиболее распространенных сельскохозяйственных культур, — растение-гидрофит, которое не нуждается в кислороде почвенного воздуха, а получает его через листья и стебли. Это дает возможность поливать рис затоплением, которое применяют для регулирования теплового и солевого режимов почвы, для борьбы с сорняками. Непрерывным или длительным затоплением поливают 76 % посевов риса на Земле.

В связи с необходимостью создания и поддержания слоя воды на поверхности земли при орошении риса воды затрачивается больше, чем для других культур. Оросительная норма риса

$$M = E - O_c + W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6, \quad (7.15)$$

где E — суммарное водопотребление риса за период вегетации; O_c — атмосферные осадки за вегетацию; W_1 — объем воды, идущей на заполнение до полной влагоемкости слоя от поверхности земли до уровня грунтовых вод или до водоупора перед затоплением; W_2 — объем воды, требуемой для создания слоя на поверхности земли; W_3 — объем воды, расходуемой на боковую и глубинную фильтрацию; W_4 — объем воды, теряемой в сооружениях и на фильтрацию через оградительные земляные валики; W_5 — объем воды, затрачиваемой на создание проточности воды в рисовых чеках; W_6 — объем воды, затрачиваемой на сбросы воды из чеков.

Оросительная норма риса в зависимости от природных условий, режима орошения, сорта риса, технического состояния оросительной системы изменяется в широких пределах. Она может составлять от 500 до 3000 мм и более. График гидромодуля риса составляют по периодам, соответствующим режиму подачи воды (первоначальное затопление, поддержание слоя воды, сбросы воды, увеличение слоя).

При длительном затоплении ухудшаются водно-физические свойства почвы, нарушаются химические и микробиологические процессы, снижается плодородие почвы, поэтому посевы риса не должны превышать 70...75 % состава севооборота. В рисовый севооборот вводят люцерну, клевер, кукурузу, сою, озимую пшеницу. График гидромодуля для рисового севооборота составляют по обычным правилам, складывая гидромодули отдельных культур с учетом их содержания в севообороте. Максимальные ординаты гидромодуля для рисовых севооборотов достигают 1,5...2,5 л/(с · га).

Значительная часть воды на рисовых системах тратится непроизводительно. Так, по данным В. В. Зайцева, элементы водного баланса могут составлять, % оросительной нормы: $E = 35...66$; $W_1 + W_2 = 9...12$; $W_3 + W_4 = 11...35$; $W_5 = 6...14$; $W_6 = 4...7$.

Ввиду больших затрат воды на рисовых системах большое значение имеют мероприятия по экономии воды, направленные на снижение объемов $W_1 \dots W_6$. С целью уменьшения объемов воды для заполнения слоя грунта и снижения глубинной и боковой фильтрации рисовые системы рекомендуют располагать на пониженных участках местности с тяжелыми почвами и грунтами при близком водоупоре или малой глубине грунтовых вод, отсутствии подземного оттока грунтовых вод. Для снижения затрат воды на проточность ее быстро меняют в чеках, экономят за счет ее повторного использования. Имеется опыт уменьшения испарения с поверхности воды внесением в воду специальных веществ. Также необходимо четко планировать внутривладельческое водопользование и стимулировать меры по экономии воды размером платы за воду.

Эколого-экономическое обоснование режима орошения. При обосновании режима орошения возможные варианты регулирования влажности в корнеобитаемом слое сравнивают по экологическим и экономическим условиям оценкой оросительных норм, глубинной фильтрации оросительной воды, поверхностного стока, прибавки урожайности сельскохозяйственных культур от орошения. Для этого используют специальные программы для ЭВМ (см. разд. 3.5), с помощью которых выполняют детальные расчеты передвижения влаги в почве и в подстилающих грунтах с учетом отбора влаги корнями растений при заданном графике выпадения атмосферных осадков и суммарного испарения с учетом конкретных гидрогеологических условий. С помощью этих программ можно, задавая разными пределами регулирования влажности почвы, оценить оросительные и поливные нормы, а также водообмен между почвенным слоем и подстилающими грунтами. С помощью модели продуктивности [см. формулы (3.97)...(3.101)] определяют влияние конкретного варианта режима орошения на урожайность. Расчеты можно провести сразу для совокупности лет, что позволяет оценить изменчивость режима орошения по годам для выбора расчетного года.

Рассмотрим результаты расчетов по обоснованию режима орошения яровой пшеницы, выращиваемой на обыкновенных черноземах Воронежской области при глубоких грунтовых водах. Водно-физические свойства почв приведены в разделе 7.3.2.1.

Поливы назначали при снижении влажности почвы в корнеобитаемом слое до заданной доли оптимальных относительных продуктивных влагозапасов $\beta\theta_{\text{opt}}$. Было рассмотрено пять вариантов: естественный режим влажности без орошения и поливы при предполивной влажности, соответствующей $0,5\theta_{\text{opt}}$; $0,6\theta_{\text{opt}}$; $0,7\theta_{\text{opt}}$ и $0,8\theta_{\text{opt}}$. Поливные нормы принимали в пределах 35...40 мм (т. е. способ полива — дождевание). В результате расчетов по пяти вариантам получены значения оросительных норм M , глубинной фильтрации поливной воды g , коэффициента снижения урожайности или относительной продуктивности K_w [(см. формулу (3.98)] для характерных по увлажненности лет (табл. 7.2).

Анализ данных таблицы 7.2 позволяет выбрать вариант предполивной влажности $\omega_{\text{пл}}$, обеспечивающий минимальные M и g при приемлемой относительной урожайности $K_{\text{о}}$. В третьем варианте при небольшой оросительной норме и незначительной по сравнению с бытовыми условиями промываемостью почвы урожайность наивысшая. Во втором варианте оросительную норму можно снизить на 19% по сравнению с третьим, что приведет к снижению урожайности всего на 1,2% и уменьшит промываемость почвы, следовательно, вымыв питательных веществ и гумуса на 16%. В четвертом и пятом вариантах резко увеличиваются оросительная норма и промываемость почвы на фоне некоторого снижения урожайности из-за переувлажнения.

Таким образом, оптимальным следует считать второй вариант при средней за вегетацию предполивной влажности, равной $\omega_{\text{пл}} = B3 + 0,5\theta_{\text{орт}}(p - B3) = 0,143 + 0,5 \cdot 0,3 (0,52 - 0,143) = 0,195$ объема, или $0,195/0,312 = 0,625$ ППВ. Такая влажность допустима для засухоустойчивой яровой пшеницы. В математической модели учитывали разные требования яровой пшеницы по фазам развития (см. табл. 3.8), что повысило точность расчетов.

7.2. Результаты расчетов M , g и $K_{\text{о}}$ для лет разной увлажненности и при разной предполивной влажности

Показатель	Год					Среднее за 47 лет
	сухой	средне-сухой	средний	средне-влажный	влажный	
O_c , мм	31	65	130	187	303	151
$E_{\text{орт}}$, мм	430	388	360	283	260	350
<i>Первый вариант — предполивная влажность не регулируется</i>						
M , мм	0	0	0	0	0	0
g , мм:						
за год	-20	-26	-51	-66	-114	-62
за вегетацию	-8	-12	-21	-39	-75	-32
$K_{\text{о}}$	0,441	0,459	0,510	0,870	0,907	0,653
<i>Второй вариант — предполивная влажность соответствует $0,5\theta_{\text{орт}}$</i>						
M , мм	315	223	183	66	39	161
g , мм:						
за год	-36	-47	-65	-80	-141	-85
за вегетацию	-19	-25	-33	-57	-100	-43
$K_{\text{о}}$	0,970	0,969	0,965	0,884	0,885	0,942
<i>Третий вариант — предполивная влажность соответствует $0,6\theta_{\text{орт}}$</i>						
M , мм	354	275	210	92	52	197
g , мм:						
за год	-52	-64	-77	-93	-151	-101
за вегетацию	-28	-32	-37	-67	-111	-56
$K_{\text{о}}$	0,987	0,991	0,972	0,890	0,888	0,954
<i>Четвертый вариант — предполивная влажность соответствует $0,7\theta_{\text{орт}}$</i>						
M , мм	393	288	262	118	79	226
g , мм:						
за год	-66	-88	-112	-114	-174	-121
за вегетацию	-35	-49	-65	-87	-133	-74
$K_{\text{о}}$	0,980	0,979	0,970	0,883	0,875	0,946

Показатель	Год					Среднее за 47 лет
	сухой	средне-сухой	средний	средне-влажный	влажный	
<i>Пятый вариант — предполивная влажность соответствует 0,86_{ори}</i>						
<i>M</i> , мм	446	328	288	144	118	258
<i>g</i> , мм:						
за год	-97	-123	-134	-136	-207	-146
за вегетацию	-50	-62	-86	-109	-165	-97
<i>K_ю</i>	0,961	0,953	0,956	0,856	0,862	0,932

Для зон достаточного и неустойчивого увлажнения, используя краткосрочные прогнозы осадков, можно сократить оросительные нормы и глубинную фильтрацию поливной воды. При этом если ожидается выпадение осадков в ближайшие 4...5 сут, то поливы в эти дни не назначают. По данным А. И. Голованова, экономия оросительной воды может составлять 15...20 % и более при снижении глубинного сброса и практически неизменной урожайности.

Проектный режим орошения служит основой для установления расчетной *мощности оросительной системы*: ее площади, требуемого объема водохранилища или расчетного объема воды, забираемой из источника орошения, числа и производительности насосов, диаметров трубопроводов и размеров каналов, пропускной способности регулирующих сооружений. Потребность в поливной воде резко колеблется из года в год, поэтому система с любой мощностью будет часто недоиспользована, а в экстремально сухие годы воды будет не хватать.

Так, в Воронежской области за 47 лет наблюдений расчеты по второму варианту предполивной влажности дали следующее число поливов нормой 35...40 мм и оросительные нормы:

Число поливов	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Оросительная норма, мм	393	354	315	275	236	196	157	118	79	39	0
Число лет	1	2	2	3	6	7	8	5	2	6	5

Всего за 47 лет требовалось 193 полива при средней поливной норме около 39 мм, т. е. $193 \cdot 39 = 7527$ мм воды, или в среднем за год 161 мм (см. табл. 7.2, второй вариант). Естественно, что строить систему на подачу 393 мм за сезон невыгодно, так как эта система на полную мощность сработает только один раз за 47 лет. Поэтому рассмотрим другие варианты расчетной подачи воды с учетом капитальных затрат и текущих издержек на содержание системы, в том числе стоимость воды, затраты на ее подачу, поддержание плодородия почвы, на природоохранительные мероприятия, сравнивая их с доходом от орошения. На этапе проектирования системы надо просчитать эффект от орошения, последовательно уменьшая оросительную норму на один или несколько поливов. В годы с нормой большей, чем расчетная, надо, сохраняя даты поливов, пропорционально уменьшать поливные нормы (табл. 7.3). Без заметных потерь урожайности обеспе-

ченность оросительной нормы можно принять 20...25 %, т. е. уменьшив расчетную водоподачу на $393 - 236 = 157$ мм/год, или в 1,6 раза, а также затраты на строительство системы, например, установив вместо четырех насосов только три. При этом несколько снижается и промываемость почвы. Этот пример выполнен для засухоустойчивой культуры (яровой пшеницы) и для зоны неустойчивого увлажнения (Воронежская обл.).

7.3. Выбор расчетной обеспеченности оросительной системы (по яровой пшенице)

Обеспеченность оросительной нормы, %	Норма, мм		Среднеголетняя относительная урожайность	Годовая промываемость почвы, мм
	расчетная	среднеголетняя		
2	393	161	0,942	85
10	315	156	0,937	84
14	275	152	0,932	83
20	236	145	0,922	82
33	197	134	0,904	81
46	157	116	0,874	79
63	118	90	0,824	76
73	79	62	0,767	71
77	39	33	0,696	68
90	0	0	0,653	62

Для культур, более требовательных к влаге, оптимизация режимов поливов актуальнее. Расчеты режима поливов люцерны с длительностью вегетации 160 сут при $\theta_{\text{opt}} = 0,35$ и $\gamma = 4,6$ показали, что оптимальная предполивная влажность также соответствует $0,5\theta_{\text{opt}}$ (табл. 7.4).

При поливе люцерны оросительную систему целесообразно рассчитывать также на среднесухой год, т. е. на обеспеченность оросительной нормы 20...25 % (табл. 7.5).

7.4. Влияние предполивной влажности на урожайность люцерны и показатели водного режима

Предполивная влажность		Среднего-летняя оросительная норма, мм	Относительная урожайность	Промываемость почвы, мм	
доли θ_{opt}	доли ППВ			за год	за вегетацию
Без полива	—	0	0,459	38	26
$0,5\theta_{\text{opt}}$	0,67	398	0,941	93	57
$0,6\theta_{\text{opt}}$	0,71	464	0,977	125	84
$0,7\theta_{\text{opt}}$	0,75	535	0,988	173	124
$0,8\theta_{\text{opt}}$	0,80	614	0,978	234	185

7.5. Выбор расчетной обеспеченности оросительной системы (по люцерне)

Обеспеченность оросительной нормы, %	Норма, мм		Среднеголетняя относительная урожайность	Промываемость почвы за год, мм
	расчетная	среднеголетняя		
2	900	398	0,936	93
10	600	379	0,925	91
16	550	372	0,919	90
25	500	360	0,906	87
33	450	344	0,888	84

Обеспеченность оросительной нормы, %	Норма, мм		Среднеголетняя относительная урожайность	Промываемость почвы за год, мм
	расчетная	среднеголетняя		
46	400	322	0,861	79
60	350	292	0,823	74
73	250	225	0,731	64
84	200	184	0,675	57
92	150	140	0,617	51
96	100	94	0,558	46
98	0	0	0,459	38

Баланс гумуса на орошаемых землях. С помощью приведенных в разделе 3.7 формул оценим динамику запасов гумуса под влиянием сельскохозяйственной деятельности в почвах Воронежской области до и после орошения. До массовой распахки (1890 г.) установившиеся запасы гумуса в 20-сантиметровом слое обыкновенных черноземов составляли 137 т/га, а в 30-сантиметровом слое — 205 т/га, конкретно в Каменной степи — 240 т/га при суммарном поступлении нового гумуса $A = 1,52$ т/(га · год) и скорости его сработки за счет минерализации $G = 0,0111$ год⁻¹ (см. табл. 3.11).

После распахки, как показали вышеприведенные расчеты, урожайность яровой пшеницы без орошения (см. табл. 7.1) составляла 0,65 от потенциальной 6,8 т/га, или $U_{\phi} = 4,4$ т/га. При этом сухая биомасса растительных остатков, поступающая в почву [(формула (3.105)), $B_{p.o} = 4,4 \cdot 0,86 \cdot 1,43 = 5,4$ т/(га · год)]. Она давала новообразованный гумус в количестве $G_{нов} = 1,724 \cdot 0,25 \cdot 0,348 \cdot 5,4 = 0,81$ т/(га · год). Вымыв гумуса при годовой промываемости почвы 62 мм в естественных условиях $G_{вым} = 0,01 \cdot 62 \cdot 0,35 = 0,22$ т/(га · год). При внесении полуперепревшего навоза дозой 5 т/(га · год) и при содержании в нем сухого вещества $K_{св} = 0,25$ образовывался новый гумус в количестве $G_{уд} = 1,724 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,25 \cdot 5 = 0,32$ т/(га · год). Ежегодно после яровой пшеницы в почву до орошения поступало $A_1 = 0,81 + 0,32 = 0,22 = 0,91$ т/га новообразованного гумуса.

После люцерны при фактическом урожае $0,46 \cdot 12,8 = 5,9$ т/га в почву ежегодно поступало $5,9 \cdot 0,83 \cdot 1,656 = 8,1$ т/га растительных остатков, которые образовывали $G_{нов} = 1,724 \cdot 0,25 \cdot 0,405 \cdot 8,1 = 1,41$ т/га. Вымыв гумуса с поля, занятого люцерной, был $0,01 \cdot 3 \cdot 0,35 = 0,13$ т/(га · год). После люцерны навоз не вносили, поэтому всего гумуса после люцерны в почву поступало $A_2 = 1,41 - 0,13 = 1,28$ т/(га · год).

В среднем, с учетом плодосмена, нового гумуса в год поступало $A = 0,5(0,91 + 1,28) = 1,1$ т/га. После распахки почва подвергалась эрозии. Для слабоэродированных почв коэффициент $B_{эр} = 0,00125$ год⁻¹ (см. разд. 3.7), а общий коэффициент скорости минерализации гумуса $B = 0,0111 + 0,00125 = 0,01235$ год⁻¹. При длительной распахке без орошения запасы гумуса стабилизируются на уровне $G_{уст} = A/B = 89$ т/га в пахотном слое толщиной 20 см, т. е. могут сократиться со 137 до 89 т/га, или на 35 %, а за 100 лет запасы гумуса в 20-сантиметровом слое уменьшатся до $G = A/B + (G_0 - A/B)\exp(-Bt) = 1,1/0,01235 + (137 - 1,1/0,01235)\exp(-0,01235 \cdot 100) = 103$ т/га, или до 154 т/га в 30-сантиметровом слое, что близко к фактическим запасам гумуса в 1981 г., равным 155 т/га (см. табл. 3.12).

Если же начиная с 1991 г. организовать орошение при предполивной влажности, соответствующей $0,5\theta_{opt}$ (см. табл. 7.2), ликвидировать эрозию и увеличить дозу органических удобрений под посев яровой пшеницы хотя бы в 2 раза, то при ее урожайности $0,942 \cdot 6,8 = 6,4$ т/га поступающих в почву растительных остатков в год станет 7,87 т/га, из которых образуется новый гумус 1,17 т/га, от 10 т/га навоза поступление гумуса в год составит 0,64 т/га. При орошении возрастет промываемость почвы до 85 мм и соответственно годовой вымыв гумуса достигнет 0,3 т/га.

Всего после яровой пшеницы в почву поступит гумуса $A_1 = 1,17 + 0,64 - 0,30 = 1,51$ т/(га · год).

Относительная урожайность люцерны также возрастет с 0,459 до 0,941 (см. табл. 7.4). Это приведет к поступлению 2,9 т/(га · год) нового гумуса, возрастет также до 0,32 т/га и годовой вымыв гумуса при орошении; $A_2 = 2,9 - 0,32 = 2,58$ т/(га · год). При плодосмене поступление нового гумуса составит $A = 0,5 \cdot (1,51 + 2,58) = 2,04$ т/(га · год). Если полностью исключить эрозию почвы, то значение коэффициента B уменьшится до 0,0111. При этом новые установившиеся запасы гумуса в 20-сантиметровом слое $G_{уст} = 2,04/0,0111 = 184$ т/га, или 276 т/га в 30-сантиметровом слое, т. е. они вернуться к запасам до распашки и даже превысят их, правда, за длительное время. За 20 лет орошения запасы гумуса возрастут с 103 т/га до $G = 2,04/0,0111 + (103 - 2,04/0,0111)\exp(-0,0111 \cdot 20) = 120$ т/га, т. е. средний прирост запасов составит 0,8 т/(га · год).

Таким образом, водосберегающий режим орошения, направленный на сокращение оросительных норм при незначительном снижении максимальных урожаев (на 4..5 %), обеспечивает сохранение и даже расширенное воспроизводство плодородия почвы, минимизацию негативных воздействий на окружающую среду, экономию водных и энергетических ресурсов.

7.3.2.2. Способы и техника полива сельскохозяйственных культур

Сельскохозяйственные культуры и другие зеленые насаждения поливают следующими способами: поверхностным самотечным, дождеванием, внутрпочвенным, подпочвенным, капельным. Дополнением к ним могут быть дисперсное и аэрозольное увлажнение. Каждому способу полива соответствуют элементы и устройства, переводящие воду из состояния сосредоточенных токов в состоянии почвенной влажности, — это регулирующая оросительная сеть и техника полива.

При поверхностном способе полива вода распределяется по поверхности земли — бороздам, полосам, чекам и поступает к корням растений путем гравитационного и капиллярного впитывания. Этот способ можно применять на территориях со спокойным рельефом, уклонами 0,0005...0,01, достаточной мощностью почв, при поливных нормах не менее 600 м³/га, промывках засоленных земель.

По бороздам поливают широкорядные пропашные, плодовые, кустарниковые культуры, виноградники, ягодники. Борозды нарезают в междурядьях по направлению благоприятного уклона параллельно сторонам поля. Ширина междурядий a зависит от вида растений, проницаемости почв и может составлять 0,45...1,5 м. Борозды имеют глубину $H_б = 10...30$ см, наполнение $h_в = 3...5$ см, ширину по дну $b = 3...5$ см, заложение откосов $m = 1$ (рис. 7.7). Длину борозд рассчитывают, и она может составлять 60...400 м. Расход воды в борозду рассчитывают из условий подачи и впитывания поливной нормы, он составляет 0,2...2 л/с. Скорость течения воды по борозде не должна превышать размывающую.

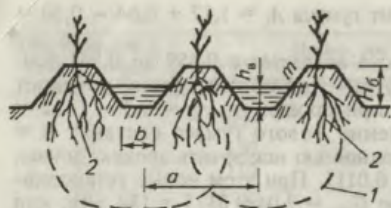


Рис. 7.7. Поперечный разрез по поливным бороздам:

1 — контур увлажнения борозды; 2 — корневая система растения

По *полосам* поливают культуры узкорядного и сплошного сева. Полосы устраивают по наибольшему уклону местности, поперечный уклон полос недопустим. Полосы разделяют продольными валиками высотой $H_b = 10 \dots 15$ см. Ширина полос b_n зависит от выравнивания поверхности земли и составляет 3,6...18 м (рис. 7.8). Слой воды в полосе $h_b = 5 \dots 7$ см. Длина полос — в пределах 60...400 м и зависит от уклонов поверхности и проницаемости почв. Расход воды, подаваемой в полосу, — 2...5 л/с на 1 м ширины полосы.

Чеки представляют собой горизонтальные площадки, окруженные валиками. По чекам поливают затоплением рис и проводят промывки засоленных земель. Площадь чека может быть от 0,2 до 20 га в зависимости от рельефа и возможностей проведения планировочных работ. Высота ограждающих валиков зависит от слоя воды в чеке: 0,05...0,25 м при поливе риса и 0,5...0,7 м при промывках.

Движение воды по борозде и поверхности полосы — это сложный совместный процесс неравномерного неустановившегося движения по борозде или полосе и одновременного впитывания (образуется поток с переменной массой), его очень приблизительно описывают уравнением баланса воды и уравнениями Шези (3.17) и Дарси (3.16).

Впитывание воды в почву при поверхностном поливе описывают эмпирическими зависимостями, из которых наиболее известны и применяются зависимости А. Н. Костякова (рис. 7.9):

$$v_{вп} = v_0 t^{-\alpha}; \quad v_{ср} = \frac{v_0}{1-\alpha} t^{-\alpha}; \quad h_{вп} = v_{ср} t = \frac{v_0}{1-\alpha} t^{-\alpha}, \quad (7.16)$$

где $v_{вп}$ — скорость впитывания воды в почву в момент времени t , м/ч; v_0 — эмпи-

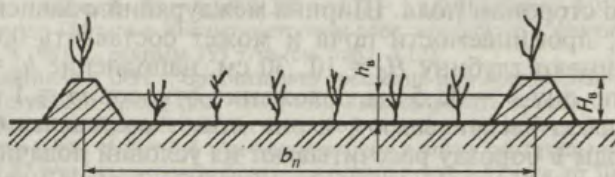
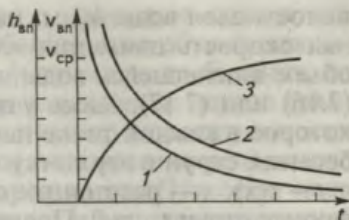


Рис. 7.8. Поперечный разрез по поливной полосе

Рис. 7.9. Характеристики впитывающей способности почвы:

1 — изменение по времени мгновенной скорости впитывания $v_{вп}$; 2 — изменение по времени средней за время t скорости впитывания $v_{ср}$; 3 — изменение по времени слоя впитавшейся воды $h_{вп}$



рический коэффициент, имеющий размерность $m/q^{1-\alpha}$ и численно равный скорости впитывания спустя 1 ч после начала впитывания; α — коэффициент, учитывающий свойства почвы и ее начальную влажность, $\alpha = 0,2...0,8$; $v_{ср}$ и $h_{вп}$ — средняя скорость впитывания и слой воды, впитавшейся за время t .

Значения v_0 и α определяют при опытных наливах на площадках или в кольца (инфильтрометры) в процессе изысканий. Формулы (7.16) применяют при глубоком уровне грунтовых вод, которые не подпирают впитывающуюся влагу, и непродолжительном впитывании, так как из формул (7.16) следует, что при $t \rightarrow \infty v_{вп} \rightarrow 0$, хотя в действительности скорость впитывания, уменьшаясь, должна стремиться к значению коэффициента фильтрации. Формулы (7.16) описывают только случай напорного впитывания и не применимы к процессам дождевания.

При неглубоком уровне грунтовых вод скорость впитывания, $m/сут^{-0,5}$, можно вычислить по формуле А. И. Голованова:

$$v_{вп} = At^{-0,5} + k; \quad A = 0,56(h_c + h_r)\sqrt{Ck_w}, \quad (7.17)$$

где A — параметр впитывания; t — время от начала впитывания, сут; k — коэффициент фильтрации, $m \cdot сут^{-1}$; h_c — слой воды на поверхности почвы, м; h_r — глубина грунтовых вод, м; C и k_w — коэффициенты влагоемкости, m^{-1} , и влагопроводности, $m \cdot сут^{-1}$, определяемые по формулам (3.52) и (3.48) по значению расчетной объемной влажности ω_r , учитывающей исходную влажность ω_0 и пористость p : $\omega_r = \omega_0 + 0,65(p - \omega_0)$.

Приведенные формулы используют при расчетах борозд и полос. При этом надо учитывать запаздывание начала впитывания по их длине на время добегаания струи. Баланс воды в полосе шириной $b_{п}$, м, при подаче в нее расхода Q , $m^3/сут$, на момент времени t , сут, считая от начала полива, можно записать в интегральной форме:

$$Qt = b_{п} h_{п} \int_0^t v(t) dt + b_{п} \int_0^t \int_0^t v(\tau) v_{вп}(t - \tau) d\tau dt. \quad (7.18)$$

В этом уравнении слева — объем поданной воды; справа первое слагаемое — объем воды на образование постоянного по длине

полосы слоя воды h_c , м, на поверхности полосы, $v(t)$ — неизвестная скорость движения «лба» струи, м/сут; второе слагаемое — объем впитавшейся воды, например, описываемый зависимостью (7.16) или (7.17). Здесь учтено запаздывание начала впитывания, которое в каждой точке начинается спустя время τ , т. е. после добега струи в эту точку. Продолжительность впитывания $t_{вп} = t - \tau(x)$, x — расстояние от начала полосы, при $x = 0$ $t_{вп} = t$, а на фронте струи $t_{вп} = 0$. Пренебрегая объемом воды на создание слоя воды на полосе ($h_c = 0$), дифференцируя уравнение (7.18) по t и принимая закон впитывания по формуле (7.16), а v_0 в м/сут, получаем интегриродифференциальное уравнение

$$\frac{Q}{v_0 b_n} = \int_0^t v(\tau)(t - \tau)^{\alpha} d\tau, \quad (7.19)$$

которое имеет решение

$$v = \frac{Q}{v_0 b_n} \frac{\sin(\alpha\pi)}{\alpha\pi} t^{\alpha-1}. \quad (7.20)$$

Проинтегрировав выражение (2.14), получим длину добега струи

$$x_{доб} = \int_0^t v dt = \frac{Q}{v_0 b_n} \frac{\sin(\alpha\pi)}{\alpha\pi} t^{\alpha}; \quad \text{при } \alpha = 0,5 \quad x_{доб} = 0,636 \frac{Q}{v_0 b_n} \sqrt{t}. \quad (7.21)$$

По этим выражениям можно определить длину полосы L_n , которую можно полить расходом Q за время t без сброса ($L_n = x_{доб}$), поливная норма при этом составит $m = Qt/(L_n b_n)$. Для расчета поливных борозд в эти формулы вводят эмпирические коэффициенты, учитывающие боковое растекание при впитывании и переменный во времени смоченный периметр.

Длины борозд и полос, ширина полос, площади чеков, расходы воды, подаваемой в них, влияют на производительность труда поливальщиков. Так, сменная производительность поливальщика на поливе по бороздам составляет 0,3...0,4 га при длине борозды 70...100 м и 2...4 га — 300...400 м, при поливе по полосам — 6...8 га, при поливе затоплением — 8...25 га. Увеличение расходов воды сокращает время полива и соответственно повышает производительность труда, но ограничено экологическими требованиями. Увеличение длины борозд и полос, ширины полос и площади чеков возможно лишь за счет планировки поверхности земли, выравнивания ее и придания требуемого уклона путем срезок и под-

сыпок почвы. Такие работы существенно нарушают почвенный покров и снижают плодородие почв. Обоснование объема планировочных работ должно учитывать экологические требования по сохранению почвенного покрова и включать экономическое сравнение полученного эффекта от повышения производительности труда с затратами на мероприятия по восстановлению почвенного плодородия и ущербами от недобора продукции. При этом надо также учитывать, что при длинных бороздах или полосах неравномерность увлажнения почвы возрастает по их длине, приводя к перерасходу воды, увеличению глубинных сбросов и, как следствие, к подъему уровня грунтовых вод.

Увеличение подачи воды в борозды, полосы, чеки создает опасность размыва почв, поэтому оно возможно только в пределах допустимых скоростей воды. Кроме того, повышение подаваемых расходов увеличивает непроизводительные сбросы поливной воды в конце борозд и полос.

Для сокращения ручного труда и автоматизации поверхностного полива применяют различные приспособления (щитки, сифоны, поливные трубки и др.), передвижные поливные трубопроводы с автоматизированными водовыпусками, поливные агрегаты, включающие передвижную насосную станцию и комплект поливных трубопроводов на базе трактора.

Достоинства поверхностного самотечного способа полива — большой опыт, накопленный с древних времен, небольшие энергетические затраты на выполнение поливных работ. Недостатки поверхностного способа полива: большие затраты ручного труда, трудоемкость работ, низкая производительность труда, необходимость значительных объемов планировочных работ, неравномерность полива по площади и глубине, существенные потери воды на поверхностные и глубинные сбросы, трудности механизации и автоматизации работ, регулирования поливных норм, невозможность частых поливов малыми поливными нормами, опасность эрозии почв. Поверхностное орошение по сравнению с другими способами полива негативно влияет на почвы (эрозия, вымыв питательных веществ), грунтовые воды (повышение их уровня, загрязнение агрохимикатами), поверхностные воды (загрязнение сбросами поливных вод с полей).

Поверхностный полив применяют в основном в засушливой зоне с высокими дефицитами водного баланса почв, где орошение сельскохозяйственных культур требует больших поливных норм (600...1200 м³/га).

Полив дождеванием заключается в разбрызгивании воды над поверхностью земли и образовании искусственного дождя. При этом увлажняются почва, надземные части растений и приземный слой воздуха. Для образования дождя используют

дождевальные устройства — насадки и аппараты. Дождевальные насадки — это короткоструйные устройства, охватывающие дождем всю площадь одновременного полива. По конструкции они бывают дефлекторными (рис. 7.10), спиральными, щелевыми и др., кругового и секторного полива. Для работы насадок требуются напоры воды $H = 10 \dots 20$ м, расходы $Q = 2 \dots 10$ л/с. Радиусы полива $R = 5 \dots 15$ м. Короткоструйные дождевальные насадки применяют на дождевальных машинах, работающих в движении, или устанавливают на трубопроводах оросительной сети для полива газонов, клумб, а также в теплицах и оранжереях.

Дождевальные аппараты являются струйными устройствами, работающими в движении по кругу или сектору (рис. 7.11). Они образуют струю воды, которая движется по кругу, постепенно поливая площадь круга или сектора. Аппараты бывают среднеструйные ($R = 20 \dots 50$ м, $Q = 1,2 \dots 5$ л/с, $H = 20 \dots 50$ м) и дальнеструйные ($R = 50 \dots 80$ м, $Q = 20 \dots 100$ л/с, $H = 50 \dots 80$ м). Дождевальные аппараты устанавливают как непосредственно на трубопроводах оросительной сети, так и на дождевальных машинах.

Качество дождя, создаваемого дождевальными устройствами, оценивают крупностью капель и интенсивностью дождя. Капли дождя должны быть не крупнее 2 мм, иначе они повреждают растения и разрушают структуру почвы.

Интенсивностью дождя называют слой дождя, выпадающего в единицу времени, который измеряют в мм/мин или в м/ч:

$$e_d = Q/F,$$

где F — площадь одновременного охвата дождем.

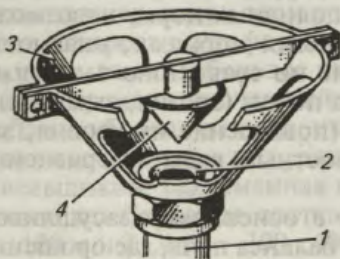


Рис. 7.10. Дефлекторная насадка:

1 — присоединительное устройство; 2 — сопло; 3 — направляющая стенка; 4 — дефлектор — рассеиватель струи

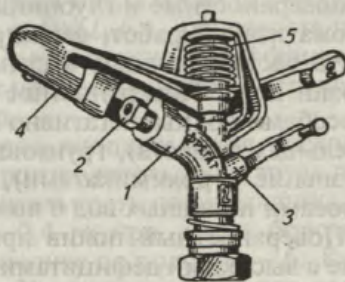


Рис. 7.11. Струйный дождевальный аппарат:

1 — ствол; 2 — сопло; 3 — вспомогательное сопло; 4 — коромысло; 5 — возвратная пружина

Интенсивность дождя не должна превышать скорость впитывания воды в почву в течение всего полива, иначе образуются лужи, поверхностный сток и создается опасность эрозии почв. Так, максимально допустимая интенсивность дождя, мм/мин, составляет на слабопроницаемых глинистых почвах $0,1...0,2$, на среднепроницаемых суглинистых — $0,2...0,3$, на почвах хорошей проницаемости (песчаных, супесчаных) — $0,5...1$.

Для полива созданы дождевальные установки, машины, агрегаты, на которых используют различные насадки и аппараты. Установки получают воду под напором из оросительной сети и не имеют устройств для передвижения по поливаемой площади. Машины также поливают от напора в сети, но имеют свой привод для передвижения. Агрегаты имеют автономное насосно-силовое оборудование и привод для передвижения. Понятия «установка», «машина», «агрегат» часто для краткости объединяют одним — «дождевальная машина».

Дождевальные машины отличаются по конструкции, характеристикам, способу передвижения, типу оросительной сети, степени автоматизации полива и по другим показателям. Выбирают дождевальную машину для полива конкретного участка с учетом природных, хозяйственных и экономических условий. Для этого проверяют возможности применения различных машин:

по допустимым скоростям ветра для короткоструйных, средне-струйных и дальнеструйных дождевальных устройств (из-за нарушения равномерности распределения дождя по площади захвата);

допустимым уклоном поверхности земли, которые ограничены конструкциями машин и типом оросительной сети (трубчатая или открытая);

водопроницаемости почвы: для позиционных машин интенсивность дождя должна быть меньше скорости впитывания воды в почву — $e_d < v_{вп}$, а поливная норма не должна превышать так называемую «достоковую норму»: $m_{дст} = e_d t_{ст}$, при которой начинается поверхностный сток; скорость машин, работающих в движении, должна быть такой, чтобы слой поданной воды не превышал слоя впитывания за время полива: $h_{дст} < h_{вп}$; для машин, подающих поливную норму за несколько проходов, слой дождя за один проход не должен превышать слой впитывания за время одного прохода;

виду поливаемых растений, в основном по их высоте, которую сравнивают с возможностями машины;

площади, конфигурации и размерам полей, которые должны быть согласованы с длиной и шириной захвата дождевальной машины;

стоимости машин и оросительной сети, затратам энергии, наличию подготовленных кадров для эксплуатации машин, наличию в хозяйстве другой дождевальной техники.

Рассчитывая достокую поливную норму при дождевании, следует учитывать отличие впитывания воды в почву при наличии слоя воды на ее поверхности и при дождевании. Почва, особенно ее поверхностные слои, обладает сложной структурой порового пространства: наличием микро- и макроагрегатов, мелких внутриагрегатных и крупных межагрегатных пор, трещин, ходов червей, каналцев, оставшихся после разложения корней, и т. п. Межагрегатные поры, трещины и другие образования служат крупными каналами, по которым вода, находящаяся на поверхности почвы, фактически проваливается до плотных горизонтов. Поэтому опыты по определению водопроницаемости почвы, основанные на создании слоя воды (наливы), всегда дают большие значения скорости впитывания.

При дождевании вода передвигается преимущественно внутри микроагрегатов, так как они вносят основной вклад в общую пористость; интенсивность впитывания определяется внутриагрегатным коэффициентом фильтрации $k_{ва}$ и может быть в 3...10 раз меньше осредненной водопроницаемости, полученной при наливах. Внутриагрегатный коэффициент фильтрации определить в поле гораздо труднее, для этого надо моделировать дождевание разной интенсивности и регистрировать время появления слоя воды на поверхности почвы или применять вакуумные инфильтрометры, в которых вода из-за разрежения может впитываться только в мелкопористые микроагрегаты. При известном $k_{ва}$ достокую поливную норму при дождевании можно определить по формулам А. И. Голованова:

$$m_{дст} = e_d t_{ст}; \quad t_{ст} = \frac{0,785 \psi_0^2}{\lambda (e_d / k_{\omega} - 1)^2}; \quad \psi_0 = -\mu h_k \ln \left(\frac{p - \omega_m}{\omega_0 - \omega_m} \right), \quad (7.22)$$

где $t_{ст}$ — время образования слоя воды на поверхности и наступления стока; ψ_0 — капиллярный потенциал перед дождеванием, $\psi_0 < 0$ [см. формулу (3.50)] при $n = 1$, соответствующий влажности почвы у поверхности перед началом полива ω_0 ; λ — относительная влагопроводность, $\lambda = k_{\omega} / C$; k_{ω} — коэффициент влагопроводности, который вычисляют по формуле (3.48), подставляя в нее значения внутриагрегатного коэффициента фильтрации $k_{ва}$; C — коэффициент влагоемкости почвы [см. формулы (3.51) и (3.52)]; k_{ω} и C вычисляются по расчетной влажности, как в формуле (7.17); μ — безразмерный эмпирический коэффициент; h_k — высота капиллярного поднятия; ω_m — влажность почвы при максимальной молекулярной влагоемкости.

В этих формулах величины имеют размерность м или м/сут. Формулы пригодны при $e_d / k_{\omega} > 1$, в противном случае при относительно малой интенсивности дождя теоретически поверхностного стока нет. Зависимости достокowych поливных норм от внут-

риагрегатного коэффициента фильтрации и интенсивности дождя показаны на рисунке 7.12.

Таким образом, дождевальную технику для полива конкретного участка выбирают на основе анализа экологических и экономических условий. Достоинства полива дождеванием: сохранение структуры почвы, возможность частых поливов малыми поливными нормами, снижение глубинной фильтрации поливной воды, равномерность полива по площади, увлажнение воздуха и самих растений, механизация и автоматизация полива, повышение производительности труда, снижение требований к планировке поверхности земли, повышение коэффициента земельного использования, высокие коэффициенты полезного действия закрытой сети, отсутствие препятствий для механизированных сельскохозяйственных работ, возможность внесения удобрений с поливной водой.

Недостатки дождевания: потребность в дорогостоящих машинах и заводах-изготовителях техники, электроэнергии и топливосмазочных материалов, квалифицированном обслуживающем персонале; высокая стоимость закрытой трубчатой сети, влияние ветра на качество полива, необходимость очистки воды от наносов.

Дождевание применяют в зонах достаточного и неустойчивого увлажнения, где орошение является дополнением к естественным осадкам, на землях с неоднородным рельефом и сложным микро-рельефом, при малых глубинах пресных грунтовых вод, при про-

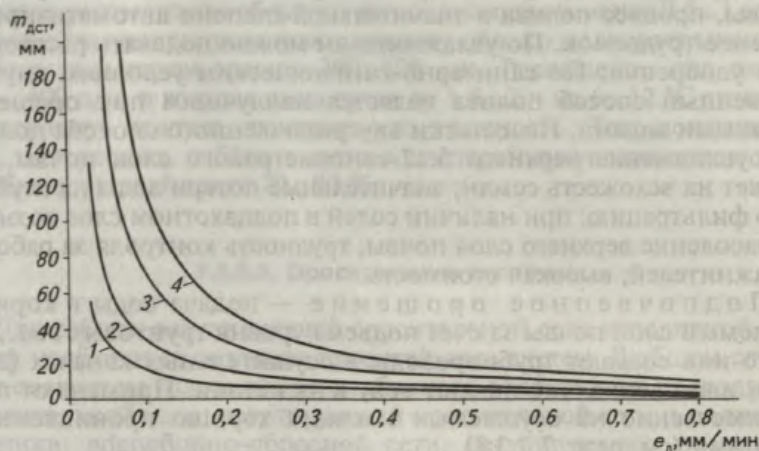


Рис. 7.12. Зависимости достоевых поливных норм $m_{дст}$ от внутриагрегатного коэффициента фильтрации $k_{вд}$ и интенсивности дождя $e_{д}$:

1 — $k_{вд} = 0,05$ м/сут; 2 — 0,1; 3 — 0,2; 4 — 0,3 м/сут

садовых грунтах, при орошении культурных пастбищ, при необходимости частых поливов малыми поливными нормами.

При внутрипочвенном способе полива воду подают непосредственно в корнеобитаемую зону по внутрипочвенным увлажнителям и она поступает в почву за счет ее всасывающей силы или под небольшим напором (до 1 м). В увлажнители вода поступает из трубопроводов или каналов. Внутрипочвенные увлажнители устраивают постоянными или временными, а по конструкции — трубчатыми или кротовыми.

Постоянные трубчатые увлажнители выполняют из пористых труб, перфорированных пластмассовых или коротких гончарных трубок с зазорами в стыках. Глубина их укладки — 0,4...0,5 м, расстояния между увлажнителями — 0,7...2 м в зависимости от свойств почвы и вида растений, диаметр — 50...75 мм, длина — 50...200 м, уклон — 0,002...0,004. Временные увлажнители устраивают из микропористых полиэтиленовых трубок диаметром 16...20 мм, длиной до 100 м, которые прокладывают на глубине 15...30 см с расстоянием 0,3...0,5 м перед посевом на один сезон.

Кротовые увлажнители представляют собой цилиндрические полости в связном грунте, выполненные кротовыми машинами. Они имеют диаметр 30...50 мм, глубину 0,4...0,5 м, расстояние 0,7...2 м, уклон 0,002...0,004, длину 50...200 м.

Внутрипочвенный способ полива сохраняет структуру почвы, благоприятный воздушный режим, уменьшает число обработок почвы, процесс полива в значительной степени автоматизирован и менее трудоемок. По увлажнителям можно подавать растворенные удобрения. По санитарно-гигиеническим условиям внутрипочвенный способ полива является наилучшим при орошении сточными водами. Недостатки внутрипочвенного способа полива: недоувлажнение верхнего 5...7-сантиметрового слоя почвы, что влияет на всхожесть семян; значительные потери воды на глубинную фильтрацию; при наличии солей в подпахотном слое возможно засоление верхнего слоя почвы; трудность контроля за работой увлажнителей; высокая стоимость.

Подпочвенное орошение — подача воды в корнеобитаемый слой почвы за счет подъема уровня грунтовых вод. Для этого или создают трубопроводы в осушительных каналах (дренах), или специально подают воду в их истоки. Применяют преимущественно на осушаемых землях с хорошо проницаемыми грунтами (см. разд. 7.3.3.8).

Капельный способ полива — индивидуальная подача воды растениям (как правило, плодовым деревьям и ягодным кустарникам) малым расходом в соответствии с их водопотреблением. Воду подают от насосной станции под напором по системе трубо-

проводов в поливные трубопроводы с капельницами. Поливные трубопроводы укладывают вдоль рядов растений, на которых устанавливают 1...4 капельницы на одно растение. Капельницы — устройства для равномерной подачи малых расходов воды (1...9 л/ч), суточная норма полива составляет 16...40 м³/га, ордината гидромодуля равна 0,25...0,3 л/(с · га). Разработано много различных конструкций капельниц.

Достоинства капельного орошения: соответствие режима орошения режиму водопотребления, сохранение структуры и воздушного режима почвы, отсутствие потерь воды на фильтрацию и испарение из сети, нет увлажнения почвы между растениями, экономия 30...50 % воды, отсутствие опасности подъема грунтовых вод и засоления почв, автоматизация полива.

Недостатки: повышенные требования к качеству воды, несовершенство капельниц, высокая стоимость системы, помехи для сельскохозяйственных работ, возможность полива только отдельных культур (плодовых, виноградников, кустарниковых).

Капельное орошение применяют во многих странах мира, расположенных в засушливой зоне, при дефиците водных ресурсов, наличии энергии, выращивании ценных культур, высоком уровне агротехники. Капельный полив часто используют в теплицах, оранжереях.

Дополнением к перечисленным способам полива могут служить дисперсное и аэрозольное увлажнение, применяемые для регулирования микроклимата над полем или в помещениях теплиц. Дисперсные распылители образуют капли диаметром менее 0,5...1 мм, а туманообразующие установки создают облако мелкораспыленной воды с диаметром капель 300...500 мк. Распыление над полем 100...400 л/га в жаркие часы суток за 1,5...2 ч на 6...12 °С снижает температуру воздуха, повышая его влажность. Так, дождевание чая, citrusовых, табака вместе с дисперсным увлажнением дает прибавку урожайности 70...80 %.

7.3.2.3. Оросительные системы

Для работы регулирующей оросительной сети и поливной техники необходимо создание оросительных систем. В общем случае они состоят из головного водозаборного сооружения; проводящей оросительной сети; регулирующей оросительной сети и поливной техники; водосборно-сбросной сети; регулирующей, ограждающей и проводящей осушительной сети; дорожной сети; гидротехнических сооружений; лесных полос и насаждений; средств контроля мелиоративного режима земель, управления и связи; объектов сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения, энерге-

тического назначения; производственных и жилых зданий и построек службы эксплуатации.

Оросительную систему привязывают к источнику воды, который в принципе не входит в ее состав, хотя для орошения небольших участков можно сооружать свои источники в виде небольших водохранилищ, прудов, копаней. Источники воды для орошения и головные водозаборные сооружения рассмотрены в разделе 7.3.2.5.

Оросительная сеть. Ее разделяют на проводящую и регулирующую.

Проводящая оросительная сеть. Она служит для подачи воды от головного водозаборного сооружения на источнике орошения к регулирующей оросительной сети и элементам техники полива. К ней предъявляют требования достаточной пропускной способности, надежности и долговечности. Ее расположение на территории увязывают с границами, коммуникациями, рельефом. Оросительная сеть должна по возможности иметь наименьшую протяженность, стоимость, учитывать потребности в воде других отраслей хозяйства (энергетика, рыбоводство, судоходство, водоснабжение, промышленность).

Расположение оросительной сети на плане зависит от организации территории, рельефа местности, типа сети, расположения регулирующей сети и техники полива.

Под *организацией территории* понимают расположение постоянных границ хозяйств, усадеб, севооборотных участков, полей, садов, виноградников и других участков. Границы целесообразно намечать прямолинейными, создавать правильную конфигурацию участков. Это ухудшает общий вид местности, так как исключает характерные для природы разнообразие, гармоничность, естественную красоту, но продиктовано требованиями эксплуатации земель, производства механизированных работ, прямолинейности и минимальной протяженности линейных сооружений и коммуникаций.

Орошаемые земли разбивают на севооборотные участки, отдельные посевные участки, многолетние насаждения (сады, виноградники, ягодники), прочие угодья. Площади севооборотных участков составляют 250...1500 га, число полей — 3...10, площади полей — 25...100 га и более. В крестьянских (фермерских) хозяйствах площади обычно бывают меньше. Для севооборотных участков и полей на орошаемых землях при самотечном поливе необходим однородный уклон (в одну сторону без перегибов, лощин, оврагов, холмов). При крупногабаритной и широкозахватной сельскохозяйственной технике стороны поля должны быть не короче 400...500 м. Для малогабаритной техники размеры обрабатываемых участков должны обеспечивать достаточную длину гона ма-

шин, их высокую производительность. При поливе дождеванием размеры сторон поля согласовывают с длиной и шириной захвата дождевальной машины.

По намеченным постоянным границам проектируют оросительную сеть, дороги, лесополосы, линии связи и другие коммуникации, для которых отводят полосы отчуждений. Площади полос отчуждений сокращают полезную площадь посевов и насаждений, поэтому целесообразно принимать максимально возможные по условиям рельефа площади полей. При этом уменьшается площадь полос отчуждений и повышается производительность техники. Полезное использование площади оценивают коэффициентом земельного использования

$$КЗИ = F_{нт}/F_{бр},$$

где $F_{нт}$ — площадь нетто — посевная поливаемая площадь, с которой непосредственно получают урожай; $F_{бр}$ — площадь брутто, включающая площадь нетто и площади полос отчуждений под каналы, дороги, лесополосы, сооружения.

На землях усадьбы поливная площадь включает огороды и сады, парки, скверы и зеленые насаждения, прифермские кормовые участки и другие поливные угодья. В среднем для севооборотных участков $КЗИ$ составляет 0,85...0,92, для усадьб — 0,50...0,75.

В границах сельскохозяйственного предприятия (на его валовой площади) кроме орошаемых земель имеются неорошаемые, неиспользуемые и непригодные к использованию земли.

По конструкции элементов проводящей оросительной сети различают открытую, трубчатую и комбинированную сеть.

Открытая проводящая сеть состоит из каналов различных конструкций: в земляном, облицованном, экранированном русле, лотковых. Особенность открытой сети — необходимость положительных уклонов по трассам каналов и командование (превышение) старших каналов над младшими. При поверхностном самоотечном способе полива необходимо также командование уровня воды в канале над поверхностью земли.

Открытая проводящая оросительная сеть бывает постоянной и временной. **Постоянная сеть** проходит по постоянным границам угодий, а на полях проектируют временную сеть, которая не мешает сельскохозяйственным работам. Постоянная проводящая сеть включает магистральный канал, межхозяйственные и внутрихозяйственные распределители различных порядков, усадебные каналы. Все каналы проектируют по командующим (вышерасположенным) границам обслуживаемых площадей, с положительным уклоном по трассе, минимально возможной протяженности. Пример расположения открытой сети показан на рисунке 7.13.

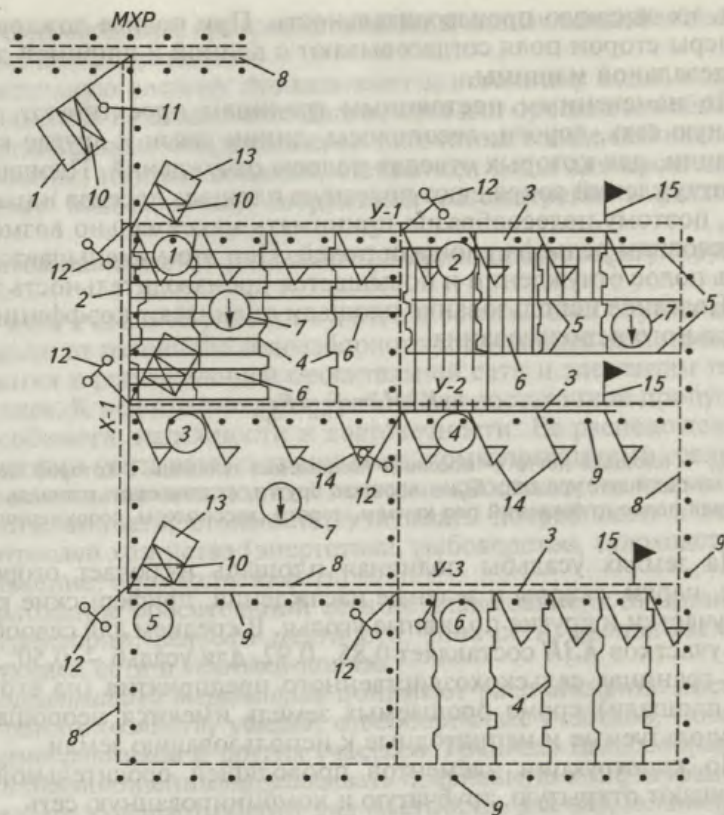


Рис. 7.13. Пример расположения открытой оросительной сети на севооборотном участке:

1 — водозаборное сооружение из хозяйственного распределителя; 2 — севооборотный канал; 3 — участковые каналы; 4 — временные оросители; 5 — выводные борозды; 6 — поливные борозды или полосы; 7 — направление поверхностного полива; 8 — дороги; 9 — лесополосы; 10 — подпорное сооружение; 11 — водомер; 12 — трубчатый переезд; 13, 14 — водовыпуски в участковый канал и во временный ороситель; 15 — конечное сбросное сооружение; ①...⑥ — поля севооборота; MXP — межхозяйственный распределитель

Временная сеть на поле состоит из временных оросителей и выводных борозд, которые устраивают с такими расстояниями, чтобы обеспечить подачу воды в регулирующую сеть (борозды и полосы расчетной длины) или к дождевальной технике. Временная сеть показана на полях 1 и 2 для поверхностного способа полива, на поле 3 — для полива дождевальными машинами типа ДДА или ДДН (см. рис. 7.13).

Некоторые особенности в пределах поля имеет открытая оросительная сеть на рисовых системах в связи с подачей больших расходов воды в рисовые чеки.

Достоинства открытой проводящей сети: самотечная подача воды по сети; доступность для наблюдений, обслуживания, ремонта; меньшая стоимость по сравнению с другими типами сети. Недостатки: снижение коэффициента земельного использования из-за отчуждения площадей под каналы и вдоль них; строгие требования к рельефу и уклонам местности; потери воды на фильтрацию и испарение; трудности автоматизации управления работой сети.

Каналы являются препятствием при изменении границ угодий, устройстве транспортных и других коммуникаций. В то же время они улучшают безводный однообразный ландшафт, способствуют обводнению и озеленению территории, улучшая условия жизни населения. При проектировании крупных оросительных каналов учитывают потребности различных отраслей хозяйства и социальные нужды населения: водный транспорт, рыбоводство, местная промышленность, сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение, энергетика, здравоохранение, хозяйственные нужды.

Трубчатая проводящая оросительная сеть состоит из трубопроводов различных порядков: магистральный (или главный), распределительные, поливные. Трубчатая сеть бывает стационарной, передвижной и полустационарной.

Стационарная трубчатая сеть состоит из подземных трубопроводов. Это наиболее совершенная сеть, обеспечивающая полную автоматизацию управления, максимальный коэффициент земельного использования, отсутствие потерь воды и препятствий использованию земли. Стационарная трубчатая сеть требует высоких капиталовложений, но эксплуатационные затраты минимальны. Подземные трубопроводы не нарушают природных ландшафтов и не занимают площадь, однако вдоль них нужны дороги для строительства и ремонта трубопроводов, поэтому их обычно проектируют, как и каналы, по постоянным границам угодий. Поливные трубопроводы с гидрантами-водовыпусками проектируют на полях с расстояниями, зависящими от параметров регулирующей сети и техники полива.

Передвижная трубчатая сеть состоит из разборных трубопроводов, которые можно собирать, разбирать, перемещать с участка на участок. Эти трубопроводы монтируют на поверхности земли. Передвижную сеть целесообразно применять в зонах достаточного и неустойчивого естественного увлажнения, где орошение является дополнением к осадкам, поливы редки и нужны не для всех культур и не каждый год. Передвижная сеть наиболее дешева, но требует существенных затрат труда при эксплуатации.

Полустационарная трубчатая сеть состоит из подземных стационарных и наземных передвижных трубопроводов. Обычно передвижными устраивают трубопроводы младшего порядка. Это позволяет увеличить расстояния между дорогами подземными трубопроводами, уменьшить их протяженность и снизить стоимость сети.

Расположение трубчатой сети увязывают с организацией территории, требованиями регулирующей сети и техники полива, а также с экономическими условиями наименьшей протяженности, минимальных диаметров труб, наименьших потерь напора при подаче воды. Примеры расположения трубчатой сети при поверхностном поливе, дождевании, капельном поливе и при орошении культурного пастбища показаны на рисунке 7.14.

Комбинированная проводящая сеть включает элементы различных конструкций, каналы и трубопроводы. Ее проектируют на площадях с разнообразными природными и хозяйственными условиями, разными способами полива. Сочетание способов полива и конструкций сети позволяет полнее учесть рельеф местности,

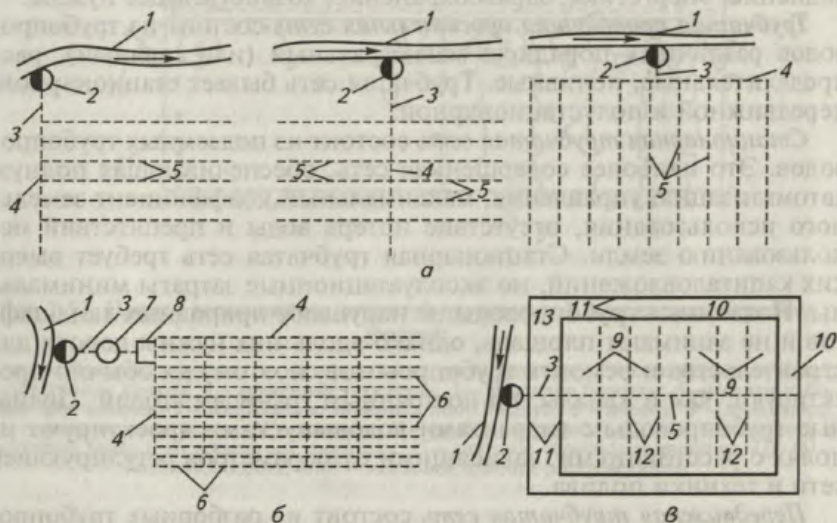


Рис. 7.14. Примеры расположения трубчатой сети при поливе дождеванием (а), капельном (б), культурного пастбища (в):

1 — источник орошения; 2 — насосная станция; 3 и 4 — главный и распределительный трубопроводы; 5 — поливные трубопроводы с гидрантами для дождевательной машины; 6 — поливной трубопровод с капельницами; 7 — фильтры для очистки воды; 8 — контрольно-измерительный узел; 9 — загоны пастбища; 10 — скотопрогон; 11, 12 — постоянные и временные изгороди; 13 — площадка для отдыха скота

почвы, виды сельскохозяйственных культур, размеры полей и другие условия.

Регулирующая оросительная сеть и техника полива (см. разд. 7.3.2.2). При поверхностном поливе регулирующими элементами полива являются поливные борозды, полосы, чеки, при подпочвенном орошении — подпочвенные увлажнители. При дождевании техника полива представлена различными дождевальными устройствами, при капельном орошении — капельницами.

Водосборно-сбросная сеть. Она служит для организованного сбора и отвода с полей излишков поверхностных вод, образующихся от осадков, оросительных вод при опорожнении каналов и трубопроводов, скоплений поливных вод на пониженных участках полей. Обычно такие воды собирают и отводят полевыми водосборниками по нижним краям полей, участковыми, внутривладельческими и хозяйственными водосбросными каналами. Водосборно-сбросную сеть проектируют по постоянным границам, при возможности совмещая с кюветами дорог, коллекторами, оврагами, лощинами. Целесообразно предусматривать использование сбросных вод на нижерасположенных площадях.

Водоприемник. Это естественные и искусственные водотоки и водоемы, которые проверяют на возможность отвода или аккумуляции расчетных объемов воды. Кроме того, нужно прогнозировать изменения качества воды в водоприемнике под влиянием сбросов и определять необходимость очистки сбросных вод.

Осушительная (дренажная) сеть. На орошаемых землях осушительная сеть рассмотрена в разделе 7.3.2.6.

Дороги. На оросительной системе они служат для строительства и эксплуатации всех элементов системы. По возможности их совмещают с дорогами сельскохозяйственного и другого назначения. Дороги проектируют по постоянным границам, чтобы обеспечить подъезд ко всем объектам и полям.

Гидротехнические сооружения и арматура. На оросительных системах они обеспечивают функционирование и сопряжение отдельных элементов системы. Так, для подачи воды по открытой сети предназначены водовыпуски и перегораживающие сооружения, для освобождения каналов от воды — концевые и сбросные аварийные сооружения. На каналах также устраивают отстойники, бассейны-терморегуляторы, перепады, быстротоки и другие сооружения. При пересечениях каналов с дорогами строят мосты, трубчатые переезды, дюкеры.

Для распределения воды по трубчатой сети сооружают распределительные колодцы с задвижками, для подачи воды в регулируемую сеть и к элементам техники полива устраивают гидранты-

водовыпуски. На трубчатой сети также нужны вантузы для выпуска воздуха из трубопроводов, противоударные устройства для защиты от гидравлического удара, сбросные колодцы для опорожнения трубопроводов, компенсаторы температурных напряжений и другие сооружения. Расположение некоторых сооружений на оросительных системах показано на рисунке 7.13.

Расходы подаваемой воды, скорости, уровни измеряют различными расходомерами, уровнемерами, водосливами и другими устройствами.

Лесные полосы и насаждения. На орошаемых землях они выполняют несколько функций: полезащитную, защитную, водоохранную, озеленительную. Проектируют их вдоль всех постоянных границ угодий, вокруг полей, вдоль оросительных и сбросных каналов, коллекторов, дорог, вокруг прудов и водохранилищ, у насосных станций и гидротехнических сооружений, в населенных пунктах, на неиспользуемых участках.

Полезащитные лесополосы располагают поперек преобладающего направления ветра. Ширину полос, расстояния между ними, состав деревьев и кустарников определяют из условия защиты почв от ветровой эрозии. Расположение лесополос учитывают в организации территории при назначении размеров и границ полей.

Почвозащитные лесополосы служат для защиты почв от водной эрозии и располагают их поперек эрозионно опасных склонов, увязывая с агротехническими и гидротехническими противоэрозионными мероприятиями.

Водоохранные, берегоукрепительные, дренирующие лесополосы располагают вдоль каналов и вокруг водоемов. Лесополосы и зеленые насаждения вдоль дорог, в населенных пунктах, у гидросооружений, на неиспользуемых участках служат для затенения и озеленения. Поливают лесные полосы и насаждения техникой, предусмотренной в проектах систем.

Средства контроля. К ним относят различные приборы и устройства для измерения показателей мелиоративного режима земель: наблюдательные скважины и пьезометры для контроля уровней, напоров, минерализации и химического состава подземных вод, площадки для отбора проб почв для определения водно-физических и физико-химических свойств почв, датчики влажности, влагомеры, солемеры, гидрометрические посты на оросительных и сбросных каналах и коллекторах, метеопосты и другое оборудование.

Средства управления, автоматизации, связи. Они служат для эксплуатации системы, управления ее работой и включают пульты управления, линии связи с датчиками контроля за мелиоративными показателями и гидротехническими сооружениями. Современ-

ные автоматические системы управления оборудуют информационно-советующими и управляющими электронно-вычислительными комплексами, позволяющими поддерживать на оросительных системах оптимальные режимы работы и оперативно учитывать изменения метеоусловий, состояние земель, элементов оросительной системы, организационно-хозяйственные условия.

Объекты энергетического хозяйства. Они входят в состав современных оросительных систем. Электроэнергия на оросительных системах нужна для работы насосных станций, подающих воду в оросительную сеть, создающих напоры для техники полива, откачивающих дренажные воды, для средств автоматического управления сооружениями, для средств связи, для производственных и жилых построек, ремонтных баз, мастерских, гаражей и прочих объектов.

Служба эксплуатации системы управляет работой всех элементов системы, контролирует их состояние, ремонт.

7.3.2.4. Конструкции и расчет оросительной сети

При конструировании оросительной сети определяют: высотное положение элементов по отношению к поверхности земли, форму поперечного сечения каналов, наличие и материал покрытия, экрана или искусственного русла канала, материал труб.

Возможное высотное положение канала по отношению к поверхности земли показано на рисунке 7.15.

Сечение в неглубокой выемке устраивают, когда не требуется командование уровня воды в канале над поверхностью земли. Такие условия бывают на холостых (транзитных, без раздачи воды) участках магистральных и межхозяйственных каналов и на открытой сети при поливе дождеванием. Сечение в полувыемке-полунасыпи устраивают для рабочей части оросительных каналов при поверхностном способе полива, требующем командования уровня воды в канале над поверхностью земли. Сечение в насыпи необходимо для создания командования канала на малоуклонных местностях и при пересечении каналом пологих понижений. Сечение в глубокой выемке характерно для головных участков магистральных каналов и при пересечении каналом небольших возвышенностей, холмов. Канал на косогоре применяют при поперечном уклоне местности. Для повышения устойчивости таких каналов требуется крепление нижней дамбы и перехват поверхностных вод с верхнего склона.

Форму поперечного сечения каналов в земляном русле выбирают из условий устойчивости русла, экономичности сечения, возможности механизированного строительства и ремонта (рис. 7.16).

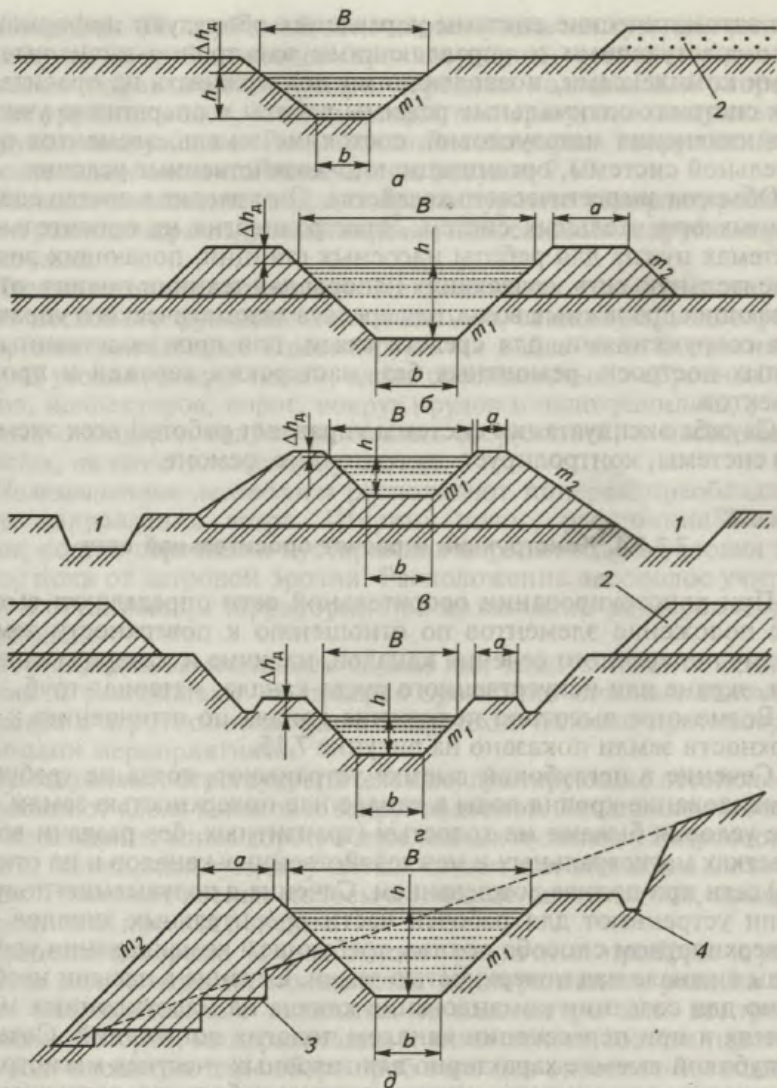


Рис. 7.15. Типовые сечения оросительных каналов:

a — в неглубокой выемке; b — в полувыемке-полунасыпи; $в$ — в насыпи; $г$ — в глубокой выемке; $д$ — канала на косогоре; 1 — резерв; 2 — кавальер; 3 — закрепляющие зубья; 4 — нагорный откос; b и B — ширина канала по дну и по верху; h — глубина воды; m_1, m_2 — заложение откосов; Δh_2 — превышение бровки канала над уровнем воды; a — ширина дамбы по верху

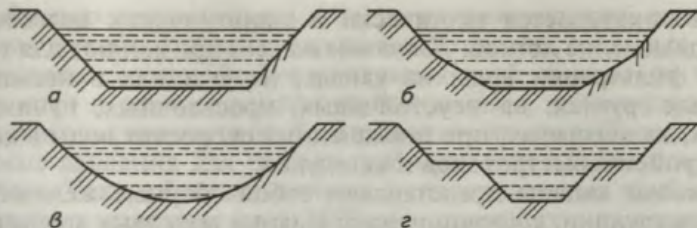


Рис. 7.16. Формы поперечных сечений каналов в земляном русле:

а — трапецеидальное; б — полигональное; в — параболическое; г — сложное

Наиболее распространено трапецеидальное сечение. Для крупных каналов применяют параболические и сложные сечения. В слоистых грунтах возможно полигональное сечение. Для временной сети иногда применяют треугольное сечение.

Каналы в земляном русле имеют наименьшую стоимость строительства, но у них есть существенные недостатки: неустойчивость русла, размывы дна и откосов, обрушения и оползания откосов, большие потери воды на фильтрацию в грунт. Поэтому экономически и экологически целесообразно применять на каналах защитные покрытия и экраны или искусственные русла. *Покрытием, облицовкой, одеждой канала* называют слой защитного материала, уложенного на дно и откосы канала. В зависимости от материала покрытия оно может укреплять русло, снижать фильтрацию воды из канала или выполнять сразу обе функции. *Экраном* называют слой непроницаемого материала, уложенного по периметру сечения под небольшим слоем грунта, защищающего экран. Экраны устраивают для снижения фильтрации воды из канала.

Крепление русла позволяет увеличить скорость течения воды и соответственно уменьшить площадь поперечного сечения канала; сделать откосы более крутыми, уменьшить ширину канала по верху и площадь отчуждений под канал. Для покрытий каналов чаще всего используют монолитный и сборный бетон и железобетон, синтетические пленки, реже — асфальт, асфальтобетон, битум, глинистые грунты, гравийные и щебеночные отсыпки, каменную наброску и мощение, бутовую и кирпичную кладку. Для экранов применяют глинистые грунты, синтетические пленки, асфальтовые и глинистые материалы.

Поперечное сечение облицованных и экранированных каналов выполняют в основном трапецеидальной формы по условиям производства работ. Выбор защитного материала для канала зависит от его стоимости, прочности, долговечности, степени и надежности защиты, наличия местных материалов.

Часто оказывается технически и экономически целесообразным применение лотков. Лотковые каналы применяют для уменьшения фильтрации воды из канала, на участках в насыпи, на скальных грунтах, на неустойчивых, просадочных, пучинистых грунтах, на косогорах, при повышенных скоростях воды в канале, для устройства быстротоков и акведуков.

Лотковые каналы представляют собой сборные железобетонные конструкции, состоящие из отдельных лотковых звеньев длиной 5...8 м, установленных на опорах. Общий вид и примеры поперечных сечений лотковых каналов показаны на рисунке 7.17.

Достоинства лотковой сети: малые потери воды, отсутствие размыва русла и зарастания его, возможность обеспечить командование, промышленные методы строительства. Недостатки: трудности транспортирования лотков, их хрупкость, несовершенство стыков между лотками, отсутствие средств механизации для очистки каналов от наносов.

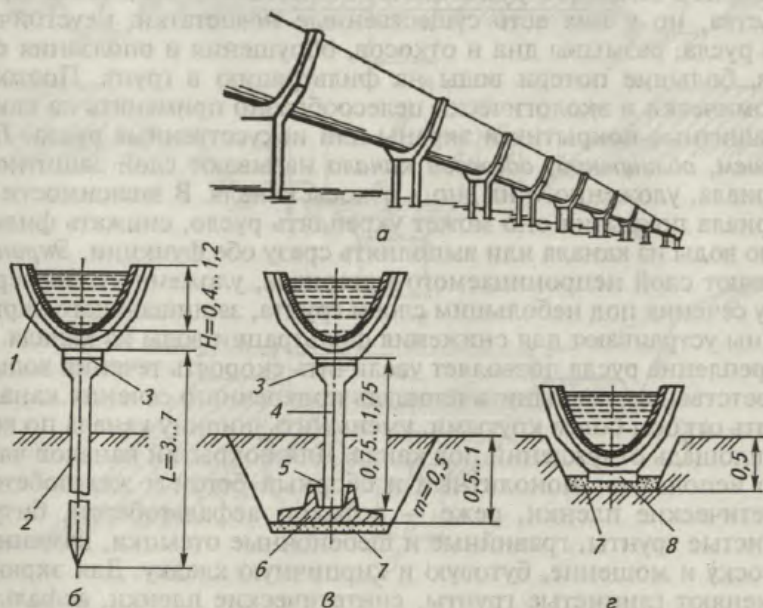


Рис. 7.17. Общий вид и поперечные сечения лотковых каналов на рамных опорах (а), на сваях (б), на стойках (в), на плитах (г) (размеры в м):

1 — лоток; 2 — свая; 3, 5 — цементный раствор; 4 — стойка; 6 — фундаментная плита; 7 — песчано-гравийная подготовка; 8 — опорная плита; L — длина свай; H — высота лотка; m — заложение откосов

Трубчатую стационарную сеть устраивают из труб различных материалов: асбестоцементных, железобетонных, стальных, чугунных, пластмассовых. Выбор материала труб зависит от напора воды в сети и режима работы трубопроводов, района строительства, грунтов, стоимости труб, сложности монтажа. Предельно допустимые давления для разных труб приводят в каталогах, справочниках. Так, асбестоцементные и пластмассовые трубы могут выдерживать давление до 1 МПа, их применяют при напорах в сети до 100 м, при более высоких напорах — железобетонные (на давление до 2 МПа), стальные (до 2,4 МПа), чугунные (до 1,6 МПа). На просадочных, пучинистых и других неустойчивых грунтах, а также в районах сейсмической опасности укладывают только металлические трубы.

По стоимости наиболее дешевы асбестоцементные и железобетонные трубы. Их широко применяют на оросительных системах. Все чаще используют железобетонные трубы со стальным сердечником и тонкостенные стальные трубы с различными антикоррозионными покрытиями. Пластмассовые трубы в наибольшей степени отвечают требованиям оросительных сетей, так как они прочны, долговечны, легки, не подвержены коррозии, имеют малые гидравлические сопротивления. Глубина укладки стационарной сети зависит от промерзания грунтов и сохранности труб при пеездах техникой.

Передвижную сеть монтируют на поверхности земли из облегченных труб с быстроразборными соединениями. Материал гибких переносных труб — капрон, полиэтилен, прорезиненная ткань. Для жестких передвижных трубопроводов применяют асбестоцементные, алюминиевые, тонкостенные стальные трубы.

Размеры конструктивных элементов оросительной сети, скорости, напоры, уклоны определяют из условий обеспечения требуемой пропускной способности, командования на всех водовыпусках, устойчивости и надежности, соответствия параметрам строительных машин и механизмов, возможности автоматизации управления работой сети. Для проведения соответствующих расчетов необходимо определить расходы воды, подаваемой в каждый элемент сети, которые называют расходами брутто $Q_{бр}$, они учитывают как потребности орошаемых сельскохозяйственных культур в воде (расход нетто $Q_{нт}$), так и потери воды в процессе ее подачи по сети $Q_{пот}$:

$$Q_{бр} = Q_{нт} + Q_{пот} \quad (7.23)$$

Основой для определения расходов нетто оросительной сети при поверхностном способе полива является график гидромодуля, построенный в результате разработки режима орошения сельско-

хозяйственных культур (см. разд. 7.3.2.1). По максимальной и минимальной ординатам графика гидро модуля находят максимальный и минимальный расходы нетто в канале, обслуживающем орошаемый участок, для которого составлен график гидро модуля (севооборотный, усадебный, сад, виноградник и др.). Например, для севооборотного канала

$$Q_{\text{нт}}^{\max} = q_{\max} F_{\text{нт}}; Q_{\text{нт}}^{\min} = q_{\min} F_{\text{нт}}, \quad (7.24)$$

где $F_{\text{нт}}$ — площадь нетто севооборотного участка.

Аналогично вычисляют расходы для усадебного и других каналов.

На крупных каналах кроме орошения могут быть и другие потребители воды, тогда соответственно учитывают подаваемые им расходы воды. Перечисленные выше каналы постоянно действуют в течение поливного сезона. Младшие каналы и трубопроводы обычно работают периодически в соответствии с графиком поливов отдельных полей. Расходы старших каналов распределяют на младшие каналы так, чтобы соблюдались сроки и продолжительность поливов, обеспечивалась работа поливной техники, выполнялись технологии поливов, допускались своевременные послеполивные обработки почвы и сельскохозяйственные работы.

При поливе дождеванием расход нетто на севооборотный участок определяют по числу одновременно работающих дождевальных машин. Расходы воды в распределительном трубопроводе, подающем воду к полям, обычно изменяются по участкам трубопровода, и определяют их в случае неблагоприятного расположения машин на участке. Расходы воды в поливных трубопроводах, проходящих по полям, из экономических соображений обычно принимают минимально возможными.

Потери воды из оросительной сети происходят на испарение, фильтрацию в грунт и различные эксплуатационные утечки. Потери на испарение и утечки составляют 4...8 % суммарных потерь, что находится в пределах точности определения потерь, и обычно их не учитывают. В трубопроводах нет потерь воды на испарение и фильтрацию, поэтому для трубчатой сети принимают запас (1...3 %) на случайные утечки.

В каналах основной объем потерь воды идет на фильтрацию в грунт через дно и откосы канала. Фильтрационные потери зависят от водопроницаемости грунта, размеров и формы поперечного сечения канала, расхода воды в нем, глубины уровня грунтовых вод или водоупора под каналом. Расчетные формулы для определения фильтрационных потерь на единицу длины канала приведены в справочной литературе.

Потери оросительной воды снижают эффективность использования водных ресурсов. Полезное использование воды оценивают коэффициентом полезного действия оросительной сети (КПД):

$$\eta = Q_{\text{нт}}/Q_{\text{бр}}. \quad (7.25)$$

В $Q_{\text{бр}}$ должны быть учтены потери воды во всех одновременно действующих элементах сети.

Для отдельных элементов сети КПД составляет: для временных оросителей — 0,95...0,96; для выводных борозд и передвижных трубопроводов — 1; для стационарных трубопроводов — 0,98...0,99; для младших внутрихозяйственных (участковых) каналов в бетонированном русле — 0,97...0,98; в земляном русле — 0,9...0,92; для лотковых каналов на 1 км длины — 0,98...0,99. Для оросительной сети, состоящей из элементов разного порядка, КПД равен произведению КПД составляющих элементов.

В зависимости от протяженности для открытой сети с противофильтрационными мероприятиями ориентировочно КПД = 0,8...0,85, для трубчатой сети — 0,96...0,97.

Максимальный расход воды, на который надо проектировать головное водозаборное сооружение и головной участок магистрального канала:

$$Q_{\text{гол}} = \sum_{i=1}^n q_i^{\text{max}} F_i^{\text{нт}} / \eta_i + q_{\text{ус}} F_{\text{ус}}^{\text{нт}} / \eta_{\text{ус}}, \quad (7.26)$$

где n — число севооборотных участков; i — их номера; q_i^{max} — максимальная ордината укрупненного графика гидромодуля каждого севооборотного участка; $F_i^{\text{нт}}$ — его площадь; η_i — КПД оросительной сети севооборота; $q_{\text{ус}}$ и $F_{\text{ус}}^{\text{нт}}$ — ордината графика гидромодуля и площадь поливных земель усадьбы; $\eta_{\text{ус}}$ — КПД усадебной оросительной сети.

Размеры поперечных сечений элементов оросительной сети определяют гидравлическим расчетом, для чего необходимы: расходы воды, уклоны каналов, отметки поверхности воды в них для обеспечения командования, требуемые напоры на водовыпусках из трубчатой сети, заложение откосов каналов, коэффициенты шероховатости русл и труб.

Для постоянно действующих каналов в земляном и облицованном руслах расчетными расходами воды являются нормальные, форсированные и минимальные. Нормальным называют максимальный расход брутто в начале рассчитываемого канала или участка, полученный исходя из максимальной ординаты графика гидромодуля. По нормальному расходу определяют размеры поперечного сечения, проверяют скорости воды, проектируют вертикальное сопряжение элементов сети.

Форсированный расход

$$Q_{\text{форс}} = Q_{\text{норм}} K_{\text{форс}},$$

где $K_{\text{форс}}$ — коэффициент форсирования (запаса), определяемый нормативами.

По форсированному уровню воды в канале назначают высоту дамбы или глубину каналов.

Минимальным считают расход брутто, полученный расчетом по минимальной ординате графика гидромодуля. По минимальному расходу проверяют условия командования канала на водовыпусках в младшие каналы, если необходимо, устраивают подпорные сооружения.

Для каналов периодического действия расчетными являются нормальные расходы, для всех лотковых каналов — форсированные, для трубопроводов — нормальные.

Расчетные геодезические уклоны для каналов определяют по линии нормального уровня воды в канале. Эту линию проектируют на продольном профиле канала из условия командования на водовыпусках. Превышение уровня воды в старшем канале над уровнем воды в голове младшего канала должно быть не менее потерь напора в водовыпуске.

На водовыпусках из трубчатой сети в открытую регулируемую сеть достаточны свободные напоры 0,3...0,5 м. При поливе дождеванием на гидрантах-водовыпусках требуются напоры, соответствующие техническим характеристикам дождевальных устройств.

Заложение откосов каналов зависит от угла естественного откоса грунтов или прочности покрытия канала, и определяют его по справочникам, нормативам или специальными расчетами. Коэффициент шероховатости влияет на скорости движения воды и потери напора и зависит от материала и состояния русла канала или трубопровода. Значения его приведены в справочниках.

Гидравлические расчеты каналов и трубопроводов проводят по формулам равномерного установившегося движения воды. Скорости течения воды в каналах и трубопроводах должны быть в допустимых пределах: $v_{\text{min}} < v < v_{\text{max}}$. Минимальный предел скорости установлен для предотвращения процессов зарастания и заиления. По условию зарастания русел каналов $v_{\text{min}} = 0,3$ м/с. Предел скорости по условию заиления зависит от крупности наносов, содержащихся в воде. Для определения скорости начала осаждения наносов сравнивают мутность воды (содержание наносов в единице объема воды) и транспортирующую способность потока (количество наносов в единице объема воды, которые может транспортировать поток без их осаждения). Транспортирующую способность потоков определяют по формулам, приведенным в справочниках.

Для каналов минимальная скорость составляет 0,3...0,5 м/с. Для трубопроводов обычно принимается $v_{\min} = 0,8$ м/с.

Максимальную допустимую скорость в земляных руслах принимают из условия неразмываемости грунта. Для различных грунтов эти скорости приведены в справочниках. В облицованных и лотковых каналах максимальная скорость воды ограничена условием спокойного течения на поворотах и водовыпусках, обычно $v_{\max} = 6$ м/с.

В трубопроводах максимальная скорость ограничена опасностью гидравлического удара и допустимыми потерями напора в трубчатой сети. Для обеспечения требуемых напоров на водовыпусках определяют необходимый напор в начале сети

$$H = H_{\text{св}} + H_{\text{геод}} + \Sigma h_{\text{пот}}, \quad (7.27)$$

где $H_{\text{св}}$ — свободный напор на расчетном гидранте-водовыпуске; $H_{\text{геод}}$ — геодезическое превышение, т. е. высота подъема воды от уровня или напора в начале сети до отметки земли у расчетного водовыпуска; $\Sigma h_{\text{пот}}$ — сумма потерь напора по длине и местных от начала сети до расчетного водовыпуска.

Необходимые напоры в сети могут образоваться за счет понижения местности по трассам трубопроводов, т. е. когда $H_{\text{геод}} < 0$. Такие трубчатые сети или отдельные трубопроводы называют самонапорными. В противном случае необходима насосная станция.

Изменением диаметров труб на участках трубчатой сети в пределах допустимых скоростей можно изменять $\Sigma h_{\text{пот}}$ и напор H в начале сети. Например, при больших уклонах местности и запасах по напорам в самонапорной сети могут быть уменьшены диаметры труб и снижена стоимость сети. В системах с машинным подъемом воды (с насосной станцией) некоторое увеличение диаметров (увеличение капитальных вложений) может снизить напор и мощность насосной станции и соответственно затраты энергии на подачу воды.

На отдельных участках крупных каналов скорости рассчитывают при неравномерном режиме работы канала, создаваемом работой гидротехнических сооружений (подпоры и спады уровней). Трубчатую сеть проверяют на опасность возникновения гидравлического удара, в результате чего могут быть выбраны противоударные устройства или более прочный материал труб.

В период эксплуатации оросительной сети при нарушениях проектных условий или недостаточно детальном учете условий при проектировании возможны нарушения формы и размеров поперечных сечений каналов — деформации. Наиболее часто различные деформации происходят на каналах в земляном русле: заиливание, зарастание, размыв, оползание и обрушение откосов, просадочные явления.

Заиление возможно при малых скоростях и большой мутности воды. Если при проектировании канала невозможно обеспечить достаточные уклоны и скорости, то в период эксплуатации требуется очистка каналов от наносов, т. е. выполнение больших объемов работ. Возможно также понижение мутности воды путем устройства в начале оросительной сети бассейна-отстойника или перехвата наносов в конструкции головного водозаборного сооружения.

При зарастании дна и откосов канала в период эксплуатации необходимо косить или сжигать (что нежелательно) растительность, применять ядохимикаты (что тоже нежелательно), разводить травоядные виды рыб. Последний способ приносит двойную пользу, но требует изменения режима работы канала. Применение покрытий и экранов, при устройстве которых основание обрабатывают гербицидами, также предотвращает зарастание каналов.

Размывы русла можно предотвратить, если при проектировании уменьшить уклоны (путем устройства перепадов, быстроток), предусмотреть облицовку канала или искусственную шероховатость русла.

Обрушения и оползания откосов происходят из-за нарушения угла естественного откоса грунта, из-за неоднородности грунтов по трассе каналов. Для предотвращения таких деформаций устраивают более пологие откосы, что увеличивает ширину канала по верху, или крепят откосы. Просадки грунтов проявляются в виде неравномерных осадок и трещин при увлажнении лёссовых грунтов. При строительстве каналов и сооружений на лёссовых грунтах нужны надежные противофильтрационные меры, предварительное замачивание грунта перед строительством, замена лёссового грунта на устойчивый, изменение размеров сечений и сооружений с учетом будущих просадок.

При выборе конструкций и расчетах каналов большое внимание уделяют снижению фильтрационных потерь из каналов, повышению их КПД. Отрицательные последствия таких потерь: излишние затраты воды, увеличение подаваемых расходов и размеров поперечных сечений каналов и сооружений, опасность подъема уровня грунтовых вод, заболачивания и засоления земель. Снизить фильтрационные потери из каналов можно, уменьшив водопроницаемость грунтов путем их уплотнения, кольматации, химической обработки, пропитывания битумом и др. Против фильтрации широко применяют облицовки и экраны, замену при реконструкции каналов в земляном русле на лотковые или на трубопроводы. При эксплуатации оросительной сети снижению потерь воды способствует четкое соблюдение планов водоподачи.

7.3.2.5. Источники воды для орошения, головные водозаборы

Источниками воды для регулярного орошения могут быть: поверхностные водотоки и водоемы (реки, озера, моря), подземные воды, местный сток, сточные, сбросные, дренажные воды. Для одноразового орошения используют местный сток. При выборе источника воды для орошения анализируют его характеристики: качество, расходы и объемы, уровни и напоры воды, местоположение источника.

Качество оросительной воды должно отвечать агрономическим, экологическим и техническим требованиям, т. е. не оказывать отрицательного воздействия на почвы, растения, качество растительной продукции, санитарно-гигиеническую обстановку, сохранность элементов оросительной системы. Качество оросительной воды оценивают водородным показателем рН, температурой, механическими примесями, минерализацией и химическим составом, бактериологическими примесями.

Оросительная вода, имеющая рН 6,5...8, пригодна для полива всех сельскохозяйственных культур на всех типах почв, допустимо орошение водой с рН 6...8,4. Орошение водой вне этих пределов необходимо обосновывать.

Температура оросительной воды для сельскохозяйственных культур оптимальна в диапазоне 10...25 °С (допустимо 10...35 °С). При повышении температуры снижается активность кальция, может повыситься рН почвенного раствора. Температура поверхностных вод обычно благоприятна для орошения. Воды горных рек и подземные воды могут иметь пониженную температуру и требовать подогрева. Повышенная температура бывает у подземных и сточных вод. Регулируют температуру воды в бассейнах-терморегуляторах или в каналах достаточной протяженности за счет естественного теплообмена с внешней средой.

Механические примеси — наносы — содержат воды рек, особенно горных, и сточные воды. Частицы размером менее 0,01 мм имеют удобрительную ценность, их целесообразно пропускать на поля. Более крупные наносы заиливают оросительную сеть, поэтому их необходимо задерживать в отстойниках и сооружениях в начале сети. На системах капельного орошения и для некоторых дождевальных устройств воду очищают на специальных фильтрах.

Минерализация и химический состав оросительной воды могут создать опасность засоления, осолонцевания, содообразования в почве, отрицательно влиять на урожайность сельскохозяйственных культур и качество растительной продукции, сохранность материалов конструкций. Поэтому устанавливают содержание в воде ионов хлора, натрия, магния, карбонатов. Выделено четыре класса качества воды: от 1-го, не оказывающего неблагоприятного воз-

действия на почвы, урожайность сельскохозяйственных культур, качество продукции, окружающую среду, до 4-го, непригодного для полива.

Устойчивость сельскохозяйственных культур к минерализации оросительной воды зависит от вида растений, фазы их развития, влажности почвы. Солеустойчивые культуры снижают урожайность при минерализации более 2,5 г/л, среднеустойчивые — более 1,3, слабоустойчивые — 0,8 г/л. Наиболее устойчивы пшеница, рожь, ячмень, свекла сахарная и кормовая, хлопчатник, соя; слабоустойчивы зерновые бобовые, картофель, овощи, плодовые, ягодные.

Повышенную минерализацию имеют воды степных рек, подземные, сбросные и дренажные, сильно минерализована морская вода. При орошении водой повышенной минерализации необходимы прогнозы солевого режима почв и постоянный контроль содержания токсичных ионов в почвенном растворе, почвенном поглощающем комплексе (ППК), растительной продукции. В последнее время все больше внимания уделяют содержанию в оросительной воде тяжелых металлов, радионуклидов, пестицидов. Разработаны ПДК (предельно допустимые концентрации) этих элементов по различным лимитирующим показателям: фитотоксичному (воздействие на растения), транслокационному (накопление в растении и продукции), водно-миграционному (распространение по почвенному профилю и загрязнение подземных вод), санитарно-токсическому (действие на почвенную биоту и плодородие).

Химический состав оросительной воды не должен оказывать отрицательного действия на водопроводящую сеть, насосно-силовое оборудование, поливную технику и другие элементы оросительных систем. Например, содержание аммония более 15 мг/л, магния более 100, сульфатов более 200 мг/л вызывают коррозию металлических конструкций, щелочная реакция воды разрушает бетон.

Бактериологический состав воды требует контроля и регулирования при орошении сточными водами. Так, колииндекс не должен превышать 1000 бактерий в 1 л, содержание эпидемиологически опасных возбудителей тифа, паратифа, а также сальмонеллы и яиц гельминтов не допускается.

Доступные для орошения объемы воды в водоемах и расходы воды в водотоках определяют *оросительную способность источника* — площадь, которую можно оросить его водами в год расчетной обеспеченности при проектных структуре посевов, оросительной сети, способе полива. Оросительная способность источника ограничена или возможным суммарным объемом забираемой воды за вегетацию при заборе из водохранилища, или максимальным рас-

ходом воды, забираемой из реки:

$$F_{\text{нт}} = W_{\text{ор}}\eta/M_{\text{ср}}, \text{ или } F_{\text{нт}} = Q_{\text{ор}}\eta/q_{\text{макс}}, \quad (7.28)$$

где $W_{\text{ор}}$, $Q_{\text{ор}}$ — соответственно объем и расход воды, выделенной из источника на орошение; η — КПД оросительной сети; $M_{\text{ср}}$ — средневзвешенная оросительная норма нетто для всей оросительной системы; $q_{\text{макс}}$ — максимальная ордината гидромодуля для всей системы.

Для повышения оросительной способности источника возможно перераспределение расходов и объемов воды во времени путем создания водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования.

Режим уровней и напоров воды в источнике имеет значение при определении типа и конструкции водозаборного сооружения. Местоположение источника и его удаленность от орошаемой площади определяют длину магистрального канала и главного трубопровода — наиболее дорогих элементов сети.

Из рек — основных источников орошения — получают воду более 95 % орошаемых площадей. Распределение стока рек по времени в течение года и по годам неравномерно. Режим расходов рек определяется источником их питания и географическим положением. По типу питания реки разделяют: на равнинные атмосферного, грунтового и смешанного питания; горные ледникового и атмосферно-ледникового питания; степные, являющиеся разновидностью равнинных и отличающиеся от них меньшей водосборной площадью и резко выраженной неравномерностью стока.

Большинство равнинных рек имеют паводок (максимальные расходы) весной, а межень (минимальные расходы) — летом, что не соответствует режиму орошения сельскохозяйственных культур. Для более полного использования стока рек возможно их сезонное и многолетнее регулирование, т. е. создание водохранилищ, наполняемых весенним стоком. Однако при создании водохранилищ на равнинных реках затопляются большие площади ценных земель; подтопляются соседние земли; изменяется режим стока ниже по течению реки; нарушаются условия существования рыбы, водоплавающей птицы, прибрежных животных и растительности; появляется опасность для населения в случае аварий на плотине. Поэтому регулирование стока равнинных рек требует экологического и экономического обоснования.

Горные реки имеют максимальные расходы воды летом от таяния снегов и ледников, что согласуется с режимом потребления воды для орошения. Создание водохранилищ на горных реках для более полного использования их стока для орошения и энергетики в основном экономически целесообразно и экологически допустимо, но представляет опасность для населения горных долин.

Степные реки обычно имеют 80...95 % стока в весенний паводок, а летом сильно мелеют и даже пересыхают, что обуславливает дефицит воды. Поэтому в степной зоне сооружают многочисленные водохранилища и пруды, которые вызывают подтопление окружающих земель.

Подземные воды для орошения в России используют мало (менее 2 % орошаемых площадей), в основном из-за высокой стоимости их получения. Для орошения забирают эксплуатационные запасы верхних горизонтов подземных вод. Орошение подземными водами целесообразно при постоянных или периодических дефицитах поверхностных вод и при избытке подземных вод, требующем осушения земель. Для накопления получаемой подземной воды при отсутствии поливов в ночные часы и межполивные периоды можно устраивать бассейны суточного и недельного регулирования, а для сезонного и многолетнего регулирования запасов подземных вод использовать синклинальные геологические образования — замкнутые прогибы водопроницаемых пластов, в которые фильтруется или закачивается вода в периоды отсутствия ее потребления.

При обосновании орошения подземной водой учитывают достоинства этого источника: получение воды вблизи поливного участка, сокращение длины оросительной сети, снижение потерь воды, отсутствие механических примесей в воде, частое совмещение целей орошения и осушения участка. Недостатки орошения подземными водами: высокая стоимость водоподъема, отсутствие в воде удобрительных илистых частиц, опасность истощения запасов подземных вод.

Местным стоком называют воды временных поверхностных водотоков, образующихся от весеннего снеготаяния и ливневых дождей, или малых рек, не имеющих самостоятельного хозяйственного значения без регулирования. Для местного стока характерны сильная изменчивость во времени и кратковременность больших расходов. Задержание поверхностного стока в периоды максимальных расходов снижает пик половодья в реках, выравнивает их режим, уменьшает опасность эрозии почв и роста оврагов. Создание водоемов улучшает ландшафт, имеет хозяйственное и оздоровительное значение. Оросительные системы, работающие на местном стоке, обычно бывают небольшие — несколько сотен гектаров.

Для *регулярного орошения* местный сток задерживают и накапливают в водохранилищах сезонного и многолетнего регулирования. Плотины и водохранилища целесообразно устроить в узком месте речной долины, в балках, оврагах, чтобы уменьшить длину плотины и площадь затопления. Фильтрационные потери из водохранилища будут меньше, если по его дну и под плотиной зале-

гают слабопроницаемые грунты. Возможно также покрытие ложа водохранилища и верхового откоса плотины противодиффузионными материалами, под плотиной — устройство противодиффузионных стенок и завес, а в теле плотины — экрана или ядра. Для уменьшения затопленной площади и мелководий водохранилище может быть ограждено дамбами.

Расчетную обеспеченность стока при проектировании систем обосновывают технико-экономическим сравнением вариантов по стоимости системы, размерам орошаемой площади, получаемой продукции, экономической оценке затопленных земель, стоимости защиты подтопленных земель.

Гидрологические наблюдения и расчеты позволяют определить объем стока, собираемого в водохранилище в год расчетной обеспеченности, который составит полный объем водохранилища $W_{\text{полн}}$. Рабочий объем водохранилища

$$W_{\text{раб}} = W_{\text{полн}} - W_{\text{мо}},$$

где $W_{\text{мо}}$ — мертвый объем водохранилища, определяемый санитарными требованиями, условиями рыборазведения и содержания водоплавающей птицы, сроком службы водохранилища.

Полезный объем водохранилища

$$W_{\text{полезн}} = W_{\text{раб}} - W_{\text{пот}},$$

где $W_{\text{пот}}$ — потери воды из водохранилища на испарение и фильтрацию.

Полезный объем водохранилища используется водопотребителями, в том числе на орошение.

Пример системы орошения на местном стоке показан на рисунке 7.18. Она включает два орошаемых участка: с открытой оросительной сетью при поверхностном поливе и с трубчатой сетью при дождевании.

Одноразовое орошение водами местного стока называют лиманным. Оно заключается в задержании весеннего стока на пологих склонах путем устройства ограждающих валов, как показано на рисунке 7.19. На обвалованной площади — лимане происходит одноразовое увлажнение собранной водой. Лиманы устраивают на склонах с уклонами менее 0,005 с площадью водосбора, достаточной для обеспечения поливной нормы, увлажняющей слой не менее 1,5 м.

Лиманы наполняют водой за счет склонового стока, паводковых вод рек, сбросными водами водохранилищ и оросительных систем. Расчетную обеспеченность лиманного орошения принимают 25...50 %, т. е. ниже обеспеченности регулярного ороше-

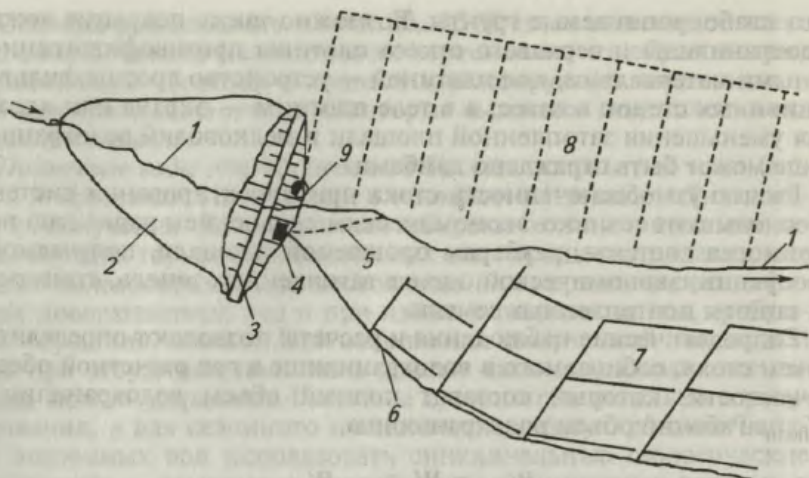


Рис. 7.18. Схема системы регулярного орошения на местном стоке:

1 — река; 2 — водохранилище; 3 — плотина; 4 — самотечный водозабор; 5 — водосбросное сооружение; 6 — магистральный канал; 7 — участок самотечного полива из открытой сети; 8 — орошаемый участок с поливом из трубчатой сети; 9 — насосная станция

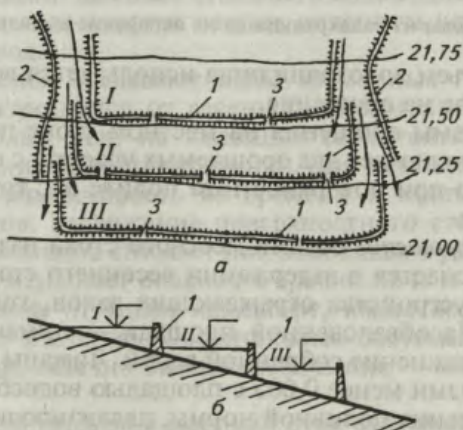


Рис. 7.19. План участка лиманного орошения (а) и разрез по ярусам лиманов (б):

1 и 2 — ограждающие и направляющие вали; 3 — водовыпускные сооружения; I...III — лиманы соответственно 1...3-го ярусов

ния, что объясняется небольшими затратами на устройство лиманов.

Слой воды в лимане изменяется по уклону лимана от 0 на верхнем урезе воды до максимальной глубины воды у нижнего вала. Расчетной норме и глубине увлажнения соответствует только середина лимана. Выращиваемые в лимане сельскохозяйственные культуры либо должны выдерживать затопление, либо их высевают после впитывания воды.

Достоинства лиманного орошения: простота и дешевизна строительства и эксплуатации, не требуется энергии и машин, уменьшается образование оврагов и эрозии почвы. Недостатки: одноразовость увлажнения, неравномерность глубины увлажнения по площади лимана, изменение объема стока и площади увлажнения по годам, опасность подтопления нижерасположенных земель.

Сточными водами называют стоки разных отраслей хозяйства, образующиеся после использования воды в производственном процессе. Сточные воды бывают промышленные, хозяйственно-бытовые, животноводческие, ливневые, смешанные. Орошение ими позволяет экономить чистую воду природных источников, снизить загрязнение рек и водоемов от сброса в них сточных вод, использовать содержащиеся в стоках полезные почвам и растениям вещества. Почвы и грунты очищают фильтрующиеся воды от многих вредных веществ. Орошение сточными водами имеет большой экономический и природоохранный эффект.

Так как в сточных водах содержится много вредных веществ, то перед использованием их подвергают механической, химической и биологической очистке. Химический состав промышленных стоков зависит от вида и технологии производства. Наибольшую удобрительную ценность имеют сточные воды пищевой промышленности, текстильных, бумажных, азотно-туковых предприятий.

Хозяйственно-бытовые стоки содержат много азота, фосфора, калия, органических веществ. Вредными в их составе являются щелочные вещества, болезнетворные бактерии, яйца гельминтов. Животноводческие стоки содержат много органических веществ и являются ценным удобрением, однако требуют обеззараживания. Пример использования сточных вод животноводческих комплексов приведен в разделе 12.4.

Ливневые воды — это стоки городской сбросной сети от осадков и поливов. Они содержат механические примеси, нефтепродукты, тяжелые металлы и другие загрязнения от транспорта.

Участки для орошения сточными водами выбирают так, чтобы не было опасности загрязнения поверхностных и грунтовых вод, окружающих земель, создания антисанитарных условий для населения и животного мира. Орошение осуществляют с соблюдением мер предосторожности и под постоянным контролем за состоянием

ем почв, поверхностных и грунтовых вод. Поливают сточными водами травы, кормовые корнеплоды, зерновые культуры.

Орошение сточными водами может быть круглогодичным и вегетационным. При вегетационном орошении для приема стоков в зимний период устраивают пруды-накопители или поля фильтрации. В период вегетации воду из прудов-накопителей используют на орошение, а осадок — на удобрения. На полях фильтрации сельскохозяйственные культуры не выращивают, на них сточные воды очищают за счет фильтрации через почву и грунт.

При орошении сточной водой поливные нормы определяют по потребности растений в воде с учетом баланса питательных веществ. Если содержание отдельных веществ превышает допустимое, то сточные воды разбавляют чистой водой.

При поливе сточными водами применяют поверхностный способ, дождевание, подпочвенный. По экологическим и санитарно-гигиеническим условиям наиболее подходящий — подпочвенный способ полива, но он пока дорог и несовершенен.

Возможность использования *дренажных вод* на орошение зависит от их качества. При отсутствии в воде токсичных солей и агрохимикатов дренажные воды можно подавать в оросительную сеть. Чаще всего такая возможность бывает при откачках подземных вод вертикальным дренажем. Горизонтальный дренаж, работающий на засоленных землях, отводит воду высокой минерализации, которую можно только добавлять к оросительной воде.

Морские воды сильноминерализованы, поэтому ими можно поливать отдельные выносливые культуры на хорошо проницаемых почвах и грунтах, периодически промываемых пресной водой. Опыт орошения морской водой имеют районы с дефицитом пресной воды.

Забирают воду из источника орошения и подают в оросительную сеть гидротехническими сооружениями, называемыми *головными водозаборами*. Конструкции водозаборов должны быть устойчивыми и надежными, иметь водомерные устройства, средства автоматического управления, обеспечивать возможность удобного ремонта, задерживать крупные наносы и плавающие предметы, защищать оросительную сеть от паводковых вод.

Тип головного водозабора зависит от вида источника орошения, уровней и напоров воды в нем, высотного положения головного участка оросительной сети. При заборе воды из реки в открытую сеть наиболее экономичен самотечный бесплотинный водозабор. Он возможен, если в течение всего периода работы оросительной сети уровень воды в реке превышает уровень воды в голове магистрального канала на значение, не меньшее, чем потеря напора в сооружении. Некоторые схемы самотечных беспло-

тинных водозаборов показаны на рисунке 7.20, а. Такие водозаборы позволяют забирать до 50 % расхода реки.

Если расчетный уровень воды в реке в месте предполагаемого водозабора ниже требуемого для самотечной подачи воды в магистральный канал, то рассматривают другие варианты водозаборов. Например, можно продлить магистральный канал с меньшим, чем у реки, уклоном и устроить водозабор выше по реке или поднять уровень воды в реке в месте водозабора плотиной (рис. 7.20, б).

Для машинного подъема воды из рек, водохранилищ, озер строят насосные станции, что требует высоких капитальных и эксплуатационных затрат. Примеры схем машинного водоподъема в открытую сеть показаны на рисунке 7.21. На оросительных системах применяют стационарные, передвижные и плавучие насосные станции, выбор которых определяется мелиоративными требованиями и экономическим сравнением.

При орошении подземными водами тип и конструкция водозабора зависят от глубины залегания водоносного пласта и напора в нем. При неглубоком залегании безнапорного водоносного пласта возможен самотечный водозабор с помощью закрытого коллектора или галереи, выводящих воду на нижерасположенные земли. При наличии артезианских водоносных пластов с напорами выше поверхности земли используют самоизливающиеся скважины.

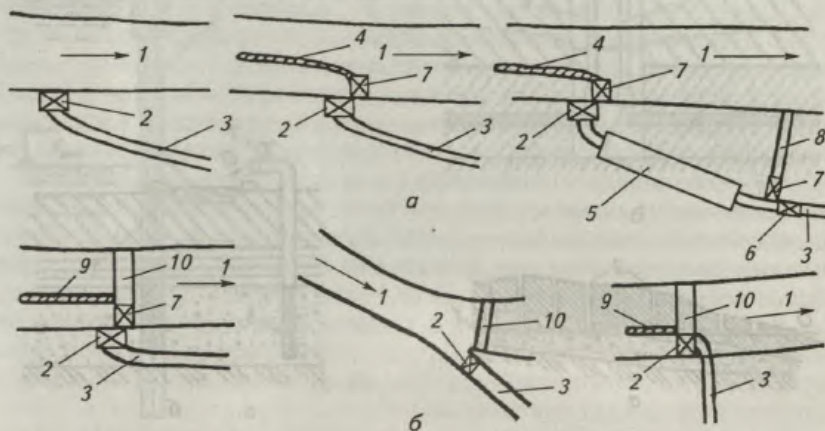


Рис. 7.20. Схемы самотечных водозаборов из реки:

а — бесплотинных; б — плотинных; 1 — русло реки; 2 — головной шлюз-регулятор; 3 — магистральный канал; 4 — шпора; 5 — отстойник; 6 — перегородаживающее сооружение; 7 — сбросное сооружение; 8 — сбросное русло; 9 — разделительная стенка; 10 — плотина

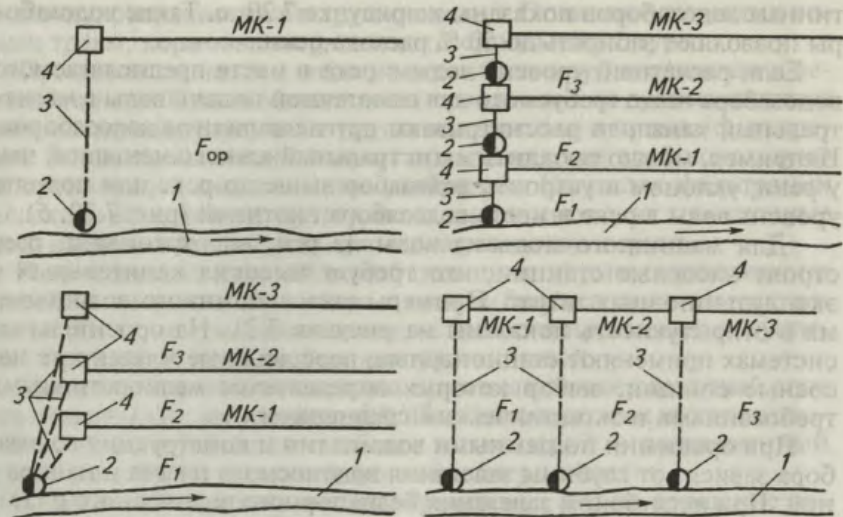


Рис. 7.21. Схемы машинного водоподъема в открытую сеть:

1 — источник орошения; 2 — насосная станция; 3 — главный трубопровод; 4 — регулирующий бассейн; МК — магистральный канал; $F_{ор}$, F_1 , F_2 , F_3 — площади орошения

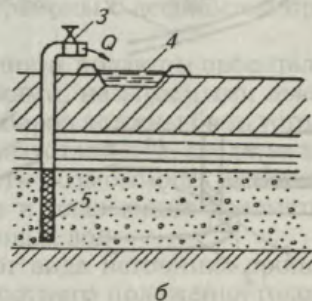
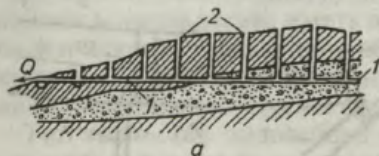


Рис. 7.22. Схемы самотечных водозаборов подземных вод:

а — водосборная галерея; б — артезианская скважина; 1 — водосборная галерея или коллектор; 2 — смотровые колодцы; 3 — задвижка; 4 — регулирующий бассейн; 5 — фильтр скважины; Q — расход получаемой подземной воды

Эти два типа водозаборов не требуют затрат энергии для водоподъема, недороги по конструкции, экологичны (рис. 7.22).

Для подъема подземных вод устраивают насосные скважины, шахтные колодцы и лучевые водозаборы. Эти водозаборы требуют больших капитальных и эксплуатационных затрат. При подаче воды в открытую сеть или в регулирующий бассейн насосы подбирают на подъем воды от динамического уровня в скважине до уровня воды в магистральном канале (МК) или бассейне. При подаче воды непосредственно в трубчатую сеть насосы должны обеспечивать как подъем воды из скважины, так и необходимые напоры в сети. Схемы водозабора подземных вод с помощью насосной скважины и лучевого водозабора показаны на рисунке 7.23.

Головные водозаборы — наиболее крупные и дорогие гидротехнические сооружения на оросительной системе, поэтому выбор их типа и конструкции требует сравнения вариантов по экологическим и экономическим показателям.

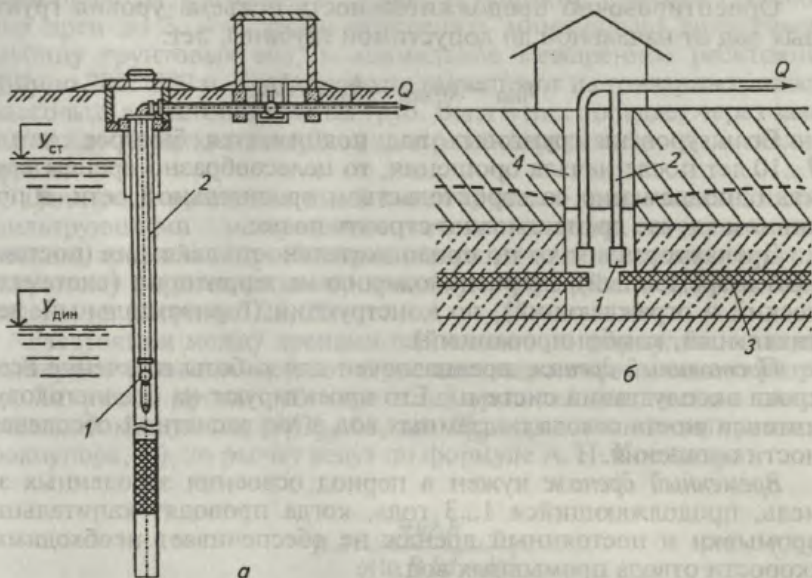


Рис. 7.23. Машинные водозаборы подземных вод:

a — скважина; *б* — лучевой водозабор; 1 — насос; 2 — водоподъемные трубы; 3 — перфорированные лучи-водозаборы; 4 — шахтный колодец; $U_{ст}$, $U_{дин}$ — статический и динамический уровни воды в скважине; Q — расход откачиваемой воды

7.3.2.6. Дренаж на орошаемых землях

Необходимость отвода грунтовых вод с орошаемых земель дренажем возникает, когда уровень грунтовых вод изначально стоит высоко, вызывая заболачивание и засоление земель, ожидается их подъем с началом орошения земель или когда орошение вызывает подъем уровня грунтовых вод на соседних землях, на рассматриваемом участке уровень грунтовых вод поднимается в результате орошения соседних земель.

Для прогноза подъема уровня грунтовых вод после начала орошения используют уравнение годового баланса этих вод для среднесуточных условий [см. формулу (3.39)]. При $\Delta W_{гр} > 0$ ожидают ежегодный подъем их уровня на величину

$$\Delta h = \Delta W_{гр} / \mu, \quad (7.29)$$

где μ — коэффициент недостатка насыщения грунта в зоне подъема уровня грунтовых вод.

Ориентировочно продолжительность подъема уровня грунтовых вод от начальной до допустимой глубины, лет:

$$t_{под} = (h_{нач} - h_{доп}) / \Delta h. \quad (7.30)$$

Если уровень грунтовых вод поднимается быстрее, чем за 7...10 лет после начала орошения, то целесообразно дренаж строить одновременно со строительством оросительной сети, в противном случае дренаж можно строить позже.

Дренажи различают по продолжительности действия (постоянный и временный), по расположению на территории (систематический и ограждающий), по конструкции (горизонтальный, вертикальный, комбинированный).

Постоянный дренаж предназначен для работы в течение всего срока эксплуатации системы. Его проектируют на среднегодовую интенсивность отвода подземных вод в год расчетной обеспеченности орошения.

Временный дренаж нужен в период освоения засоленных земель, продолжающийся 1...3 года, когда проводят капитальные промывки и постоянный дренаж не обеспечивает необходимые скорости отвода промывных вод.

Расположение дренажа на территории зависит от вида дополнительного питания грунтовых вод.

Систематический дренаж устраивают, если подъем уровня грунтовых вод вызван фильтрацией оросительных и поверхностных вод ($\Phi_k + g$). Этот дренаж располагают равномерно по орошаемой территории.

Ограждающий дренаж необходим при существенном притоке по водоносному пласту с соседних земель $\Pi_{гр}$ для перехвата этого притока. При наличии обоих видов питания грунтовых вод применяют оба вида дренажа совместно.

Конструкцию дренажа выбирают в зависимости от гидрогеологических условий и экономического сравнения вариантов: горизонтальный, вертикальный или комбинированный.

Горизонтальный дренаж применяют в однородных или мелко-слоистых грунтах при отсутствии напорных вод. Он бывает открытым и закрытым. Открытый горизонтальный дренаж представляет собой каналы, врезанные дном в водоносный пласт и получающие воду из грунта через дно и откосы. Поперечные разрезы систематического открытого горизонтального дренажа и ограждающей открытой дрены показаны на рисунке 7.24, I. Применяют его в основном как временный. Глубина временных дрен 1...1,5 м, расстояние между ними 30...50 м.

Закрытый горизонтальный дренаж — наиболее распространенный постоянный дренаж. Он представляет собой проницаемые трубопроводы, уложенные в грунт с уклоном. Глубина постоянных дрен до 3...4 м, чтобы обеспечить минимально допустимую глубину грунтовых вод, максимальное междреннее расстояние обычно 200...500 м. Трубопроводы выполняют из гончарных, пластмассовых, асбестоцементных труб. Вода в них попадает через зазоры между короткими трубками, через отверстия, прорези, щели в трубах.

Для предотвращения вымывания грунта в дрены их защищают фильтрующими материалами — стеклохолстом, стеклотканью, песком, гравием и др. Поперечные разрезы по систематическому закрытому горизонтальному дренажу и ограждающей дрены приведены на рисунке 7.24, II.

Расстояния между дренами вычисляют по формулам, которые выбирают в зависимости от строения гидрогеологического разреза. Так, если дрены работают в однородном водоносном пласте большой мощности ($B/T_{др} < 3$, где $T_{др}$ — расстояние от дрены до водоупора, м), то расчет ведут по формуле А. Н. Костякова:

$$B = \frac{\pi k \Delta h}{q(\ln B/d - 1)}, \quad (7.31)$$

где k — коэффициент фильтрации водоносного грунта, м/сут; Δh — действующий напор, т. е. превышение уровня грунтовых вод посередине между дренами над уровнем у дрены, м; q — интенсивность отвода грунтовых вод дренажем, равная $\Delta W_{гр}/365$, м/сут; d — внешний диаметр дрены, включая фильтрующую обсыпку, м.

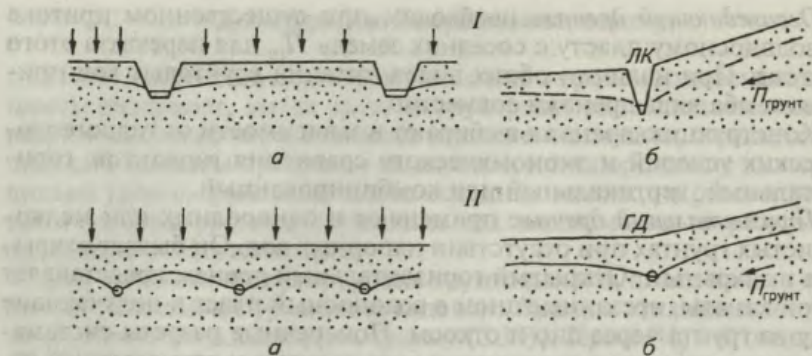


Рис. 7.24. Поперечные разрезы по систематическому (а) и ограждающему (б) горизонтальным дренажам:

I — открытый дренаж; II — закрытый дренаж; ЛК — ловчий канал; ГД — головная дрена

При близком водоупоре ($B/T_{др} > 3$) используют формулу С. Ф. Аверьянова:

$$V = \sqrt{8\alpha k T_{др} \Delta h / q}, \quad (7.32)$$

где α — коэффициент, учитывающий влияние водоупора на работу дрены (степень несовершенства дрен по вскрытию водоносного пласта).

Ограждающую горизонтальную дрена располагают по границе притока грунтовых вод по линии наименьшей их глубины, врезая в водоносный пласт не менее чем на 0,5...1 м, для получения достаточного перехватывающего действия. Глубина такой дрены доходит до 5...6 м, что при строительстве довольно сложно и дорого.

Вертикальный дренаж представляет собой скважины, фильтры которых установлены в водоносном пласте, вода откачивается насосами. Он наиболее эффективен в водоносных пластах с высокой водопроницаемостью ($kT > 100 \text{ м}^2/\text{сут}$, где T — мощность пласта) и при наличии напорности подземных вод. Расстояния между скважинами, их дебиты, понижения динамического уровня в скважинах определяют фильтрационными расчетами и экономическим сравнением вариантов параметров дренажа. Примеры расчетных фильтрационных схем систематического и ограждающего вертикальных дренажей показаны на рисунке 7.25.

Обычные параметры вертикального дренажа следующие: расстояния между скважинами 300...1500 м, дебит 20...100 л/с, понижение динамического уровня в скважинах 5...15 м, диаметр фильтра 300...500 мм.

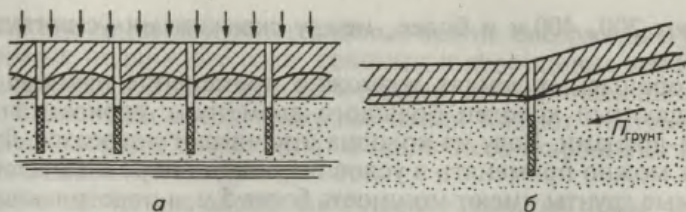


Рис. 7.25. Расчетные фильтрационные схемы систематического (а) и ограждающего (б) вертикальных дренажей

Достоинства вертикального дренажа: возможность регулирования его работы, автоматизация управления, применимость в условиях напорности подземных вод, малые площади отчуждений. Недостатки: сложность и высокая стоимость строительства и эксплуатации, потребность в энергии, сильное воздействие на подземные воды, вовлечение в геохимический круговорот большого количества растворенных в них солей, т.е. нарушение шестого принципа природообустройства.

Комбинированный дренаж представляет собой горизонтальные дрены с вертикальными скважинами-усилителями (рис. 7.26). Комбинированный дренаж можно применять в качестве систематического и ограждающего там, где неэффективны горизонтальный и вертикальный дренажи: слабопроницаемый пласт мощностью более 4 м подстилается напорным водоносным пластом малой мощности (<10 м). Горизонтальные дрены могут быть открытыми и закрытыми, скважины-усилители являются самоизливающимися, без насосов. Расстояние между горизонтальными дренами со-

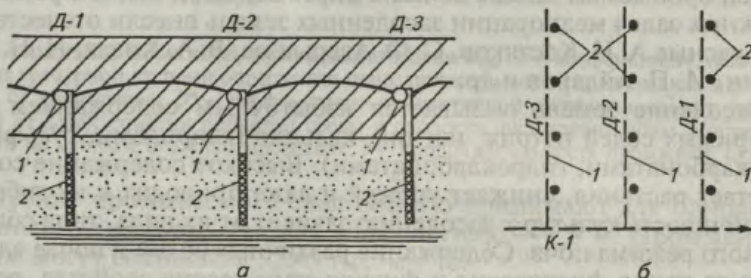


Рис. 7.26. Схема устройства комбинированного дренажа:

а — поперечный разрез; б — расположение на плане; 1 — горизонтальные дрены; 2 — скважины-усилители; К-1 — закрытый коллектор; Д-1, Д-2... — номера горизонтальных дрен

ставляют 200...400 м и более, между скважинами-усилителями — 50...150 м.

На орошаемых землях возможно применение *лучевого дренажа* — шахтный колодец большого диаметра с горизонтальными лучами-дренами. Воду из колодца откачивают насосами. Лучевой дренаж можно применять в условиях, когда покровные слабопроницаемые грунты имеют мощность более 5 м, а подстилающий водоносный пласт — малую мощность и водопроницаемость, так что применение других типов дренажа малоэффективно. В этих условиях лучевой дренаж может быть экономически целесообразен ввиду большой площади обслуживания одним колодцем (100...400 га и более), заменяя 10..20 скважин вертикального дренажа.

Вода, собираемая дренами любого типа, поступает в коллекторы, обычно открытые, реже трубчатые, и отводится самотеком. Сбрасывают дренажные воды в естественные понижения, водотоки, водоемы. Ввиду значительных объемов и плохого качества дренажных вод состояние водоприемников может существенно ухудшиться. Сброс дренажных вод — крупная и пока нерешенная проблема в орошаемом земледелии. При обосновании орошения земель учет влияния дренажного стока на состояние природной среды обязателен.

7.3.2.7. Мелиорация засоленных земель

К засоленным и подверженным засолению относят земли, на которых в почвах, грунтах или грунтовых водах содержатся соли, вредные для развития растений или свойств почв. Проблема засоления земель актуальна для значительных (более половины) площадей орошаемых земель во всем мире. Большой вклад в решение сложных задач мелиорации засоленных земель внесли отечественные ученые А. Н. Костяков, С. Ф. Аверьянов, В. А. Ковда, Н. Н. Веригин, И. П. Айдаров и др.

Засоление земель вызывается избыточным содержанием растворимых солей натрия, магния, кальция (хлоридами, сульфатами, карбонатами, гидрокарбонатами). Высокое содержание солей угнетает растения, снижает урожай и даже приводит к их гибели. Устойчивость культур к засолению зависит от их вида, типа солей, водного режима почв. Содержание различных солей в почве влияет на ее водно-физические и физико-химические свойства, реакцию почвенного раствора, растворимость и содержание гумуса.

Засоленные земли классифицируют по степени, типу и химизму засоления. По степени засоления различают незасоленные, слабо-, средне- и сильнозасоленные земли. По типу засоления

различают: солончаки и солончаковые земли, содержащие легко-растворимые подвижные соли; солонцы и солонцовые земли, содержащие ионы натрия и магния в почвенном поглощающем комплексе. Солончаки и солончаковые земли бывают нейтрального засоления (хлориды и сульфаты) и щелочного (карбонаты и гидркарбонаты).

Химизм засоления определяют преобладающие ионы, например: натриево-магниевое-хлоридное, натриево-сульфатное, карбонатное (содовое) и т. д.

Причины засоления могут быть первичными и вторичными. Первичное (природное) засоление возникает в определенных климатических и гидрогеологических условиях: в областях с жарким и сухим климатом, на слабодренированных территориях с малой глубиной минерализованных грунтовых вод, в результате испарения которых соли накапливаются в верхних слоях почвы. Вторичное засоление земель происходит в период использования орошаемых земель при неправильном режиме орошения, больших потерях оросительной воды на глубинную фильтрацию и недостаточной дренарованности территории, плохом качестве поливной воды.

Перед началом использования земель первичное засоление должно быть ликвидировано или понижено до допустимых пределов. При солончаковом типе засоления легко-растворимые соли вымывают из почвы большим количеством воды — капитальными промывками. Норма капитальной промывки зависит от вида и количества солей в почве, мощности промываемого слоя, проницаемости почв и грунтов, условий отвода промывной воды.

Норма нетто капитальной промывки может быть определена, например, по формуле А. И. Голованова (3.62) или С. Ф. Аверьянова:

$$M_{\text{пр}} = p_a(h_{\text{пр}} + 2A\sqrt{D^*t}),$$

где p_a — активная пористость промываемого слоя $h_{\text{пр}}$; A — коэффициент, зависящий от требуемой степени опреснения почв, приводимый в справочниках и работах С. Ф. Аверьянова; D^* — коэффициент конвективной диффузии, $\text{м}^2/\text{сут}$, зависящий от характеристик пористой среды и скорости фильтрации воды и определяемый по данным опытных промывок; t — продолжительность промывки, сут.

Глубину промываемого слоя обычно принимают для однолетних полевых культур 1 м, для многолетних — 1,5 м. Промывные нормы могут составлять 5...45 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$.

Промывают земли обычно в невегетационный период, когда освобождаются водные и трудовые ресурсы, минимально испарение. Продолжительность промывок $t_{\text{пр}}$ зависит от промывной нормы $M_{\text{пр}}$, пропускной способности оросительной сети, условий отвода промывной воды, хозяйственных условий.

Отводят промывную воду с помощью дренажа, обеспечивающего интенсивность отвода промывной воды:

$$q = M_{\text{пр}}/t_{\text{пр}}$$

При недостаточности постоянного дренажа на период промывок дополнительно устраивают временный дренаж (см. разд. 7.3.2.6).

Промывают землю путем затопления чеков без сброса воды. В зависимости от расстояний между временными оросителями, временными дренами и уклонов поверхности земли размеры чеков принимают от 20×20 до 50×50 м.

При солонцовом засолении перед капитальными промывками нужны химические мелиорации. В пахотный горизонт вносят вещества (химические мелиоранты), способные вытеснить натрий и магний из почвенного поглощающего комплекса почвы, заместив их кальцием, и нейтрализовать щелочность почвы. В качестве мелиорантов, содержащих кальций, применяют гипс, хлорид кальция, известняк, фосфогипс; окисляющих мелиорантов — серу, сульфат железа, серную кислоту. Продукты обменных реакций удаляют капитальной промывкой.

В период эксплуатации земель необходимо поддерживать такой водно-солевой режим почв, при котором не произойдет вторичного засоления, а промытый слой будет увеличиваться. Поэтому воды на орошение подают на 8...20 % больше, чем требуется растениям, чтобы создать опресняющий фильтрационный переток оросительной воды через почву в грунтовые воды. Такой режим орошения называют промывным. Чаще всего эту воду подают в невегетационный период в виде эксплуатационных промывок, иногда требуется увеличение и вегетационных поливных норм.

Необходимость промывного режима, его интенсивность, сроки дополнительной подачи воды обосновывают, составляя и анализируя прогноз водно-солевого режима земель на достаточно большой период (2...3 ротации севооборота). Для составления прогноза используют уравнения влаго- и солепереноса в зоне аэрации (см. разд. 3.5 и 3.6.1).

Промывной режим орошения способен препятствовать вторичному засолению конкретного участка, но это повышает объемы и минерализацию дренажных вод. При сбросе этих вод в реки — источники орошения последние загрязняются, а ниже расположенные орошаемые земли засоляются. Ухудшение экологической обстановки может быть лавинообразным и приводить к катастрофическим последствиям, как в бассейне р. Сырдарьи и Амударьи, что привело к деградации Аральского моря. Орошение в таких условиях необходимо проводить с минимальным воздействием на под-

земные воды: строительство совершенных оросительных систем, строгое дозирование поливов.

7.3.3. ОСУШИТЕЛЬНЫЕ МЕЛИОРАЦИИ

Цель осушительных мелиораций — регулирование мелиоративного режима на землях, испытывающих постоянное или периодическое переувлажнение, препятствующее эффективному использованию земель.

Осушение заключается в недопущении поступления или в усилении отвода воды из расчетного слоя почвы и грунта, позволяющих регулировать водный и связанные с ним воздушный, тепловой и питательный режимы.

Комплекс осушительных мелиораций включает также культурно-технические, агротехнические, организационные и природоохранные мероприятия.

Культурно-технические мероприятия заключаются в очистке земель от мелколесья, кустарника, пней, кочек, камней, погребенной древесины, разделке дернины, планировке поверхности, создании и улучшении почвенного слоя.

Агротехнические мероприятия включают научно обоснованные системы обработок почвы, севооборотов, удобрений.

Организационные мероприятия заключаются в создании участков удобной формы и размеров, размещении объектов, дорог, сооружений.

Природоохранные мероприятия проводят на мелиорируемой и окружающей территориях, и они направлены на минимизацию возможного влияния мелиораций на все компоненты природной среды.

7.3.3.1. Переувлажненные земли и использование осушаемых земель

Переувлажнение земель наблюдается во всех природно-климатических зонах при неблагоприятных гидрологических и гидрогеологических условиях. Площади переувлажненных земель на территории Российской Федерации составляют около 160 млн га. Избыточно увлажнены большие площади в Нечерноземной зоне РФ, в Западной Сибири, на Дальнем Востоке, в низовьях р. Волги, Кубани и др. Массивы переувлажненных земель имеют площади от нескольких до миллионов гектаров.

В естественном состоянии хозяйственное использование переувлажненных земель ограничено: малопродуктивные сенокосы, охотничьи угодья, заповедные зоны, сбор дикорастущей продукции.

Виды переувлажненных земель выделены А. Д. Брудастовым: болота, заболоченные земли, переувлажненные минеральные земли. Их различают по наличию и мощности торфа, который является показателем длительности и режима переувлажнения. Торфом называют органическую породу, содержащую в сухом состоянии не более 50 % минеральных веществ и образовавшуюся в результате ежегодного отмирания и неполного распада болотной растительности в условиях повышенной влажности и недостатка кислорода.

Болотом называют постоянно увлажненный участок земной поверхности с типичной гидрофильной растительностью, покрытый слоем торфа мощностью не менее 30 см в неосушенном состоянии. По расположению на элементах рельефа и условиям водного питания различают низинные, верховые и переходные болота.

Низинные болота образуются на пониженных элементах рельефа: в поймах, долинах и особенно дельтах рек, в межгорных впадинах, на нижних частях склонов. Они получают интенсивное питание грунтовыми водами. Торф низинных болот высокозольный, имеет значительную степень разложения, высокое содержание минеральных солей. Мощность торфа доходит до 10 м.

Верховые болота формируются на повышенных участках рельефа, водоразделах, сложенных слабопроницаемыми тяжелыми грунтами, верхних частях склонов. Эти болота питаются атмосферными осадками. Торф верховых болот слаборазложившийся, содержит мало минеральных веществ, имеет очень кислую реакцию.

Переходные болота занимают промежуточное положение на элементах рельефа, располагаются в средней части склонов или образуются на месте низинных болот при нарастании слоя торфа. По сравнению с низинным верховой торф имеет меньшую степень разложения и зольности, выше кислотность почвенного раствора. Некоторые характеристики торфа приведены в таблице 7.6.

7.6. Свойства торфа

Показатель	Вид торфа		
	верховой	переходный	низинный
Степень разложения, %	5...30	10...45	15...60
Зольность, %	1...5	5...10	7...17
Пористость, %	До 96	Около 90	80...85
Плотность, г/см ³	0,04...0,08	0,11...0,16	0,12...0,25
pH водной вытяжки	2,6...4,2	3,0...5,3	5...7
Содержание, % сухой массы:			
общего азота	0,5...2	1,4...2,5	1,6...4
P ₂ O ₅	0,03...0,25	0,03...0,35	0,1...0,4
K ₂ O	0,01...0,1	0,02...0,2	0,05...0,25
СаО	0,1...0,5	0,2...2,5	1,2...6,8

Заболоченными называют постоянно переувлажненные земли с мощностью торфа в неосушенном состоянии менее 30 см. Заболоченные земли со временем могут перейти в болота.

Минеральными переувлажненными считают земли с минеральными почвами без торфа, испытывающие временное или периодическое переувлажнение. На минеральных переувлажненных землях встречаются разновидности почв: глеево-подзолистые, подзолистые, дерново-подзолистые, дерновые, серые и бурые лесные, аллювиальные и лугово-черноземные различной степени оглеения. По гранулометрическому составу почвы могут быть глинистыми, суглинистыми, супесчаными, песчаными. Оглеение характерно для переувлажненных почв, так как процесс почвообразования происходит в условиях повышенной влажности и недостатка кислорода. В результате ухудшаются структура почвы, ее водно-физические, физико-химические, агрохимические свойства. Некоторые характеристики переувлажненных минеральных почв приведены в таблице 7.7.

7.7. Характеристики переувлажненных почв

Тип почвы	Гумус, %	Насыщенность ППК основаниями, %	pH	Подвижный фосфор, мг/100 г почвы	Обменный калий, мг/100 г почвы
Глеево-подзолистая	0,5...1,5	10...20	3...4	0...5	0...5
Подзолистая	1...2,5	20...40	3,5...4,5	0...5	0...6
Дерново-подзолистая	1,5...3	40...60	4...5,5	0...5	5...10
Дерново-глеевая	3...14	80...90	5,5...6,5	5...10	10...15
Серая лесная глеевая	2...3	50...70	3,5...5,5	0...5	5...10
Аллювиально-дерновая глеевая	3...9	70...90	5...6,5	5...10	10...15

Изменение свойств почв и грунтов при осушении. При осушении земель в почвах и грунтах происходят различные процессы, вызывающие существенные изменения в ее составе и свойствах: уплотнение, биохимическое разложение, механическая и химическая суффозия и др. Особенно сильно изменяется торф. В результате удаления воды из торфа уменьшается его объем (*усадка* торфа) и как следствие понижается поверхность земли. Понижение поверхности земли называют *осадкой*, которая происходит очень неравномерно по площади и во времени, зависит от мощности, вида, свойств торфа, снижения уровня грунтовых вод и может составлять для плотного торфа 12...15 %, для рыхлого 25...40 % его первоначальной мощности. При сельскохозяйственном использовании в результате обработки почвы и выноса питательных веществ с урожаем происходит *сработка* торфа, интенсивность которой зависит от сельскохозяйственного использования земель. Она мак-

симальна под пропашными культурами и минимальна под травами. При длительном сельскохозяйственном использовании торфяников их толща может сработаться до минерального дна. При осушении уменьшается коэффициент фильтрации торфа, особенно в вертикальном направлении, что надо учитывать при расчете дренажа.

При осушении минеральных переувлажненных почв на 10...20 % уменьшается их плотность, на 5...10 % увеличивается пористость, возрастают водопроницаемость и влагоемкость. При осушении и окультуривании земель изменяются агрохимические показатели — уменьшается кислотность, улучшается состав ППК, элементы питания растений переходят в доступные формы. Изменение водно-физических свойств почв и грунтов необходимо учитывать при проектировании осушительных систем, изменение агрохимических характеристик почв влияет на оценку земель.

Осушение грунтов повышает их несущую способность.

Сельскохозяйственное использование осушаемых земель. В неосушенном состоянии болота и заболоченные земли практически не дают сельскохозяйственной продукции. Переувлажненные минеральные земли также имеют очень низкую продуктивность (0,5...1,5 т/га сена). После осушения на низинных болотах формируются плодородные торфяно-перегнойные почвы, богатые элементами питания для растений, особенно азотом и фосфором в доступной форме. Осушенные низинные болота наиболее целесообразно использовать для земледелия. На переходных болотах почвы также плодородны, и их используют в земледелии, но они требуют внесения извести и удобрений. Торф верховых болот используют на топливо, подстилку скоту или после обогащения органическими веществами — на удобрения.

Все болота выполняют в природе важные водорегулирующие, средообразующие и экологические функции. Из болот вытекают многие равнинные реки, весной они выполняют водорегулирующую роль; на них очень разнообразная флора и фауна, места обитания которых ограждены от влияния человека; болота обладают барьерными свойствами на пути миграции загрязнителей, торф и растительность имеют существенную очищающую способность. Поэтому осушение болот требует экологического и экономического обоснования. Вблизи населенных пунктов осушение болот способствует оздоровлению местного климата, препятствует возникновению болезней, например малярии.

Направление сельскохозяйственного использования осушаемых земель устанавливают перед осушением, так как от этого зависят способы осушения, а также учитывают особенности водного, теплового, химического режимов почв. На осушаемых торфяных почвах недопустимы чистые пары во избежание потерь пита-

тельных веществ и развития эрозии. Также нельзя несколько лет подряд выращивать пропашные культуры, так как при многочисленных обработках почвы торф быстрее разрушается и минерализуется. На осушаемых торфяниках целесообразно размещать менее теплолюбивые культуры с укороченным вегетационным периодом, более влаголюбивые, требовательные к азотному питанию (травы, кормовые, картофель, многие овощи и корнеплоды). Маломощные торфяники целесообразно использовать под кормовые угодья, в основном сенокосы. Мощные (более 1 м) торфяники используют под пашню с лугово-кормовыми, овоще-кормовыми, полевыми севооборотами, причем травы должны составлять не менее 50 % структуры севооборота.

На осушаемых минеральных землях размещают полевые, кормовые и овощные севообороты, причем для овощных обычно требуется двухстороннее регулирование водного режима. Осушаемые пойменные земли, если они продолжают затопливаться паводковыми водами, распахивать не рекомендуется. Их используют как кормовые угодья. Распашка пойм допустима при скоростях течения талых вод не более 0,2 м/с. На защищенных от затопления поймах выращивают овощи.

Агротехника на осушаемых землях должна быть направлена на поддержание структуры и плодородия почвы, защиту ее от разрушения и выноса питательных веществ. На минеральных почвах вносят органические и минеральные удобрения в дозах, поддерживающих положительные балансы питательных веществ и гумуса. На торфяниках вносят калийные и фосфорные удобрения в дозах, соответствующих содержанию азота. Важно поддерживать содержание микроэлементов, особенно меди и бора. На кислых почвах проводят известкование.

Осушаемые торфяники пожароопасны, необходимы специальные мероприятия, предупреждающие их возгорание, а также сооружения для облегчения тушения пожаров.

7.3.3.2. Осушительные системы

Осушительная система — это комплекс природных, хозяйственных и инженерно-технических элементов, предназначенный для регулирования водного режима на переувлажненных землях. Осушительная система состоит из регулирующей, проводящей, ограждающей сети; дорог; гидротехнических сооружений; сети, сооружений и устройств для увлажнения почв; природоохранных сооружений и устройств; средств связи, контроля и управления; производственных и жилых зданий и построек службы эксплуатации.

Схема расположения некоторых элементов осушительной сети показана на рисунке 7.27. Осушительную систему обязательно привязывают к водоприемнику, от его состояния и способности принимать отводимые осушительной системой избыточные воды во многом зависит возможность и эффективность осушения. Отвод воды в водоприемник может существенно повлиять на его режим.

Осушительные системы разделяют по конструкции элементов сети (закрытые, открытые, комбинированные); по размещению на территории (систематические, выборочные, ограждающие); по возможностям регулирования водного режима (осушительные, обеспечивающие отвод воды, и увлажнительно-осушительные, обеспечивающие отвод воды и увлажнение почв); по сопряжению с водоприемником (самотечные, с машинным отводом воды); по степени организации водооборота (неводооборотные — вся вода с осушаемой территории сбрасывается в водоприемник, с частичным водооборотом — часть стока задерживается в прудах и каналах и ее используют в летний период для увлажнения почв и других нужд, водооборотные — весь сток используется на осушаемой площади).

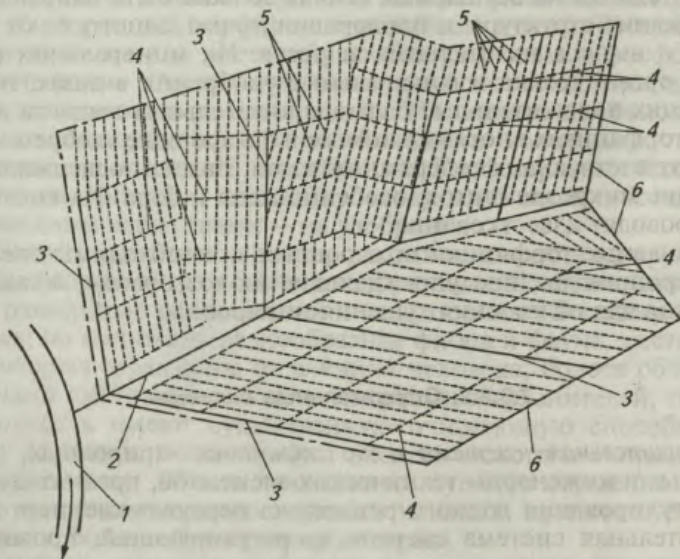


Рис. 7.27. Схема расположения осушительной сети:

1 — водоприемник; 2 — магистральный канал; 3, 4 — открытый и закрытый коллекторы; 5 — регулирующая осушительная сеть; 6 — ограждающая сеть

7.3.3.3. Причины переувлажнения земель, типы водного питания

Для выявления причин переувлажнения земель, обоснования методов улучшения водного режима, определения количества избыточной воды, составления прогнозов динамики грунтовых вод необходим качественный и количественный анализ природных условий. Качественный анализ устанавливает тип водного питания переувлажненных земель, количественный анализ основан на составлении и анализе водных балансов территории.

Тип водного питания указывает основные источники поступления избыточных вод, которые при соответствующих природных условиях приводят к переувлажнению почвенного слоя. От типа водного питания зависит метод осушения.

Схема формирования водного режима на различных элементах рельефа показана на рисунке 7.28. На водоразделах водный режим почв формируется в основном осадками и испарением, грунтовые воды расположены глубоко и не оказывают влияния на процессы почвообразования. В верхних частях склонов условия такие же, но начинает образовываться поверхностный сток. В средней части склонов увеличивается роль поверхностного притока и стока, может появиться влияние грунтовых вод. В нижней части склонов в увлажнении почв участвуют осадки, поверхностные и грунтовые воды. В долинах, поймах, на прибрежных территориях в формировании водного режима почв участвуют осадки, поверхностный и подземный притоки со склонов, напорное питание из глубоких горизонтов подземных вод, разливы рек или колебания уровней воды в озерах, морях; фильтрация из рек, озер, водохранилищ.

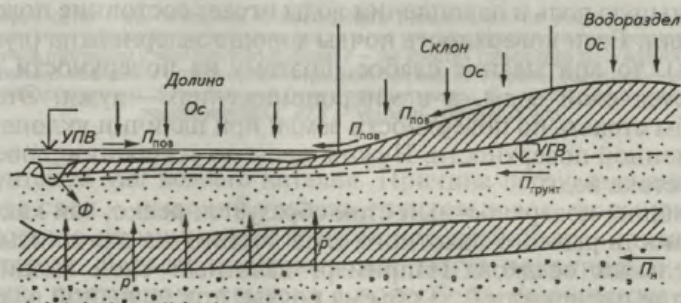


Рис. 7.28. Схема формирования водного режима на различных элементах рельефа:

Ос — осадки; УПВ — уровень паводковых вод; $P_{пов}$, $P_{грунт}$, $P_н$ — приток поверхностных, грунтовых, напорных вод; p — напорное питание грунтовых вод; Φ — фильтрация из водоприемника

В соответствии с основными элементами питания, формирующими водный режим почв, определяют типы питания и причины переувлажнения земель.

Основные типы водного питания выделены и охарактеризованы А. Д. Брудастовым: атмосферный, грунтовый, грунтово-напорный, намывной. Часто наблюдается смешанный тип водного питания. А. Д. Брудастов еще в 1927 г. водное питание рассматривал в связи с зольным питанием, т. е. рассматривал гидрогеохимические потоки в сопряженных фациях или ландшафтных катенах, предвосхитив ландшафтный подход, появившийся в географической науке позднее (см. разд. 12). Зольное питание, т. е. наличие в поверхностных и подземных водах растворенных веществ (биогенов), предопределяет растительный покров и направленность почвообразования.

Атмосферный тип водного питания. Источник избыточной воды — атмосферные осадки, выпадающие непосредственно на рассматриваемой территории. Причины переувлажнения: длительный застой поверхностных и почвенных вод, образованных из осадков, слабое впитывание и стекание воды (рис. 7.29, а) на фоне незначительного испарения в гумидной зоне. Признаки земель с атмосферным типом водного питания: расположение на водоразделах и верхних частях склонов; рельеф плоский, безуклонный, с микропонижениями; большая шероховатость поверхности из-за закоряченности, высокой густой растительности; почвы и грунты слабопроницаемые; грунтовые воды глубокие; площадь осушения совпадает с площадью водосбора; недостаточное испарение.

Земли атмосферного питания — это верховые болота и минеральные переувлажненные земли со слабопроницаемыми глинистыми почвами. Почвы этих земель бедны питательными веществами. Большую роль в накоплении воды играет состояние поверхности земли. Если поверхность почвы хорошо задернована (луга, пастбища), то впитывание слабое, поэтому на поверхности почвы образуется слой воды, а в микропонижениях — лужи. Эта вода могла бы стекать по поверхности земли при наличии уклона и при выровненной поверхности. Нужны меры по ускорению поверхностного стока воды.

На пашне поверхностный сток образуется редко, так как водоемкость рыхлого пахотного слоя достаточна для впитывания значительных осадков. Например, пахотный слой мощностью 0,25 м при пористости 0,55 объема почвы, при исходной влажности 0,6 пористости и полной влагоемкости 0,95 пористости может впитать слой воды: $0,25 \cdot 1000 (0,95 - 0,60) 0,55 = 48$ мм, что больше, чем может выпасть при сильных осадках. Таким образом, вода накапливается в пахотном слое, для осушения почв надо ускорить сток почвенной влаги.

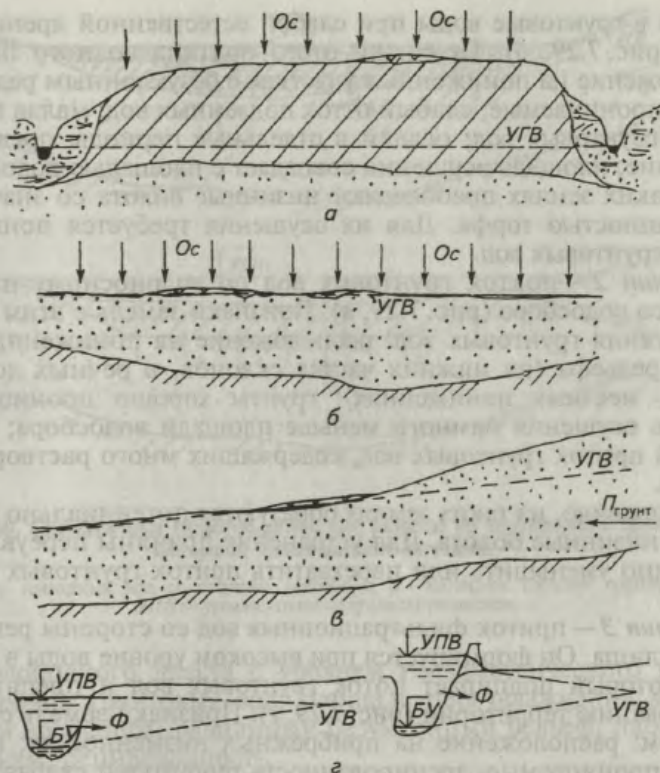


Рис. 7.29. Схематичные гидрогеологические разрезы:

а — по территории с атмосферным типом водного питания; *б* — по участку грунтового типа водного питания с бассейном грунтовых вод; *в* — по участку грунтового типа водного питания с подземным притоком с внешнего водосбора; *г* — по участку грунтового типа водного питания аллювиального подтипа с притоком фильтрационных вод со стороны водоприемника; УПВ — уровень паводковых вод; БУ — бытовой (меженный) уровень; Ф — фильтрационный приток из водоприемника; УГВ — уровень грунтовых вод

Грунтовой тип водного питания. Причина переувлажнения почвенного слоя — высокий уровень грунтовых вод, формирующихся в хорошо проницаемых грунтах при слабой дренированности территории. Запасы грунтовых вод могут пополняться за счет осадков, подземного притока с водосбора, фильтрации из рек, озер, водохранилищ. В соответствии с путями поступления грунтовых вод различают три подтипа грунтового типа водного питания.

Подтип 1 — бассейн грунтовых вод. Он формируется непосредственно на переувлажненной территории за счет фильтрации

осадков в грунтовые воды при слабой естественной дренированности (рис. 7.29, б). Признаки этого подтипа водного питания: расположение на пониженных участках с безуклонным рельефом; грунты проницаемые; слабый отток подземных вод; малая глубина уровня грунтовых вод; осадки в отдельные периоды превышают испарение; площадь осушения совпадает с площадью водосбора.

На таких землях преобладают низинные болота со значительной мощностью торфа. Для их осушения требуется понижение уровня грунтовых вод.

Подтип 2 — приток грунтовых вод по водоносному пласту с внешнего водосбора (рис. 7.29, в). Признаки земель с этим подтипом питания грунтовых вод: расположение на пониженных элементах рельефа (на нижних частях склонов, в речных долинах, поймах, местных понижениях); грунты хорошо проницаемые; площадь осушения намного меньше площади водосбора; значительный приток грунтовых вод, содержащих много растворенных веществ.

Как правило, на таких землях образуются потенциально плодородные низинные болота. Для устранения причины переувлажнения нужно уменьшить или перехватить приток грунтовых вод на участок.

Подтип 3 — приток фильтрационных вод со стороны реки, водохранилища. Он формируется при высоком уровне воды в источнике, который подпирает поток грунтовых вод и препятствует дренированию территории (рис. 7.29, г). Признаки земель с таким питанием: расположение на прибрежных низменностях; грунты хорошо проницаемые; дренированность территории слабая.

Такие земли обычно располагаются в поймах рек, приозерных низинах, зонах подтопления водохранилищ, особенно равнинных. Для их осушения требуется уменьшить или перехватить фильтрационный приток.

Грунтово-напорный тип водного питания. Источник переувлажнения земель — напорные подземные воды. Причина переувлажнения — значительный приток напорных подземных вод из-за высокого уровня пьезометрического напора в нижезалегающем водоносном пласте при слабой естественной дренированности территории. Напор в водоносном пласте образуется за счет разности высот области формирования и области разгрузки подземных вод. Разгрузка напорных вод может происходить путем выклинивания их через гидрогеологические окна в покровном пласте, нередко с образованием озер родникового питания, и путем подпитывания грунтовых вод через сплошной слабопроницаемый покровный или разделяющий пласт (рис. 7.30). Признаки земель с этим типом водного питания: расположение на пониженных элементах рельефа (долины, поймы, нижние части склонов); наличие напор-

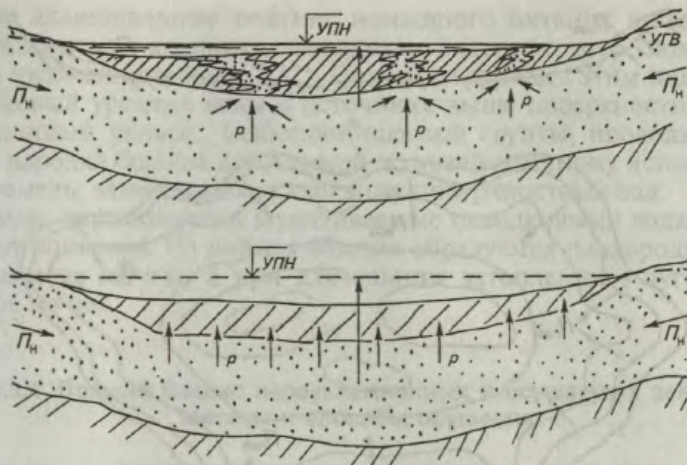


Рис. 7.30. Схематичные гидрогеологические разрезы по территории с грунтово-напорным типом водного питания:

Π_n — приток напорных вод со стороны водосбора; p — напорное питание грунтовых вод; УПН — уровень пьезометрического напора

ного водоносного пласта с уровнем пьезометрического напора выше уровня грунтовых вод; площадь переувлажнения меньше площади водосбора; равнинный безуклонный рельеф; плохая естественная дренированность.

На таких землях образуются низинные болота. Чтобы устранить причину переувлажнения, нужно снизить уровень пьезометрического напора подземных вод. Интенсивность напорного питания грунтовых вод можно определить по уравнению Дарси:

$$p = k_0 \Delta h / T_0, \quad (7.33)$$

где k_0 , T_0 — соответственно коэффициент фильтрации и мощность покровного или разделяющего слабопроницаемого пласта, через который фильтруются напорные воды под действием превышения уровня пьезометрического напора над уровнем грунтовых вод Δh .

Намывной тип водного питания. Источник переувлажнения — поверхностные воды, поступающие на территорию со стороны. Причина переувлажнения — отсутствие стока и впитывания накопившихся поверхностных вод. Различают два подтипа намывного питания: делювиальный и аллювиальный.

При делювиальном (склоновом) подтипе поверхностные воды поступают с окружающих склонов (рис. 7.31). На плане видны

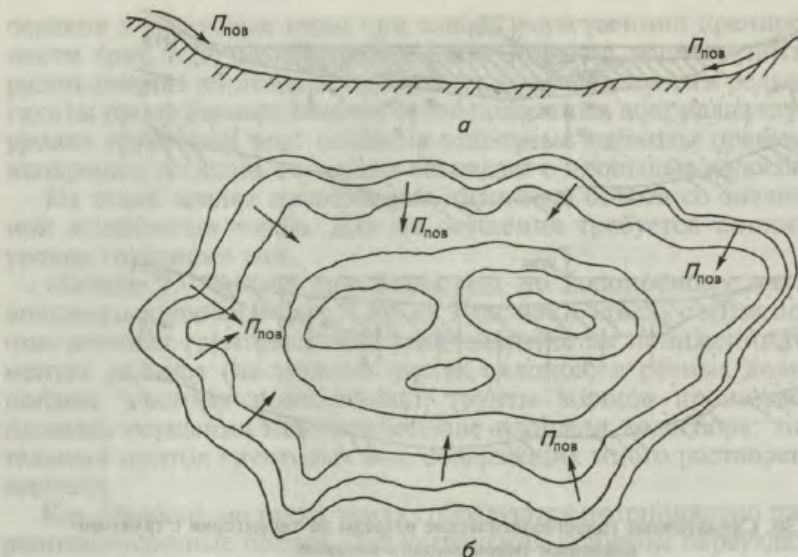


Рис. 7.31. Схематичный разрез (а) и общий вид на плане (б) участка с намывным делювиальным типом водного питания:

$\Pi_{\text{пов}}$ — приток поверхностных вод со склонов

замкнутость понижений и бессточность участка, характерное образование промоин и оврагов на склонах. Признаки этого типа водного питания: расположение в замкнутых бессточных понижениях; рельеф выровненный, безуклонный; слабопроницаемые грунты склонов и низины; площадь переувлажнения меньше площади водосбора.

На таких землях образуются низинные болота с плодородными почвами. Для осушения земель требуется предотвратить поступление поверхностного притока с соседних земель.

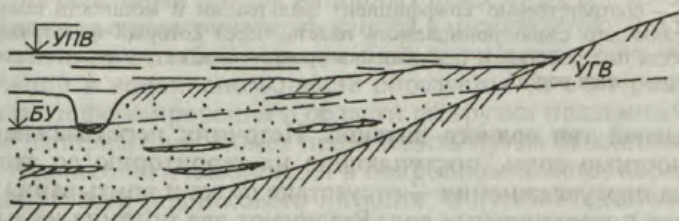


Рис. 7.32. Схематичный гидрогеологический разрез части речной поймы с намывным аллювиальным типом водного питания

При аллювиальном подтипе намывного питания источником переувлажнения являются паводковые воды рек, озер, затапливающие низменность (рис. 7.32). Признаки земель с этим подтипом: паводковый уровень воды в источнике выше поверхности земли, безуклонный рельеф, слабопроницаемые грунты, продолжительность паводка больше допустимой по хозяйственному использованию земель; замедленность стекания поверхностных вод.

Земли, периодически затапливаемые паводковыми водами, называют поймами. На поймах обычно образуются плодородные аллювиальные почвы, а при длительном затоплении — лугово-болотные почвы.

7.3.3.4. Водный баланс переувлажненных и осушаемых земель. Методы и способы осушения

Для переувлажненных земель приходится составлять и анализировать различные водные балансы: для разных ситуаций (естественные условия, проектные условия); вариантов проектируемых мелиораций (осушение, осушение с увлажнением земель); продолжительностей расчетного периода (годовые — среднегодовые и расчетной обеспеченности, сезонные — вегетационный, не-вегетационный, весенний, летне-осенний и т. д.); для разных площадей (площадь водосбора, осушаемый участок, 1 га).

Так как переувлажненные земли связаны водными потоками с соседними землями (природные объекты — открытые геосистемы), то для повышения достоверности надо составлять балансы для сопряженных фаций, включая примыкающие возвышенности, склоны и понижения, дренируемые водотоками.

Желательно, чтобы все составляющие элементы балансов для существующих условий были определены непосредственными замерами или рассчитаны по замерам. Невязки в уравнениях показывают наличие ошибок в определении слагаемых и необходимость дополнительных изысканий. Элементы водного баланса для немелиорируемой территории показаны на рисунке 7.33, а формулы баланса приведены в разделе 3.5 [формулы (3.37)...(3.40)].

В различных геоморфологических и гидрогеологических условиях и при разных типах водного питания переувлажненных земель отдельные составляющие баланса могут отсутствовать или быть малы. Так, при атмосферном типе водного питания на переувлажненных землях приток поверхностных и подземных вод со стороны отсутствует, впитывание и водообмен малы, а на непереувлажненных впитывание и промываемость почвы значительны.

При грунтовом типе водного питания напорное подпитывание отсутствует, в подтипе 1 с бассейном грунтовых вод малы приток и

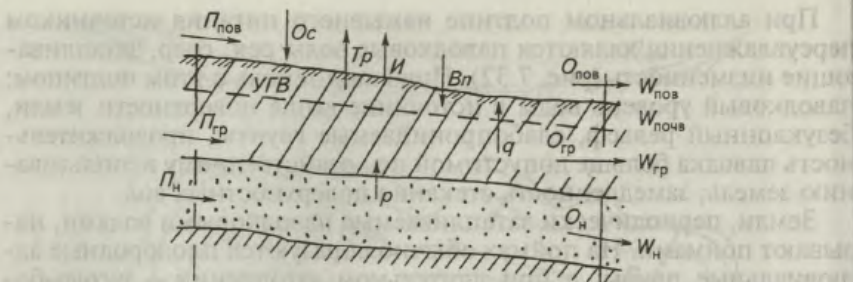


Рис. 7.33. Элементы водного баланса для немелиорируемой территории:

$P_{пов}$, $P_{гр}$, $P_{н}$, $O_{пов}$, $O_{гр}$, $O_{н}$ — притоки и оттоки поверхностных, грунтовых, напорных вод; $Oс$ — осадки; $Тр$ — транспирация; $И$ — испарение с поверхности листьев, водной поверхности и почвы; $Вп$ — впитывание; q — обмен почвенных и грунтовых вод; p — напорное питание грунтовых вод; $W_{пов}$, $W_{почв}$, $W_{гр}$, $W_{н}$ — запасы поверхностных, почвенных, грунтовых, напорных вод

отток грунтовых вод; в подтипах 2 и 3 приток грунтовых вод с водосбора или от реки велик, а отток практически отсутствует.

При грунтово-напорном типе водного питания значительную роль в балансе играет напорное подпитывание. При намывном питании значителен приток поверхностных вод, а их отток мал.

Анализируя балансы, надо иметь в виду, что за длительный период на переувлажненных землях устанавливается среднесреднее равновесие между приходными и расходными статьями, накопление запасов воды или их сработка не происходят. Для выявления причин переувлажнения надо анализировать короткие периоды: влажные годы, отдельные периоды года (весенний паводок, дождливые летние периоды).

Из балансов для естественных (до мелиорации) условий можно определить, за счет каких элементов баланса, в каком балансовом слое и в каком количестве происходит накопление воды на территории. Если $\Delta W_{пов} > 0$, то за анализируемый период поверхностные воды накапливаются на территории за счет поверхностного притока и осадков, следовательно, надо уменьшить или полностью перехватить приток и усилить отток и впитывание. Усилить впитывание поверхностных вод в почву специальными мероприятиями нецелесообразно, так как отводить почвенные и грунтовые воды намного труднее, чем поверхностные, на это требуется много времени.

При $\Delta W_{почв} > 0$ за анализируемый период происходит накопление почвенных вод. Улучшить баланс почвенных вод можно, уменьшив впитывание и увеличив просачивание воды вглубь. Од-

нако при этом в почве образуется сильная промываемость, что ухудшает плодородие почвы, требует внесения повышенных доз удобрений, загрязняет грунтовые воды выносимыми из почвы веществами. Уменьшают впитывание воздействием на баланс поверхностных вод. Таким образом, баланс почвенной вод на задернованных слабопроницаемых почвах целесообразно регулировать путем отвода поверхностных вод, а на пашне — ускорением внутрипочвенного стока.

При $\Delta W_{гр} > 0$ на территории накапливаются грунтовые воды и повышается их уровень. Уменьшить запасы грунтовых вод можно уменьшением или перехватом их притока, усилением оттока и уменьшением напорного подпитывания. Методы воздействия на баланс грунтовых вод: перехват подземного притока со стороны, отвод грунтовых вод, снижение напорности в подстилающем водоносном пласте.

Пример водных балансов для земель в долине р. Дубны (Московская обл.) приведен в таблице 12.8.

На возвышенных элювиальных фациях в долине р. Дубны (см. разд. 12, табл. 12.8) из-за хорошей дренированности переувлажнение не образуется, промываемость очень сильная, в среднем 263 мм за год, значителен отток грунтовых вод и поэтому суммарное испарение за лето меньше осадков, растения летом испытывают недостаток влаги. Следовательно, на этих фациях осушение не нужно, требуется орошение в отдельные засушливые годы.

Трансэлювиальная фация (склон) увлажнена неравномерно, в верхней части осушение не нужно, а основание склона переувлажнено, летом образуется поверхностный сток, испарение гораздо больше за счет большего увлажнения, в среднем почвы здесь промыты меньше.

На пониженной супераквальной фации долины имеет место типичное грунтовое питание за счет большой боковой приточности, превышающей осадки в 1,25 раза, отток в реку мал из-за высокого уровня в водоприемнике. Из-за малых глубин грунтовых вод впитывание талых вод также меньше, чем на возвышенностях, обильные осадки летом не могут впитаться и образуется их поверхностный сток в количестве 66 мм. Почвы обильно подпитываются со стороны грунтовых вод.

Анализ составляющих водного баланса показывает, что переувлажненные земли часто являются азональными объектами, имеющими увлажнение, отличное от зонального, характерного для возвышенных фаций, поэтому о потребности в осушении нельзя судить по зональным характеристикам.

Антропогенное влияние даже на один элемент баланса нарушает природное равновесие и изменяет все остальные статьи баланса (как, например, показывает табл. 12.7). Поэтому для условий осушения необходимо составлять новые водные балансы.

Одновременно с уравнениями водных балансов при осушении земель должны быть составлены прогнозы питательного, теплового, солевого (изменение кислотности), воздушного режимов, ба-

ланс гумуса, рассмотрены варианты мелиоративного режима с эколого-экономической оценкой. Анализ водных балансов дает основание для оценки влияния мелиораций на окружающую среду (ОВОС).

Методом осушения называют направление воздействия на факторы переувлажнения территории. Технические средства осушения называют *способами осушения*. Для осуществления методов осушения служат регулирующие и ограждающие осушительные сети. Регулирующая осушительная сеть отводит поверхностные или грунтовые воды с осушаемого участка. Поверхностные и внутрипочвенные воды отводят с помощью открытых и закрытых собирателей, грунтовые воды — дренажем. Ограждающая осушительная сеть перехватывает поверхностные и подземные притоки воды на участок со стороны водосбора и водоприемника. Для этого предназначены нагорные каналы, головные и береговые дренажи. Для защиты от затопления паводковыми водами служат ограждающие дамбы. Методы и способы осушения, соответствующие выделенным типам водного питания, приведены в таблице 7.8.

7.8. Методы и способы осушения

Тип водного питания	Причина переувлажнения	Метод осушения	Способ осушения
Атмосферный	Недостаточный сток поверхностных и почвенных вод	Ускорение поверхностного и внутрипочвенного стока	Открытые и закрытые собиратели, агро-мелиоративные мероприятия
Грунтовый:		Понижение уровня грунтовых вод путем:	
бассейн грунтовых вод	Высокий уровень грунтовых вод из-за недостаточного их оттока	отвода грунтовых вод	Систематический дренаж
приток грунтовых вод с водосбора	То же	перехвата потока грунтовых вод с водосбора	Ограждающий головной дренаж, ловчие каналы
фильтрация из рек, водохранилищ		перехвата фильтрационных вод	Ограждающий береговой дренаж
Грунтово-напорный	Высокое положение пьезометрической поверхности	Снижение напорного питания грунтовых вод	Вертикальный дренаж, систематический или ограждающий

Тип водного питания	Причина переувлажнения	Метод осушения	Способ осушения
Намывной: делювиальный	Приток поверхностных вод с водосбора при плохом оттоке	Перехват поверхностного притока с водосбора	Нагорные каналы
аллювиальный	Затопление речными водами	Защита от затопления	Обвалование территории, откачка вод

7.3.3.5. Регулирующая осушительная сеть

Регулирующая сеть обеспечивает на осушаемых землях водный режим, требуемый растениями и сельскохозяйственным производством. Переувлажненные почвы имеют плохие физические и химические свойства, низкое плодородие. Это вызвано недостатком воздуха, развитием анаэробных процессов, повышенной кислотностью, вымывом питательных веществ, недоступными для растений формами питательных веществ. Для улучшения условий почвообразования должно быть достаточное количество почвенного воздуха для активной деятельности аэробных микроорганизмов, играющих основную роль в разложении растительных остатков. Содержание почвенного воздуха должно быть не менее 15...20 % пористости — для трав; 20...30 — для зерновых; 35...40 % — для корнеплодов и овощей. В отличие от орошения, которое призвано ликвидировать недостаток влаги в почве, осушение устраняет недостаток почвенного воздуха. Из этого следуют отличия в требованиях к оптимальной влажности почвы на иссушенных и переувлажненных землях. На последних влажность всегда несколько больше, отчасти из-за культивирования более влаголюбивых культур.

Также необходимо внесение органических и минеральных удобрений, известкование кислых почв. Осушение земель, их распашка и поддержание влажности почв в пределах 80...65 % пористости способствуют повышению энергии почвообразования и улучшению почв. Необходимо также обеспечить допустимые сроки затопления посевов в весеннее и летнее время.

Оптимальные значения влажности почвы в корнеобитаемом слое зависят от вида сельскохозяйственной культуры, фазы ее развития, свойств почвы: для зерновых культур — 55...75 % пористости (а не ППВ, как в орошении!), для овощей, картофеля и корнеплодов — 60...80, для трав — 65...85 %.

Влажность почвы зависит от глубины грунтовых вод, поэтому

по оптимальной влажности и высоте капиллярного поднятия устанавливают требуемые глубины грунтовых вод. Оптимальные для данного хозяйственного использования осушаемых земель глубины грунтовых вод называют *нормами осушения*. В них учитывают как требования сельскохозяйственных культур, так и условия проведения всех видов сельскохозяйственных работ (табл. 7.9).

7.9. Нормы осушения, см, в зависимости от использования земель и периода

Использование земель	Период		
	Предпосев- ной и уборка урожая	Первый месяц вегетации	В среднем за вегетацию
Полевые, кормовые, овощные севообороты	40...60	80...90	90...110
Пастбища	—	65...70	75...80
Сенокосы	—	40...60	60...70

Примечание. Меньшие значения норм осушения принимают для песчаных и супесчаных почв, большие — для связных минеральных почв и торфяников.

Затопление поверхности земли водами весеннего паводка допускается в пределах, выдерживаемых растениями и не нарушающих оптимальных сроков сева. Затопление полей с озимыми культурами не допускается. Естественные травы выдерживают затопление до 25 сут, искусственные сенокосы — до 15 сут. Для остальных пахотных земель затопление допустимо в ограниченные сроки: при полевых севооборотах без озимых культур — до 5...10 сут, при овоще-кормовых — до 10...15 сут.

В период вегетации затопление и подтопление сельскохозяйственных угодий возможны при обильных осадках и при прохождении летне-осенних дождевых паводков. Сроки затопления и сроки отвода избыточной воды из корнеобитаемого слоя почвы в вегетационный период для полевых, овощных, кормовых культур и пастбищ не должны превышать 1,5 сут, для сенокосов — 3 сут.

Механизированные сельскохозяйственные работы также предъявляют определенные требования к влажности почвы и параметрам осушительной сети. Влажность влияет на несущую способность почв и проходимость сельскохозяйственной техники. Условия проходимости машин и агрегатов определяются типом почвы, степенью ее окультуренности и влажностью. Для современной сельскохозяйственной техники несущая способность почв должна быть не менее 1400...1500 Па. Для верхнего слоя торфяной почвы зависимость несущей способности от глубины грунтовых вод показана на рисунке 7.34, а — по А. И. Голованову, а для тяжелосуглинистых почв и глин на рисунке 7.34, б показан график Н. В. Акимова.

Обычно требуемая несущая способность осушаемых почв в ве-

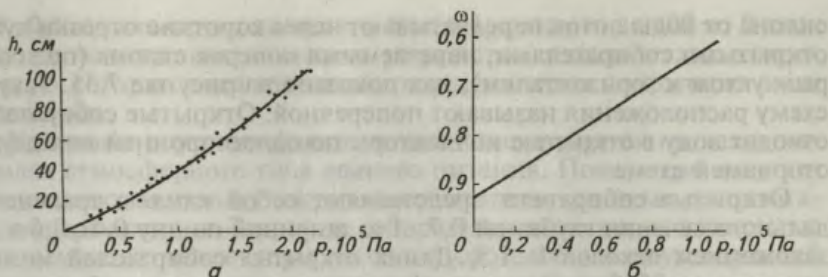


Рис. 7.34. Зависимость несущей способности торфяников (а) от глубины грунтовых вод (по А. И. Голованову), тяжелосуглинистых и глинистых почв (б) от их влажности (по Н. В. Акимову):

p — несущая способность почвы или грунта; h — глубина грунтовых вод; ω — относительная влажность почвы

сенный период обеспечивается при глубине грунтовых вод не меньше 0,5...0,6 м. Для своевременного начала сельскохозяйственных работ эта норма должна быть обеспечена в течение двух недель после схода снежного покрова. В период уборки урожая норма осушения должна быть не менее 0,7 м.

Для обеспечения производительной работы сельскохозяйственных машин предъявляют требования к форме и размерам севооборотных участков и полей: форма полей должна быть правильной, соотношение сторон поля не более 3, минимальный размер стороны поля 400 м, границы полей и севооборотных участков совмещают с трассами каналов и коллекторов.

При атмосферном типе водного питания переувлажненных земель регулирующая сеть должна ускорить поверхностный и внутрипочвенный сток.

Ускорение поверхностного стока. Сток поверхностной воды по плотной задернованной поверхности земли возможен при наличии уклона и отсутствии замкнутых понижений. Поэтому прежде всего должны быть проведены планировка (выравнивание) поверхности земли, засыпка ям, небольших понижений, старых каналов и русл, образование хотя бы незначительных уклонов местности. При этих работах, безусловно, должен быть восстановлен нарушенный гумусовый слой.

Поверхностные воды стекают по склону длиной L со скоростью v за время $t = L/v$, которое на переувлажненных землях больше допустимого. Возможно некоторое повышение скорости течения воды по поверхности путем уменьшения коэффициента шероховатости поверхности скашиванием травы, заменой растительности. Для значительного уменьшения времени освобождения

склона от воды поток перехватывают через короткие отрезки пути открытыми собирателями, нарезаемыми поперек склона (под острым углом к горизонталям), как показано на рисунке 7.35. Такую схему расположения называют поперечной. Открытые собиратели отводят воду в открытые коллекторы по односторонней или двухсторонней схеме.

Открытые собиратели представляют собой каналы трапециевидального сечения глубиной 0,7...1 м, шириной по дну 0,4...0,6 м, с заложением откосов 1...1,5. Длина открытых собирателей может доходить до 1000 м, если рельеф местности позволяет обеспечить им благоприятный продольный уклон. Расстояния между открытыми собирателями рассчитывают. Для этого составляют и решают балансовые уравнения формирования поверхностного потока на склоне для фаз нарастания слоя воды в начале процесса, установившегося режима течения воды, спада потока после окончания осадков. Расстояния между собирателями определяют из условия обеспечения нормативного времени отвода воды. Они бывают порядка 50...100 м.

При наличии замкнутых микропонижений в период эксплуатации земель от них к собирателям устраивают направляющие отводные борозды. При сложном микрорельефе и малом общем уклоне собиратели не будут параллельны, как на рисунке 7.35, их сеть будет сложной в плане. Вместо открытых собирателей возможно устройство нерегулярной сети искусственных ложбин (уполоненных засеваемых понижений), не препятствующих работе сельскохозяйственной техники. Глубину ложбин принимают

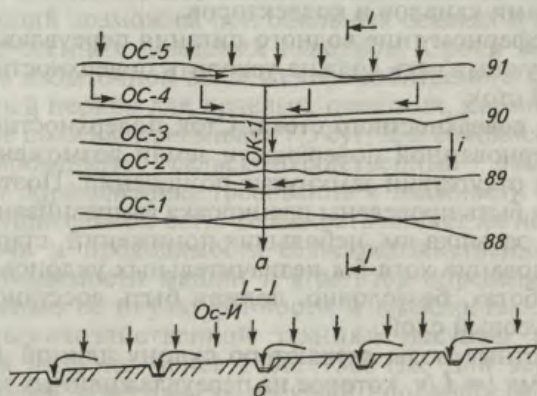


Рис. 7.35. Схемы расположения открытых собирателей:

a — на плане; *б* — в разрезе; *ОС-1...ОС-5* — открытые собиратели; *ОК* — открытый коллектор; *Ос* — осадки; *И* — испарение

0,3...0,4 м, заложение откосов — более 4, длину — до 400 м. В замкнутых понижениях возможно устройство поглощающих колодцев, из которых вода отводится открытыми или закрытыми коллекторами.

Ускорение внутрипочвенного стока. Оно требуется на пахотных землях атмосферного типа водного питания. Почвенную воду перехватывают и отводят закрытые собиратели, которые располагают поперек склона. Закрытые собиратели отводят воду в закрытые или открытые коллекторы по односторонней или двухсторонней схеме так же, как показано для открытых собирателей.

Закрытые собиратели выполняют из дренажных труб (гончарных, пластмассовых), уложенных в траншеи с расчетным уклоном и засыпанных хорошо проницаемым материалом (рис. 7.36). Такая конструкция закрытых собирателей, предложенная А. Д. Брудастовым, позволяет отводить поверхностные воды, фильтрующиеся через пахотный слой и проницаемую засыпку, гравитационные почвенные воды и грунтовую воду из подпахотного слоя в случае полного насыщения грунта до пахотного слоя. В последнем случае закрытый собиратель работает и как дрена, отводя грунтовую воду. Такое совмещение функций собирателя и дрены возможно при смешанном типе водного питания.

Поперечный разрез по закрытым собирателям показан на рисунке 7.36. Глубину траншеи принимают 0,9...1,1 м. Увеличивать глубину нецелесообразно из-за увеличения пути и времени фильтрации поверхностной воды в дренажную трубу. Уменьшать глубину собирателя нельзя по условию прочности и надежности при переездах техникой. Ширина траншеи по дну должна быть не менее 0,5 м для обеспечения наилучших условий фильтрации воды. Расстояния между закрытыми собирателями, обеспечивающие отвод поверхностных и почвенных вод в нормативные сроки, определяют расчетом. Для полевых и овоще-кормовых севооборотов, искусственных лугов эти сроки обычно составляют 0,5...3 сут. Теоретические зависимости для расчетов расстояний между закрытыми собирателями приводят в справочной литературе. Обычно они в пределах 8...30 м.

При устройстве закрытых собирателей важный элемент — фильтрующая засыпка траншеи. Коэффициент фильтрации за-

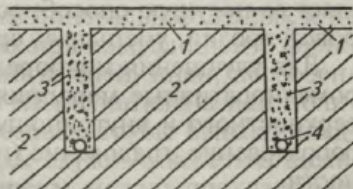


Рис. 7.36. Поперечный разрез по закрытым собирателям:

1 — пахотный слой; 2 — подстилающий грунт; 3 — фильтрующая засыпка; 4 — дренажная труба

сыпки должен в 5...10 раз превышать коэффициент фильтрации грунта и может лишь немного уступать по проницаемости пахотному слою. Засыпка должна сохранять расчетную водопроницаемость в течение нормативного срока службы осушительной системы. Наилучшей считают песчано-гравийную смесь, используют также отходы текстильной промышленности, крошку пенопласта и другие устойчивые проницаемые материалы.

Для усиления действия закрытых собирателей и увеличения расстояний между ними применяют мелиоративные мероприятия, увеличивающие проницаемость почвы: глубокое рыхление, кротование, щелевание, пескование. *Глубокое рыхление* проводят на минеральных почвах при коэффициенте фильтрации подпахотного слоя менее 0,2 м/сут и отсутствии крупных (>30 см) камней в зоне рыхления. Глубина рыхления составляет 0,6...0,8 м. Как правило, одновременно вносят для нейтрализации кислотности и оструктуривания почвы. Повторность глубокого рыхления 3...4 года. Оно сильно действует на химический и питательный режимы почв, поэтому его применение обосновывают.

Кротование применяют на глинистых и суглинистых почвах при требуемых по расчету расстояниях между закрытыми собирателями менее 10 м, при отсутствии камней. Кротовины (цилиндрические протяженные полости в грунте) выполняют специальными машинами (кротователями) на глубину 0,5...0,7 м, с расстояниями 1,0...1,5 м, диаметром 5...7 см. Их направляют поперек закрытых собирателей для отвода почвенных вод. Кротование применяют и на болотах без погребенной древесины при степени разложения торфа более 45 % и его мощности более 0,8 м. На болотах диаметры кротовин 12...15 см, глубины 0,7...0,8 м, расстояния между ними 5...10 м. Кротование повторяют через 1...3 года.

Щелевание проводят после предварительного осушения болот, в том числе с погребенной древесиной, при степени разложения торфа менее 45 % и мощности торфа более 1,2 м. Щели нарезают по перекрестной схеме: параллельно закрытым собирателям — щели глубиной 1 м с расстояниями 8...10 м, а перпендикулярно им — щели-собиратели через 100...150 м длиной до 500 м, пересекающие закрытые собиратели.

Пескование (внесение песка) проводят на торфяно-болотных почвах. Оно улучшает водно-физические свойства почвы, повышает ее несущую способность, снижает опасность пожаров и ветровой эрозии, уменьшает сработку торфа.

Для улучшения микрорельефа поверхности земли проводят агро-мелиоративные мероприятия, способствующие ускорению поверхностного и внутрипочвенного стока: узкозагонную вспашку, бороздование, грядование (гребневание), профилирование поверхности.

Понижение уровня грунтовых вод. Его применяют при грунто-вом типе водного питания. Грунтовые воды отводят дренажами различных конструкций. Для обеспечения равномерного осушения дренаж располагают равномерно по площади и называют систематическим. На сельскохозяйственных землях применяют различные конструкции систематического дренажа: горизонтальный закрытый и открытый, вертикальный, комбинированный. Наиболее распространен горизонтальный закрытый дренаж.

Горизонтальный закрытый систематический дренаж представляет собой проницаемые трубопроводы, заложенные в грунт с определенным уклоном, отбирающие воду из грунта и транспортирующие ее в проводящую сеть. Дрены располагают на плане по поперечной или продольной схеме в зависимости от уклона поверхности земли — поперек или вдоль склона, чтобы обеспечить допустимый уклон дрены без сильного заглубления.

Для устройства дрен применяют неметаллические безнапорные трубы, удовлетворяющие требованиям прочности при перепадах техникой по поверхности земли через трассы дрен, стойкости в агрессивной среде, нормативного срока службы (не менее 50 лет). Используют трубы гончарные, пластмассовые, асбестоцементные, из пористого бетона.

Гончарные трубы выпускают разных диаметров: для дрен — 50, 75 мм, для коллекторов — 100...250 мм, круглого или многогранного сечения, длиной 33 и 50 см. На выровненное дно траншеи трубы укладывают в ряд со стыковыми зазорами 1...2 мм. Для фиксации труб целесообразно применение проницаемых пластмассовых муфт. В неустойчивых грунтах трубы укладывают на специальные стеллажи. Для защиты от вымыва грунта в дрены и увеличения водопримной способности стыки или целиком дрены покрывают фильтрующим материалом (мох, дерн, песок, гравий, стеклохолст, стекловата и др.). Гончарный дренаж строят траншейным способом с помощью экскаваторов-дреноукладчиков. Ширина траншеи по дну 0,5...0,6 м. Для автоматического поддержания заданного уклона дрены применяют лазерные системы. Достоинства гончарных дрен: долговечность, освоенная технология изготовления, недорогое распространенное сырье. Недостатки: плохая транспортабельность труб, неполная механизация строительства.

Пластмассовые трубы применяют на минеральных землях и на предварительно осушенных торфяниках при коэффициенте фильтрации не менее 0,1 м/сут и отсутствии камней, пней, погребенной древесины. Трубы изготавливают из полиэтилена или поливинилхлорида (винилпласта). Пластмассовые трубы бывают гладкие и гофрированные, для приема воды служат отверстия, щели, прорези в трубах. Полиэтиленовые дрены можно прокладывать

летом и зимой, винипластовые — только летом. Трубы выпускают диаметром 50...125 мм. Для их защиты при работе в грунте используют фильтрующие материалы, как и в гончарных дренах. Строительство пластмассового дренажа полностью механизировано. Используют узкотраншейный (ширина траншеи 0,15...0,3 м) и бестраншейный способы строительства. Достоинства пластмассового дренажа: малая масса труб, их хорошая транспортабельность, полная механизация и высокая производительность строительства. Недостатки: высокая стоимость труб, недостаточная прочность и надежность.

При проектировании закрытого горизонтального дренажа должны быть установлены и обоснованы глубина и уклон их заложения, расстояния между дренами, диаметры труб, длина дрен, состав и толщина фильтра. Глубина заложения дрен должна превышать норму осушения на значение действующего напора. Кроме того, для сохранности при прохождении техники по полям глубина заложения труб должна быть не менее 1...1,2 м на минеральных грунтах и 1,2...1,3 м на торфяниках. Для возможности работы дрен зимой и ранней весной глубина их закладки должна быть больше глубины промерзания. По условиям механизации строительства глубина траншеи не должна превышать 4 м. По длине дрены ее глубина может изменяться, но не должна быть меньше минимально допустимой.

Уклон дрены назначают из условия обеспечения допустимых скоростей воды в ней. Минимальный уклон по условию незаиления принят 0,003. Если уклон поверхности земли не меньше минимально допустимого для дрены, то ее укладывают параллельно поверхности земли, при этом получают постоянную глубину дрены. Если уклон поверхности земли меньше минимального для дрены, дренаж заглубляют по длине, обеспечивая ей необходимый уклон. При опасности заохривания дрен (отложений оксидных соединений железа) уклон дрен принимают не менее 0,005 и увеличивают диаметр.

Расстояния между дренами определяют из условий своевременного отвода воды и понижения уровня грунтовых вод. Выбор расчетной формулы зависит от фильтрационной схемы работы дрен, которая учитывает литологическое строение водоносной толщи, источник питания грунтовых вод и положение дрен. Дрену, вскрывающую весь водоносный горизонт, называют совершенной, обычно эта дрена имеет вид канала, доходящего до водопора. Закрытые трубчатые дрена обычно несовершенны, они могут быть «висячими» или лежать на водоупоре.

Расчетные схемы для горизонтального дренажа показаны на рисунке 7.37. Расчетные формулы для различных схем приведены в справочниках и руководствах. Расстояния между дренами зави-

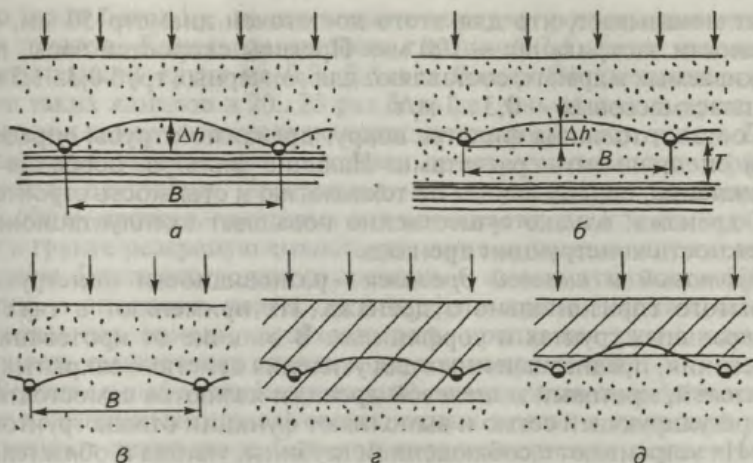


Рис. 7.37. Расчетные фильтрационные схемы для горизонтального дренажа:

a, б — несовершенные дрены в однородном водоносном пласте на водоупоре и «висячая»;
в — при глубоком водоупоре; *г, д* — в двухслойном пласте; *B* — расстояние между дренами;
 Δh — напор фильтрационного потока к дрене; *T* — расстояние дрены от водоупора

сят от требуемой интенсивности отвода грунтовых вод, которая входит во все расчетные формулы. Интенсивность отвода грунтовых вод устанавливают из баланса грунтовых вод для периода весеннего снеготаяния.

Наиболее часто применяют формулы А. Н. Костякова (7.31) и С. Ф. Аверьянова (7.32). Эти формулы выведены для установившегося режима движения грунтовых вод, который редко наблюдается при работе дренажа, поэтому их применяют с осреднением переменных параметров. При необходимости проверки работы дренажа в отдельные периоды используют формулы для неустановившегося режима притока воды к дренам.

Длина дрен при диаметре до 100 мм может достигать до 250 м. На безуклонных землях дрены заглубляют от истока к устью, что создает неравномерность осушения. Поэтому установлена максимально допустимая разность глубин дрены в истоке и устье (0,3...0,4 м). С этим допущением при нулевом уклоне поверхности земли по трассе дрены ее длина не должна превышать 100 м. У коротких дрен эксплуатационная надежность выше, но при этом возрастают суммарная длина коллекторов и число сопряжений дрен с коллекторами.

Диаметр дрены принимают так, чтобы дрена пропускала расчетный расход неполным сечением с допустимыми скоростями.

Опыт показывает, что для этого достаточен диаметр 50 мм, при опасности заохривания — 100 мм. Пределы скоростей воды, поддерживаемых в дренах, составляют для гончарных труб 0,3...1,5 м/с, для пластмассовых — 0,3...3 м/с.

Состав и толщина фильтра вокруг дренажной трубы определяются специальными расчетами. Наличие фильтра, особенно его усложнение, сильно влияет на технологию и стоимость строительства дренажа, однако существенно повышает эксплуатационную надежность конструкции дренажа.

Кротовый и щелевой дренажи — разновидности конструкции закрытого горизонтального дренажа. Их применяют в тяжелых минеральных грунтах и торфяниках. В отличие от кротования и щелевания, предназначенных для усиления действия закрытых собирателей, кротовый и щелевой дренажи являются самостоятельной регулирующей сетью и выполняют функции отвода грунтовых вод. Их устраивают с соблюдением глубины, уклона и обязательно сопрягают с коллектором. Устья дрен крепят трубами. Коллекторную сеть выполняют открытой.

Кротовый дренаж применяют на минеральных землях без камней и на торфяниках без погребенной древесины. Глубины дрен 0,7...0,9 м, уклоны 0,003...0,005, расстояние между дренами 5...10 м, длины дрен 100...200 м, диаметр 5...7 см в минеральных грунтах, 12...15 см в торфяниках. Кротовые дрены располагают поперек уклона местности. Срок службы кротовых дрен 1...5 лет в минеральных грунтах, 3...5 лет в торфяниках. Исследуют различные способы закрепления стенок кротовых дрен для увеличения срока их службы, но они пока дороги для использования в производстве.

Щелевой дренаж применяют на торфяниках, осушаемых под луга, или для предварительного осушения низинных болот перед строительством постоянных горизонтальных дрен. Глубины щелевого дренажа 0,9...1,2 м; уклоны 0,003...0,005, расстояния между дренами 35...45 м, длины дрен 200...300 м. Срок службы щелевого дренажа без нагрузок от техники до 10...15 лет. Кротовый и щелевой дренажи дешевы, но имеют малый срок службы и низкую надежность.

Открытый горизонтальный дренаж на сельскохозяйственных землях применяют там, где он допустим по условиям механизации работ. Открытые дрены представляют собой каналы трапециевидального сечения, с глубиной в зависимости от нормы осушения, шириной по дну 0,4...0,6 м, заложением откосов — в соответствии с грунтами. Открытый дренаж недорог, хорошо вскрывает водонесный пласт, эффективен, но существенно снижает коэффициент полезного использования земель, подвержен деформациям.

Глубокие редкие каналы предложены А. Д. Брудастовым для осушения болот грунтового и грунтово-напорного питания с мощно-

стью торфа более 1 м, подстилаемого хорошо проницаемым песчаным грунтом. Каналы выполняют глубиной 2,5...3 м и врезают в подстилающий грунт на 0,3...0,5 м и более. Осушительное действие таких каналов в 20...25 раз больше, чем обычных дрена, так как вода к каналу движется по хорошо проницаемому грунту. Песчаный слой работает как пластовая дрена, что повышает эффективность осушения. Расстояния между каналами составляют 400...600 м, уровень грунтовых вод понижается до 1,5...2 м и образует в грунте резервную емкость для приема воды в напряженные периоды. Достоинство такого дренажа — низкая стоимость. Недостатки — опасность переосушки торфа и прилегающих к болоту минеральных земель, необходимость крепления русла канала, трудность самотечного отвода воды в водоприемник.

Вертикальный и комбинированный систематические дренажи на переувлажненных сельскохозяйственных землях в гумидной зоне применяют редко из-за большой неравномерности осушения по площади, сложности конструкций и дороговизны. Они могут быть конкурентоспособны при интенсивном напорном питании грунтовых вод. Принципы их проектирования описаны в разделе 7.2.2.6.

7.3.3.6. Ограждающая и проводящая сеть

Ограждающая осушительная сеть предназначена для полного или частичного перехвата притока поверхностных или подземных вод, поступающего через внешние границы осушаемой территории. Для перехвата поверхностного притока со стороны внешнего водосбора применяют нагорные каналы. Поток подземных вод со стороны водосбора может быть перехвачен ловчим каналом, головной горизонтальной дрена или ограждающим рядом скважин вертикального дренажа. Для защиты от поступления на территорию фильтрационных вод из водоисточника применяют различные береговые дренажи: открытую или закрытую горизонтальную дрена, ограждающий ряд скважин. Конструкция ограждающего элемента зависит от гидрогеологических условий, а при возможности применения нескольких конструкций — от технико-экономического сравнения вариантов.

Нагорный канал располагают по верховой границе осушаемой территории поперек направления поверхностного стока с водосбора. Собранный нагорным каналом воду отводят в ближайший открытый коллектор или в водоприемник. Особенности работы нагорного канала — крайне неравномерный режим, зависящий от снеготаяния и осадков, и большое количество наносов, поступающих с поверхностным стоком.

Для улучшения гидравлического режима в канале его проектируют в плане с плавными очертаниями, равномерным уклоном дна не менее 0,0005, положим верховым откосом, в местах сосредоточенных потоков поверхностных вод устраивают лотки из местного материала. Для уменьшения количества попадающих в канал наносов выше нагорного канала рекомендуют посадку кустарников, посев трав. Распахивать земли на водосборе можно не ближе 30...50 м от нагорного канала, полосу засаживать и засеивать во избежание эрозии почвы и заиления нагорного канала. Для нагорного канала принимают форму поперечного сечения в виде несимметричной трапеции (рис. 7.38). Достаточна глубина канала 1...1,5 м. Расчетный расход воды в нагорном канале определяется модулем поверхностного стока [см. формулу (12.4)] и размером водосборной площади. Для определения ширины канала по дну выполняют гидравлические расчеты.

Ловчий канал располагают поперек притока грунтовых вод в местах выклинивания или малой глубины уровня грунтовых вод, обычно по линии перехода рельефа от террасы к пойме (см. рис. 7.24, 1, б). Трасса ловчего канала вписывается в рельеф местности с плавными очертаниями и уклоном не менее 0,0005. Применение ловчего канала возможно при неглубоком залегании безнапорного водоносного пласта, подстилаемого водоупором. Ловчий канал отводит воду в ближайший открытый коллектор, магистральный канал или непосредственно в водоприемник.

Глубину ловчего канала назначают из условия врезки его в водоносный пласт и достаточной глубины понижения уровня грунтовых вод. При глубине канала менее 2,5 м поперечное сечение канала обычно принимают трапецеидальным, а при большей глубине или в неустойчивых грунтах и торфяниках — параболическим. Как правило, русло ловчего канала крепят.

При поступлении на участок одновременно поверхностного и подземного притоков необходимо строить оба канала — нагорный и ловчий, причем нагорный канал располагают выше по склону для предохранения ловчего от поступления поверхностных вод. Совмещение функций обоих каналов в одном возможно при отсутствии наносов в поверхностном стоке и глубине ловчего канала не более 3 м.

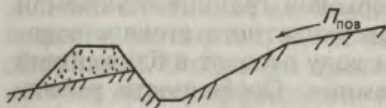


Рис. 7.38. Поперечное сечение нагорного канала

Приток воды к ловчему каналу и ширину зон его осушительного действия рассчитывают. В зоне влияния ловчего канала на осушаемой территории не требуется строить регулирующую осушительную сеть, поэтому при расчетах ловчего канала целесообразно

сравнить по стоимости варианты по его глубине, которая влияет на ширину полосы осушения.

Головная дрена — закрытая горизонтальная дрена для перехвата подземного притока со стороны водосбора (см. рис. 7.24, II, б). Ее устраивают в тех же гидрогеологических условиях, что и ловчий канал, но только когда по условиям использования земель открытый канал неприменим. Дрену строят чаще всего из гончарных труб диаметром не менее 125 мм, укладываемых в траншею с расчетным уклоном не менее 0,003, с гравийной обсыпкой толщиной 20...25 см, и засыпают грунтом. Глубина закладки дрены доходит до 4 м.

Фильтрационные расчеты головной дрены проводят по формулам, приводимым в справочной и нормативной литературе, в зависимости от гидрогеологических условий притока воды к дрене. При этом определяют приток к дрене со стороны водосбора и защищаемой территории, оценивают ширину зоны осушительного действия вверх и вниз по течению потока грунтовых вод. В зоне влияния дрены на защищаемой территории не требуется регулирующая сеть, а на внешней территории следует проверить возможные экологические последствия переосушения земель.

Ограждающий вертикальный дренаж представляет собой линейный ряд скважин, расположенный вдоль границы поступления подземного притока на осушаемую территорию со стороны водосбора (см. рис. 7.25, б). По гидрогеологическим и экономическим условиям вертикальный ограждающий дренаж применяют, когда невозможно или дорого применение горизонтальных дрен. Это бывает при глубине грунтовых вод более 2...2,5 м, при наличии напорных вод и при высокой водопроницаемости водоносного пласта (более 100 м²/сут). При возможности применения обоих типов дренажа проводят их экономическое сравнение. Конструкции скважин ограждающего вертикального дренажа не отличаются от вертикального систематического.

Параметры ограждающего ряда скважин целесообразно принимать после экономического сравнения вариантов по приведенным затратам, учитывающим капитальные вложения и эксплуатационные издержки. Варианты параметров дренажа отличаются расстояниями между скважинами, их дебитами и понижениями динамического уровня в скважинах.

Береговые горизонтальные дрены применяют для перехвата фильтрационных вод со стороны водоприемника при высоком уровне воды в нем (рис. 7.39, а, б). Они бывают открытые и закрытые. Открытая дрена представляет собой канал, глубина которого ограничена устойчивостью грунтов (до 2...4 м), сечение трапециевидное, заложение откосов определяется также грунтами. Степень возможного перехвата фильтрационного притока и ширина

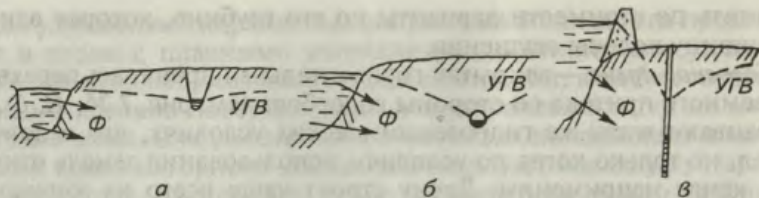


Рис. 7.39. Расчетные схемы береговых дренажей:

а, б — горизонтального открытого и закрытого; в — вертикального

зоны осушения дренами на защищаемой территории невелики ввиду ограниченной глубины дрены.

Закрытую горизонтальную дренаю устраивают из гончарных или других прочных проницаемых труб диаметром не менее 125 мм, уложенных в траншеи с расчетным уклоном не менее 0,003, с фильтрующей обсыпкой толщиной 20...25 см. Глубину закрытой дрены обычно принимают до 4 м, в отдельных случаях — до 6 м. Расстояние береговой дрены от реки должно быть таким, чтобы не усиливать фильтрационный поток из реки, но при этом увеличивается полоса отчуждения земли вдоль реки. Приток воды к дрене, глубину дрены, ширину зоны влияния в сторону осушаемой площади определяют фильтрационными расчетами (см. разд. 8.2.8). В зоне влияния дрены на защищаемой площади не требуется регулирующая осушительная сеть. Целесообразно рассмотреть варианты расстояний дрены от реки и глубин дрены, сравнивая их по суммарной стоимости береговой дрены и регулирующей сети.

Береговой вертикальный дренаж применяют для защиты земель от подтопления со стороны рек, водохранилищ, крупных каналов (рис. 7.39, в). Вертикальный береговой дренаж применяют при необходимости больших понижений уровня грунтовых вод, при наличии слабопроницаемого покровного пласта мощностью более 5 м, подстилаемого напорным водоносным пластом, при хорошей водопроницаемости водоносного пласта. В таких условиях работа горизонтальных дренажей невозможна или малоэффективна.

Береговой вертикальный дренаж представляет собой один или два ряда скважин, расположенных вдоль берега реки, водохранилища, канала. Фильтрационные расчеты скважин проводят по формулам, приводимым в литературе и выбираемым в зависимости от гидрогеологического строения прибрежной зоны (см. разд. 8.2.8). При выборе параметров береговых рядов скважин целесообразно рассмотрение различных расстояний между скважинами, их дебитов, понижений динамического уровня в скважинах, расположения ряда. При сравнении вариантов следует учитывать

ширину зоны влияния вертикального дренажа в сторону защищаемой площади, так как в этой полосе не требуется строительство регулирующей осушительной сети. Ширина этой зоны бывает значительно больше, чем при горизонтальном береговом дренаже, ввиду возможности больших понижений уровня воды в скважинах.

При проектировании защитных рядов скважин необходимо обосновывать расстояние их от водоприемника, так как работа вертикального дренажа может сильно увеличить фильтрацию. Получаемая при откачках вода обычно имеет хорошее качество и может быть использована в различных целях, в том числе для водоснабжения населенных пунктов.

Проводящая осушительная сеть предназначена для приема воды из регулирующей сети и отвода ее в водоприемник. Составные элементы проводящей сети — закрытые и открытые коллекторы различных порядков и магистральный канал. При открытой регулирующей сети коллекторы должны быть также открытыми, при закрытой регулирующей сети младшие коллекторы целесообразно выполнять закрытыми для увеличения расстояний между постоянными границами и площадями полей. Так как длина закрытых коллекторов ограничена, то старшие коллекторы выполняют открытыми.

Элементы проводящей сети увязывают между собой и с регулирующей сетью для обеспечения беспрепятственного бесподпорного отвода воды по элементам сети от младших к старшим.

Магистральные каналы и крупные открытые коллекторы проектируют кратчайшим путем к водоприемнику по самым низким отметкам местности, естественным ложбинам, тальвегам, а на торфяниках — по тальвегам минерального дна. На ровных участках без тальвегов магистральный канал проектируют посередине участка.

Крупные коллекторы отводят воду в магистральный канал, но могут и самостоятельно впадать в водоприемник, если это сокращает протяженность сети. Каналы проектируют по возможности прямолинейно, с наименьшим числом поворотов, пересечений с дорогами, подземными коммуникациями, линиями электропередач. Трассы каналов должны учитывать существующие границы землепользования, севооборотных участков, полей, дороги, мосты и другие объекты на осушаемой площади. Кроме того, расположение проводящих каналов вблизи производственных и хозяйственных объектов, нефтяных баз, складов удобрений, мастерских, гаражей проверяют расчетами на опасность вымыва загрязняющих веществ с дренажными водами в водоприемник. При впадении каналов в старшие или в водоприемник не должно возникать подпоров потока или происходить размывов русла.

На осушаемых участках между старшими открытыми коллекторами располагают младшие закрытые или открытые коллекторы, принимающие воду непосредственно из регулирующих элементов сети. Расположение младших коллекторов зависит от схемы размещения регулирующей сети (поперечной или продольной). Так как собиратели всегда располагают по поперечной схеме, т. е. под острым углом к горизонталям, то младшие коллекторы идут по наибольшему уклону перпендикулярно горизонталям. Дрены могут быть расположены по поперечной или продольной схеме в зависимости от уклона местности, соответственно младшие коллекторы проектируют так, чтобы забирать воду из дрен и иметь уклон по трассе. Впадение младшего элемента сети в старший должно быть под острым или прямым углом, чтобы обеспечить спокойное слияние потоков.

Расстояния между коллекторами определяют длинами элементов регулирующей сети. Возможно одностороннее и двухстороннее примыкание дрен к коллекторам в зависимости от рельефа, при двухстороннем впадении дрен расстояния между коллекторами вдвое больше.

После размещения осушительной сети на плане намечают площади севооборотных участков и полей, по возможности обеспечивая плановую структуру севооборотов и требования сельскохозяйственного производства. При этом возможны уточнения трасс каналов и коллекторов.

При *открытой проводящей сети* форму поперечного сечения каналов принимают трапецеидальной в устойчивых грунтах и при глубине каналов не более 2,5 м, параболической — в неустойчивых грунтах и торфяниках или при глубине каналов более 2,5 м. Размеры поперечных сечений проводящих осушительных каналов принимают конструктивно для малых каналов (с расходами до $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$). В остальных случаях проводят гидравлические расчеты каналов.

Расчетные уклоны устанавливают по продольным профилям каналов, на которых дно канала проектируют из условий вертикального сопряжения элементов между собой и допустимых уклонов. На торфяниках при назначении глубины каналов учитывают ожидаемую осадку торфа.

Расчетные расходы воды в каналах определяют гидрологическими расчетами по модулю стока и площади водосбора рассматриваемого створа. Расчетные створы на осушительном канале назначают в устье канала и по участкам с учетом увеличения расхода.

Модулем стока называют расход стока воды с единицы площади водосбора [$\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$, $\text{л}/(\text{с} \cdot \text{га})$]. Так как по годам сток сильно изменяется, то при проектировании осушительной сети необходимо обоснование расчетной обеспеченности осушения, т. е. вероят-

ности превышения расчетных расходов. Ее принимают на основании технико-экономического сравнения вариантов проекта осушительной системы для лет различной обеспеченности. Для небольших площадей осушения сельскохозяйственных земель (менее 2 тыс. га) расчетная обеспеченность осушения может быть принята по рекомендациям: например, для полевых севооборотов, сенокосов — 10 %, для овощных и кормовых севооборотов, многолетних насаждений — 5, для лугов и пастбищ — 15...25 %.

Модуль стока — очень изменчивая величина. Он различен для поверхностного и подземного стока, сильно изменяется по периодам года. Поэтому при расчетах проводящей сети значение расчетного модуля стока должно быть обосновано. Открытая проводящая сеть всегда отводит и поверхностные, и подземные воды с осушаемой территории и внешнего водосбора, т. е. из регулирующей и ограждающей сети. Соотношение поверхностных и грунтовых вод различно по периодам года, типам водного питания, способам осушения, но всегда максимальные расходы стока поступают в проводящую сеть в весенний период снеготаяния и в период летне-осенних дождей, т. е. их формируют поверхностные воды. Сток подземных вод намного меньше и стабильнее. Таким образом, открытую проводящую сеть рассчитывают на расходы поверхностного стока.

Режим поверхностного стока в течение года очень неравномерный. Характерный гидрограф суммарного стока для равнинных рек Нечерноземной зоны России показан на рисунке 7.40. В гидрографе выделяют следующие периоды: весеннего паводка, предпосевной, летне-осенний, меженный (бытовой). Предпосевной период для сельскохозяйственных земель имеет место на спаде весеннего паводка. Меженным является продолжительный период сравнительно стабильных расходов вне паводков. Выбор расчетного периода для проектирования проводящей сети зависит от

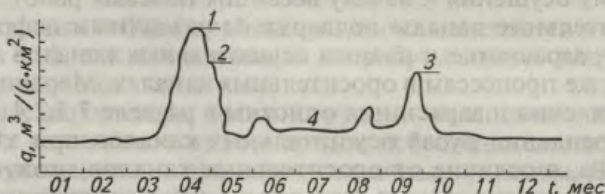


Рис. 7.40. Схематизированный гидрограф суммарного стока для равнинных рек центра Нечерноземной зоны России:

1 — модуль стока для периода весеннего паводка; 2 — для предпосевного периода; 3 — для летне-осеннего паводка; 4 — для меженного периода

зяйственного использования земель. Для сельскохозяйственных земель за расчетный модуль стока принимают: для севооборотов с озимыми культурами — максимальный из весеннего и летне-осеннего паводковых периодов; для севооборотов без озимых культур — максимальный из предпосевного и летне-осеннего периодов; для лугов и сенокосов — по летне-осеннему периоду; для многолетних насаждений — по периоду весеннего паводка.

По максимальным расходам определяют размеры поперечных сечений каналов, по расходам меженного периода как наиболее продолжительного по времени проверяют вертикальное сопряжение элементов.

Модуль стока для расчетных периодов определяют гидрологическими расчетами, которые учитывают климатические факторы, размеры, форму и состояние водосбора, процессы впитывания и испарения, условия добегания воды со всех частей водосбора. Ввиду сложности учета всех природных условий строгие теоретические решения отсутствуют и модули стока для паводковых и предпосевного периодов рассчитывают по эмпирическим зависимостям. Расходы меженного периода имеют наибольшую повторяемость. Они формируются преимущественно за счет поступления в каналы грунтовых вод. Модуль стока для меженного периода обычно изменяется от 0,02...0,05 л/(с · га) на минеральных землях до 0,03...0,07 л/(с · га) на заболоченных землях.

В гидравлических расчетах определяют: размеры поперечных сечений каналов в расчетных створах при максимальном расходе; скорости течения воды для проверки опасности заиления и размыва; наполнение каналов при межennom расходе для проверки вертикального сопряжения; глубину наполнения при максимальном расходе для проверки условий пропуска воды в бровках или ниже бровок канала. Паводки допускается пропускать в бровках канала без затопления прилегающих земель, предпосевные расходы должны проходить на 0,5...0,6 м ниже бровок, чтобы обеспечить норму осушения к началу весенних полевых работ.

Осушительные каналы подвержены различным деформациям. Заиление, зарастание и размыв осушительных каналов аналогичны таким же процессам в оросительных каналах. Меры предотвращения заиления и зарастания описаны в разделе 7.3.2.4.

Для крепления русла осушительных каналов при защите его от размыва, в отличие от оросительных каналов, можно применять только проницаемые материалы, не препятствующие поступлению воды из грунта в канал: одерновку, хворостяное плетение, деревянную обрешетку, посев трав, опрыскивание специальными растворами, пористые плиты. Нередко наблюдаются оползания и обрушения откосов при несоответствии заложения откосов слагающим грунтам, колебаниях уровня грунтовых вод,

замерзании и разморзании грунтов, в неоднородных грунтах. Для предотвращения таких разрушений каналов необходимо увеличивать заложение откосов и крепить русло. Некоторые случаи деформаций связаны с технологией строительства и эксплуатации осушительной сети. Они связаны с применением тяжелой техники, не соответствующей несущей способности грунтов; размывом поверхностными водами, поступающими в канал; быстрым осушением, создающим высокие градиенты выхода воды из грунта в русло. Деформации от осадки и сработки торфа могут происходить при недостаточной детальности изысканий и учета свойств торфа в проекте, для их ликвидации необходимы ремонтные работы.

Закрытая проводящая сеть — закрытые коллекторы различных порядков. Они собирают воду из закрытой регулирующей сети (дрен и закрытых собирателей), поэтому гидрологический режим закрытых коллекторов определяется подземным стоком, зависящим от типа водного питания, проницаемости грунтов, параметров закрытой регулирующей сети. Модуль подземного стока можно определять по фактическим наблюдениям, по балансовым расчетам, по эмпирическим зависимостям, обычно его принимают равным расчетному модулю для дренажа и закрытых собирателей в весенний период. Обобщенные данные по модулям подземного стока для европейской части Нечерноземной зоны России приведены в таблице 7.10.

7.10. Модули дренажного стока, л/(с · га), для европейской части Нечерноземной зоны РФ

Минеральный грунт	Модуль стока	Торф при степени разложения	Модуль стока
Тяжелые	0,3...0,4	Слабой	0,5...0,6
Средние	0,5...0,6	Средней	0,4...0,5
Легкие	0,6...0,7	Хорошей	0,3...0,4

Для закрытых собирателей модуль стока изменяется в пределах 0,3...3 л/(с · га), так как на режим их работы влияет поступление поверхностных вод.

Закрытые коллекторы по конструкции аналогичны закрытым дренам. Их выполняют из гончарных, асбестоцементных, бетонных труб, уложенных в траншеи с расчетным уклоном. Диаметры труб изменяются по длине коллектора в соответствии с увеличением расхода воды в нем. Глубину закрытого коллектора назначают по его продольному профилю из условия вертикального сопряжения с впадающими дренами или собирателями. Ширину траншеи принимают с учетом диаметра труб и применяемой строительной техники.

7.3.3.7. Водоприемники осушительных систем

Водоприемники предназначены для приема воды из осушительной сети. Водоприемниками служат те же водотоки и водоемы, которые принимают естественный сток, — это реки, озера, моря, водохранилища. Наиболее распространенные водоприемники — реки.

К водоприемникам предъявляют следующие требования:

уровень воды в водоприемнике не должен создавать подпора в осушительной сети; для этого бытовой уровень воды в водоприемнике должен быть не выше бытового уровня впадающих каналов и хотя бы на 30...40 см ниже устьев закрытых коллекторов;

водоприемник должен отводить расходы предпосевного и летнего паводков с уровнем на 20...30 см ниже уровней впадающих магистральных каналов;

своевременно отводить воды весеннего паводка, не нарушая допустимую продолжительность затопления.

Причины неудовлетворительного состояния водоприемников бывают естественные и искусственные. К естественным относят малые уклоны и глубины русла рек, недостаточное поперечное сечение, большую шероховатость, зарастание русла, завалы деревьями, кустарниками и другими природными материалами, обвалы берегов. Искусственные причины связаны с деятельностью человека: наличие плотин, шлюзов, гидротехнических сооружений, недостаточные размеры сечений потока в мостах и трубчатых переездах. Действие осушительных систем увеличивает максимальные расходы воды и сокращает продолжительность паводка.

Деятельность по улучшению работы водоприемников называют их регулированием. Цель регулирования водоприемников — повышение их пропускной способности и понижение уровня воды в них. Моря, крупные реки, озера не регулируют. Небольшие озера могут быть расчищены, углублены, может быть усилен отток воды из них в вытекающие реки и ручьи. Для водохранилищ и прудов на стадии проектирования режим их работы увязывают с режимом работы осушительных систем.

В основном регулируют малые и средние реки-водоприемники. Методы регулирования направлены на устранение причин неудовлетворительного состояния водоприемника.

Устранение подпоров от сооружений. Должны быть ликвидированы остатки мельничных плотин, старых малых ГЭС. Мосты и трубчатые переезды с недостаточной пропускной способностью необходимо перестраивать. При невозможности их перестройки приходится искать пути переброски воды из верхнего бьефа сооружения в нижний, например перекачивать ее насосной станцией.

Расчистка русла от завалов и растительности. Завалы русла поваленными и растущими деревьями, различным мусором расчищают средствами механизации. Часто русла рек зарастают подводной и прибрежной растительностью, которая увеличивает шероховатость русла, снижает скорость течения воды. Такую растительность можно уничтожить химическими средствами, но экологически безопаснее разведение травоядных видов рыбы (белый амур, толстолобик). Чтобы русло не зарастало, скорость течения воды в нем должна быть не менее 0,4 м/с.

Увеличение площади поперечного сечения. Проектируют и выполняют новое поперечное сечение русла, которое должно быть устойчивым. Форму сечения чаще принимают параболической, что соответствует естественным руслам. Для небольших рек в устойчивых грунтах возможна трапециевидальная форма сечения, а в разнородных грунтах — сложная.

Повышение устойчивости русла. На опасных участках — поворотах, при слиянии потоков, неравномерном течении расчетами проверяют устойчивость русла, опасность его размыва, отложения наносов, обрушения берегов. При необходимости создают новое русло. Для небольших рек возможно крепление русла на отдельных участках.

Увеличение уклона русла. Для извилистых рек, имеющих в плане много извилин (меандр), увеличение уклона возможно за счет спрямления русла. Сокращение длины русла при сохранении разности высот начала и конца участка дает увеличение уклона реки. Трассу нового русла выбирают после сравнения вариантов сочетаний новых и старых участков по балансу земляных масс, гидравлическим характеристикам, экономическим показателям. Остающиеся неиспользуемыми участки русла, называемые старицами, должны быть засыпаны, спланированы, включены в хозяйственное использование. Опыт показал, что «решительное» спрямление русел приводит к негативному влиянию на окружающие земли: осухождению пойм, изменению местоположения русла, неудобному для местных жителей, уничтожению растительности в пойме и на прилегающих террасах и др. Поэтому применяя так называемые «природоприближенные» способы регулирования рек (см. разд. 10).

Задержание речного стока. Осуществляют путем создания прудов и водохранилищ в верхнем течении реки, на притоках, на водосборе, что позволяет уменьшить паводковые расходы в реке, а водоемы могут быть использованы в хозяйственных целях и как источники воды в засушливые периоды.

Устройство разгрузочных каналов. Проектируют их в обход узкого участка реки, если он не может быть улучшен по различным причинам (расположение на берегах каких-либо объектов, крупные мосты, сооружения и др.).

При составлении проектов по регулированию водоприемников должны быть учтены мероприятия на водосборе и в бассейне реки, которые могут существенно повлиять на ее режим: изменение площади пашни на водосборе, посадка или вырубка лесов, строительство дорог, населенных пунктов, ограждающих каналов, осушительных систем.

7.3.3.8. Увлажнение осушаемых земель

Необходимость увлажнения осушаемых земель. В гумидной зоне часто наблюдаются засушливые периоды, влияющие на развитие сельскохозяйственных культур. Так, даже в Ленинградской области за лето бывает 3...4 засушливых периода по 5...10 сут. В Московской области ежегодно бывают засушливые периоды по 10...20 сут, а один раз в четыре года — по 20...30 сут. На юго-западе России на границе с Украиной за лето бывает 5...6 периодов по 7...10 сут и более. Периодическая засушливость климата возрастает с северо-запада на юго-восток с усилением его континентальности. На осушенных торфяниках и лесных массивах засухи создают пожароопасную обстановку.

На переувлажненных землях осушительную сеть проектируют с расчетной обеспеченностью 5...15 %, т. е. на влажные годы, следовательно, в более сухие годы недостаток влаги по сравнению с неосушаемыми землями усиливается. Кроме того, осушение ориентируется на засухоустойчивую сельскохозяйственную культуру проектируемого севооборота, которая в наибольшей степени страдает от переувлажнения, поэтому влаголюбивые культуры страдают от переосушения. Таким образом, многие сельскохозяйственные культуры на осушаемых землях нуждаются в двухстороннем регулировании влажности в корнеобитаемом слое. Необходимость и расчетную обеспеченность увлажнения обосновывают технико-экономическими расчетами. Системы с двухсторонним регулированием водного режима называют увлажнительно-осушительными.

Эффективность увлажнения осушаемых земель зависит от вида сельскохозяйственной культуры, почв, типа водного питания, уровня агротехники. Наиболее отзывчивы на увлажнение овощи, травы. Высокий эффект получают на землях атмосферного и грунтового типов водного питания на минеральных почвах или маломощных торфяниках. В этих условиях повышение урожайности овощей может составить 30...40 %. Минимальный эффект от увлажнения получают на мощных низинных торфяниках с интенсивным питанием грунтовыми водами. Эффективность увлажнения сильно зависит от оперативности работы службы эксплуата-

ции увлажнительно-осушительной системы, так как нужны постоянный контроль влажности почвы и четкое регулирование водного режима. Одновременно с водным и воздушным режимами требуют регулирования остальные факторы плодородия почв и условий развития растений, поэтому системы двухстороннего регулирования целесообразно строить в хозяйствах, способных обеспечить высокий уровень агротехники.

Увлажнительно-осушительные системы относят к наиболее совершенным мелиоративным системам, так как они комплексно регулируют водный и связанные с ним режимы. Эти системы могут быть в значительной степени автоматизированы. На них возможна организация водооборота, т. е. аккумуляция дренажных вод для повторного их использования без сброса в природные водоприемники.

Режим увлажнения осушаемых земель. В зависимости от вида сельскохозяйственных культур и конкретных природных условий экономически целесообразна обеспеченность увлажнения осушаемых земель 75...85 %. Режим увлажнения для расчетного года разрабатывают по обычной методике (см. разд. 7.3.2.1). Оросительные нормы определяют из баланса запасов влаги в расчетном слое за период вегетации, обычно для полевых культур они составляют 1...3 тыс. м³/га. При обосновании оросительной нормы следует иметь в виду, что при осушении и тем более увлажнении усиливается промываемость почвы, что отрицательно влияет на ее плодородие, требует повышенных доз удобрений, увеличивает дренажный сток. Поэтому дополнительное увлажнение должно быть минимальным, рассчитанным с учетом максимально возможной компенсации промывного влагообмена капиллярным подпитыванием из грунтовых вод. По результатам научных исследований, чтобы не ухудшить почвообразовательный процесс, рекомендуют в Нечерноземной зоне принимать в среднем за многолетний период оросительные нормы не более 10...15 % годовой суммы впитавшихся осадков.

Оросительную норму в течение поливного периода распределяют в соответствии с балансowymi расчетами запасов влаги в расчетном слое по коротким периодам. Для большинства полевых культур расчетный слой составляет 0,2...0,6 м, пределы регулирования влажности в нем — от 0,65...0,75 до 0,85...1 полной влагоемкости, а поливные нормы — 150...400 м³/га.

Методы и способы увлажнения осушаемых земель. Для увлажнения осушаемых земель применяют регулирование уровня грунтовых вод (подпочвенное увлажнение) и дождевание.

Подпочвенное увлажнение осуществляют через дрены двумя способами: задержанием дренажного стока в сети и подачей оросительной воды в дрены. Задержание дренажного стока называют

шлюзованием осушительной сети. Обеспечивают его с помощью шлюзов-регуляторов, которые устанавливают на магистральных каналах и коллекторах для перекрытия стока и поднятия уровня воды в них. Этим создается напор в устьях дрен, под действием которого вода поступает через дрены в грунт, повышая уровень грунтовых вод в междуренье.

Для подачи воды в истоки дрен устраивают оросительные каналы или трубопроводы, проходящие по командующим отметкам увлажняемых участков и создающие некоторый напор в дренах, под действием которого вода поступает из дрен в грунт и повышает уровень грунтовых вод.

Возможность своевременного подпочвенного увлажнения зависит от скорости подъема уровня грунтовых вод, которая зависит от водно-физических свойств почвы и грунта. Если дрены, запроектированные для целей осушения, не обеспечивают требуемой скорости подъема уровня грунтовых вод, то междуренные расстояния уменьшают или применяют другие способы увлажнения. Практика проектирования таких систем показала, что для условий увлажнения требуемые расстояния между дренами обычно на 20...30 % меньше, чем для условий осушения. Если различие больше, то подпочвенное увлажнение экономически нецелесообразно. Однако в каждом конкретном случае нужно экономическое обоснование. При обосновании следует также учитывать, что при подпочвенном увлажнении как шлюзованием, так и подачей воды в дрены затраты воды в 1,5...2 раза превышают требуемое количество воды для увлажнения расчетного слоя. Это объясняется тем, что при подъеме уровня грунтовых вод до полной влагоемкости надо увлажнить и слой грунта ниже расчетного слоя.

Подпочвенное увлажнение осушаемых земель можно применять на землях грунтового и грунтово-напорного типов водного питания, в хорошо проницаемых грунтах, при уклонах дрен не более 0,005, при достаточном количестве воды.

Достоинства этого метода: сравнительно небольшие капитальные и эксплуатационные затраты, сокращение сброса дренажной воды. Недостатки: неравномерность увлажнения по площади, недостаточная оперативность управления процессом увлажнения, часто недостаток воды на системе.

Для подачи оросительной воды при поливе дождеванием на осушаемой площади требуется строительство отдельной оросительной системы. Расположение элементов и параметры оросительной системы увязывают с элементами осушительной системы (рис. 7.41). Дождевание дает возможность оперативного регулирования влажности почвы. Такие мелиоративные системы сложны и дороги. Для снижения стоимости оросительной системы целесообразно применять несложную и подвижную дождевальную тех-

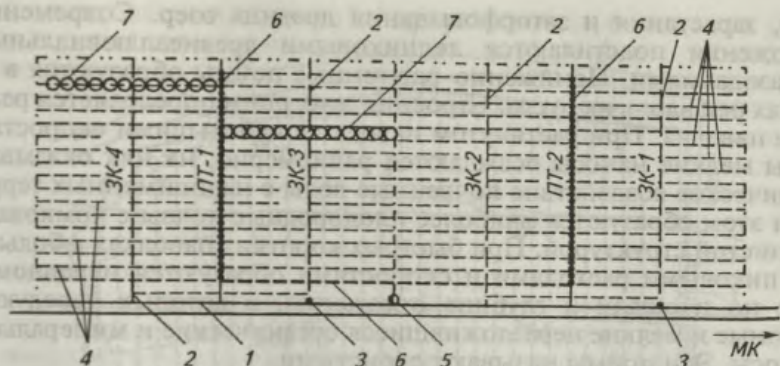


Рис. 7.41. Схема орошения осушаемых земель дождеванием:

1 — магистральный канал (МК); 2 — закрытый коллектор (ЗК); 3 — устье закрытого коллектора; 4 — закрытая регулирующая осушительная сеть; 5 — насосная станция для орошения; 6 — оросительные трубопроводы (ПТ); 7 — позиция дождевальной машины

нику, так как производительность ее в зоне достаточного увлажнения используется не полностью. Применяют дальнеструйные аппараты на стационарной сети, машины типа ДДН, ДДА, «Волжанка», возможно использование среднеструйных аппаратов на разборной сети. Применение широкозахватной техники ограничено мелкоконтурностью угодий и излишней производительностью дождевальных машин.

Достоинства дождевания: возможность регулировать слой увлажнения и поливные нормы, высокая степень оперативности. Недостатки: высокие капитальные и эксплуатационные затраты, неполное использование возможностей дорогостоящей техники, оборудования.

7.3.3.9. Особенности осушения пойм и прибрежных низменностей

Поймой называют пониженную часть долины реки или озера, периодически затапливаемую паводковыми водами. Поймы отличаются высоким плодородием почв, наличием влаги и возможностью дополнительного увлажнения в засушливый период. Поэтому поймы — ценные сельскохозяйственные угодья, используемые в первую очередь для земледелия и под луга. Площади сельскохозяйственных угодий на поймах составляют десятки миллионов гектаров.

По происхождению поймы бывают древнеозерные и пониженно-равнинные. Древнеозерные поймы образовались путем заиле-

ния, зарастания и заторфовывания древних озер. Современные отложения подстилаются ледниковыми древнеаллювиальными образованиями. Пониженно-равнинные поймы образуются в долинах рек вдоль их русла. Строение этих пойм определяется режимом паводка. При растянутом паводке с небольшими скоростями воды мелкие наносы осаждаются равномерно, на них оказывают химическое воздействие почвенные воды с надпойменных террас. При этом образуются наиболее плодородные почвы с комковатой зернистой структурой. При быстрых коротких паводках с большими пиковыми расходами и скоростями образуются неравномерные по площади и глубине отложения, в которых чередуются крупные и мелкие неразложившиеся органические и минеральные наносы. Эти поймы называют слоистыми.

На пойменных землях встречаются все типы водного питания. В соответствии с ними намечают и методы мелиорации пойм.

Прибрежные низменности — приморские низинные побережья и мелководья равнинных водохранилищ. На этих низменностях большие площади затопления и подтопления вызваны низкими безуклонными берегами, приливно-отливными явлениями, ветровым нагоном волн, колебаниями уровней и другими причинами. Небольшое повышение уровня воды вызывает затопление широкой полосы побережья.

Таким образом, основные причины переувлажнения пойм и прибрежных низменностей — затопление, подтопление земель и невозможность самотечного отвода воды из осушительной сети.

Защита сельскохозяйственных земель от затопления. Затоплением называют поступление воды на поверхность земли, препятствующее ее хозяйственному использованию. Защитой от затопления служит обвалование территории, т. е. строительство ограждающих дамб. Обвалованную территорию называют *польдером*.

Устройство польдеров необходимо на приморских равнинах, затапливаемых приливом или нагоном волны; в поймах рек, затапливаемых весенними или летне-осенними паводками на сроки, превышающие допустимые по условиям использования земель; на приозерных заболоченных низменностях и на затапливаемых территориях, примыкающих к водохранилищам, для ликвидации зон мелководья.

По местонахождению польдеры бывают приморские, пойменные, приозерные, природохранилищные.

Для регулирования водного режима на польдере проектируют осушительные системы в соответствии с типами водного питания. Эти системы называют польдерными. От обычных осушительных систем они отличаются наличием дамб обвалования (рис. 7.42). Отвод воды из осушительной сети в водоприемник на польдерах может быть самотечным, машинным и смешанным.

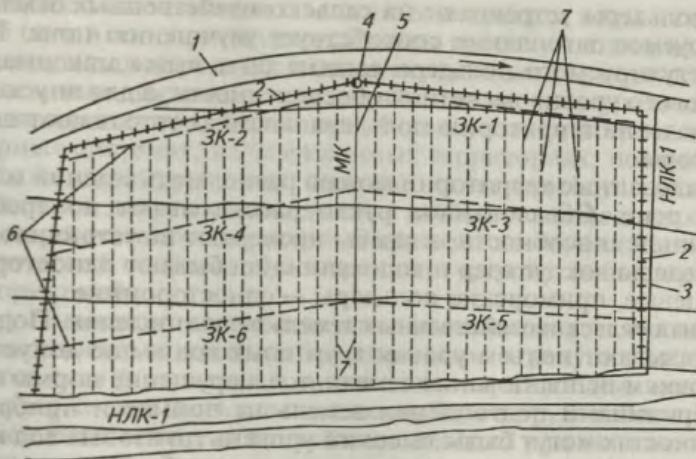


Рис. 7.42. Схема польдерной системы:

1 — река-водоприемник; 2 — дамбы обвалования; 3 — оградяющая осушительная сеть (нагорно-ловчий канал — НЛК); 4 — насосная станция; 5 — магистральный канал (МК); 6 — закрытый коллектор (ЗК); 7 — регулирующая сеть

По типу гидрологического режима на защищаемой территории различают польдеры незатапливаемые, затапливаемые и с регулируемым затоплением. *Незатапливаемые польдеры* устраивают на землях различного назначения, где не допускается затопление. Поэтому верх защитных дамб должен быть выше уровня воды в водоприемнике в паводок расчетной обеспеченности. Расчетная обеспеченность зависит от ценности защищаемых земель, ее обновляют технико-экономическими расчетами.

Затапливаемые польдеры применяют в случаях, когда допускается затопление весенним паводком и нужна защита от летне-осеннего паводка. Затапливаемый польдер устраивают при летне-осенних паводках ниже весенних; при продолжительности весеннего затопления, не превышающей допустимую по условию использования земель; при отсутствии на территории жилых и производственных построек; когда затопление необходимо по экологическим условиям для сохранения компонентов природы на пойме.

Высота дамб на затапливаемых польдерах должна быть ниже уровня весеннего паводка и выше расчетного уровня летне-осеннего паводка.

Польдеры с регулируемым затоплением необходимы, когда продолжительность затопления земель больше допустимой. Обычно

такие польдеры устраивают на сельскохозяйственных землях, где регулируемое затопление способствует улучшению почв. Высота дамб регулируемого польдера должна быть выше максимального паводкового уровня расчетной обеспеченности, а для впуска и выпуска воды на территорию польдера в дамбах устраивают шлюзы-регуляторы.

Обвалованные территории можно располагать с одной или двух сторон реки. Обвалованное русло рассчитывают по требуемой пропускной способности, а дамбы проверяют на устойчивость.

Польдеры вокруг озер и водохранилищ бывают односторонние и кольцевые, приморские польдеры — односторонние.

Защита сельскохозяйственных земель от подтопления. Подтоплением называют подъем уровня грунтовых вод выше допустимого по условиям использования земель, т. е. нарушение нормы осушения. Причинами подтопления земель на поймах и прибрежных низменностях могут быть: высокий уровень грунтовых вод в водоприемнике, фильтрация воды через тело дамбы и под дамбами, низкие отметки поверхности земли.

Фильтрация через тело дамбы может быть уменьшена или устранена противофильтрационными покрытиями верхового откоса или устройством непроницаемого экрана, ядра в теле дамбы. Фильтрацию под дамбами уменьшают путем устройства стенок и завес под основанием дамбы. Для перехвата фильтрационных вод применяют береговые (задамбовые) дренажи различных конструкций: горизонтальный открытый и закрытый, вертикальный, вакуумный.

Для защиты от подтопления повышают поверхность низменностей. Для этого используют метод естественного осаждения наносов и метод подачи пульпы (разжиженного грунта). При *естественном осаждении наносов* площадь разделяют валами на чеки, в которые подают речную воду. После осаждения наносов воду сбрасывают в реку по отводным каналам. Подачей и сбросом воды можно регулировать крупность осаждаемых наносов и формировать плодородный слой. Способ естественного осаждения (самоосаждения) наносов применяют на реках с высокой мутностью воды.

Разжиженный грунт намывают *средствами гидромеханизации*. Пульпа может быть получена размывом грунта струей воды на суше или разработкой под водой плавучими землесосными станциями. Эти работы целесообразно совмещать с регулированием водоприемников. Пульпу по каналам, лоткам, трубопроводам транспортируют на участок намыва, где наносы осаждаются, а воду затем отводят. Намыв грунта намного дороже естественного осаждения наносов, но значительно быстрее. При выборе метода повышения поверхности земли исходят из экономических соображений и конкретных экологических условий объекта.

Осушительные системы с машинным отводом воды из осушительной сети в водоприемник включают насосную станцию, предназначенную для перекачки воды в случаях, когда уровень воды в водоприемнике постоянно или периодически выше, чем необходимо для самотечного осушения. Такие условия встречаются на польдерных системах; на безуклонных территориях, подтапливаемых водами морей, рек, озер, водохранилищ; при осушении замкнутых впадин вместо строительства глубоких проводящих каналов; на пересечениях с дорогами и другими коммуникациями при экономической нецелесообразности переустройства водопропускных сооружений.

Для уменьшения количества откачиваемых вод целесообразно по возможности отводить воду самотеком в реку из отдельных элементов сети (ловчих и нагорных каналов, отдельных коллекторов) и задерживать часть стока на водосборе в прудах. Вода из прудов может быть отведена после спада паводка или использована в различных целях.

В зависимости от конкретных условий на системе может быть запроектирована одна или несколько насосных станций. Стоимость строительства и эксплуатации одной насосной станции всегда меньше, чем нескольких, при одинаковой суммарной мощности. Но при сравнении вариантов следует учитывать возможное уменьшение протяженности осушительной сети, продолжительность и равномерность отвода воды.

Приток воды к осушительной насосной станции неравномерен. Необходимую подачу и напор насосной станции определяют по графикам расходов и уровней воды в устье магистрального канала и в водоприемнике. Расчетный расход откачки равен максимальному расходу в устье МК, а требуемый напор — максимальной разности уровней в МК и водоприемнике. Проектная подача насосной станции может быть существенно снижена путем устройства при насосной станции регулирующего бассейна для задержания пика паводка. При этом возможно экономическое сравнение вариантов подачи насосной станции и объема бассейна по их суммарной стоимости.

Контрольные вопросы и задания. 1. В чем сущность мелиорации земель? 2. Каковы цель и эффективность мелиорации сельскохозяйственных земель? 3. Что называют мелиоративным режимом и каковы его показатели для сельскохозяйственных земель? 4. Охарактеризуйте сельскохозяйственные земли России и их потребность в мелиорациях. 5. Как рассчитать оросительные и поливные нормы? 6. Охарактеризуйте способы полива и условия их применения. 7. Перечислите достоинства и недостатки поверхностного способа полива и дождевания. 8. По каким условиям выбирают дождевальную машину для полива конкретного участка? 9. Перечислите составные элементы оросительной системы и их назначение. 10. Дайте характеристику открытой и трубчатой оросительных сетей. 11. Расскажите о применяемых конструкциях постоянной оросительной сети. 12. Охаракте-

ризуйте источники воды для орошения. 13. Каким должно быть качество оросительной воды? 14. Расскажите о мелиорации засоленных земель. 15. Каковы назначение дренажа на орошаемых землях, его конструкции? 16. Назовите виды переувлажненных земель, расскажите об эффективности их осушения и использовании осушаемых земель. 17. Какие типы водного питания встречаются на переувлажненных землях? 18. Какие методы и способы осушения применяют при различных типах водного питания? 19. Какие составные элементы осушительных систем вы знаете? 20. Каковы составные элементы осушительной сети, их назначение и конструкции? 21. В чем заключается регулирование водоприемников и какие методы для этого применяют? 22. Какие способы применяют для увлажнения осушаемых земель? 23. Каковы особенности мелиорации пойм и прибрежных низменностей?

8. МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ НЕСЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

8.1. КАТЕГОРИИ ЗЕМЕЛЬ НЕСЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

По целевому назначению и правовому режиму выделяют несколько категорий *несельскохозяйственных земель*:

земли поселений, их назначение — быть пространственным базисом для размещения населенных пунктов и обеспечения их развития и функционирования как единого и сложного социально-экономического организма; границы этих земель не являются неизменными, определяют и изменяют их органы власти, утверждающие генеральные планы, проекты планировки и застройки городов, поселков и сельских населенных пунктов; все земли в пределах черты населенных пунктов находятся в ведении их администрации;

земли промышленности, энергетики, транспорта, связи, обороны и иного назначения в соответствии с действующим законодательством предоставляют в пользование предприятиям, учреждениям и организациям для их специальных целей; эти земли для краткости называют землями специального назначения; в зависимости от целей использования их делят на виды, для каждого из которых установлен свой правовой режим; к ним относятся земли, предоставленные для нужд добывающей и обрабатывающей промышленности, железнодорожного, водного, воздушного транспорта; земли, занятые нефтепроводами, газопроводами; земли, предоставленные для нужд энергетики, телевидения, радиовещания и космического обеспечения; земли, предоставленные эксплуатационным службам органов мелиорации и водного хозяйства;

земли особоохраняемых территорий и объектов (природоохранного, оздоровительного, рекреационного, историко-культур-

ного, научного назначения), несмотря на специфику каждой из разновидностей указанных земель, объединяют в одну категорию ввиду общности правового режима; эта общность выражается в особой правовой охране данных земель и находящихся на них природных объектов, вызвано это необходимостью исключения их из активной хозяйственной деятельности в силу особой ценности и в интересах не только настоящего, но и будущих поколений;

земли лесного фонда: покрытые лесом, а также не покрытые лесом, но предоставленные для нужд лесного хозяйства, основное целевое назначение их — ведение лесного хозяйства;

земли водного фонда, занятые водными объектами, а также земли, выделяемые под полосы отвода и водоохранные зоны всех водных объектов;

земли запаса: не предоставленные в собственность, владение, пользование или аренду; если необходимо, их можно перевести в любую категорию земельного фонда.

Следует отметить, что под целевым назначением понимают господствующую цель использования земельного участка, которая не исключает и попутных целей его хозяйственной эксплуатации. Например, в состав земель поселений могут входить земельные участки, отнесенные в соответствии с градостроительными регламентами к следующим территориальным зонам: жилым, производственным, рекреационным (занятым городскими лесами, парками и др.), сельскохозяйственного использования, военных объектов и др.

Совокупность всех земель в пределах страны, входящих в различные категории, образует так называемый земельный фонд, который составляет (на 1 января 2006 г.) 1709,8 млн га, в том числе земли сельскохозяйственного назначения — 401,6 млн га (23,5%), земли поселений — 19,1 млн га (1,1%), земли промышленности, энергетики, транспорта, связи, обороны и иного назначения — 16,7 млн га (1%), земли особоохраняемых территорий — 34,2 млн га (2%), земли лесного фонда — 1104,9 млн га (64,6%), земли водного фонда — 27,9 млн га (1,6%), земли запаса — 105,4 млн га (6,2%).

Площади земель разных категорий и видов использования не постоянны, они изменяются в соответствии с потребностями хозяйственных отраслей. Изменение площади земель, относимых к той или иной категории или виду использования, выявляют в процессе уточнения данных, осуществляемого по материалам инвентаризации земель, а также перевода земель из одной категории в другую. Например, в последние годы площади почти всех категорий земель изменились, причем больше всего земли сельскохозяйственного назначения и земли запаса.

8.2. ОСОБЕННОСТИ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ ПОСЕЛЕНИЙ

8.2.1. ПРИЧИНЫ НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬ ПОСЕЛЕНИЙ

Причины неудовлетворительного состояния земель поселений: неудовлетворительный водный режим территории, исходная повышенная засоленность почв, грунтов и подземных вод, недостаточная несущая способность грунтов как оснований для сооружений, неудовлетворительный рельеф местности и др. Поэтому перед строительством населенного пункта, а также при его реконструкции, расширении необходимы мелиорация или инженерное обустройство территории, что является элементом природообустройства. Рассмотрим проблему улучшения водного режима, как наиболее часто встречающуюся. Улучшение свойств грунтов, рельефа рассматривают в курсах строительства конкретных сооружений.

Как правило, для населенных пунктов выбирают территории, не подверженные затоплению или подтоплению, но в связи с развитием и увеличением их числа под застройку отводят новые территории, которые могут быть переувлажнены. Территории существующих населенных пунктов могут подтапливаться в результате техногенных факторов, связанных с изменением гидрогеологических условий территории (например, строительство водохранилищ). В некоторых случаях возможно строительство населенных пунктов на переувлажненных территориях; например, Санкт-Петербург был заложен в болотистой местности, подверженной нагонным наводнениям.

Под *затоплением* понимают покрытие территории слоем воды в результате повышения уровня водотока, водоема или выклинивания подземных вод.

Подтопление — это такое положение уровня грунтовых вод или вод сезонной верховодки, которое приводит к нарушению хозяйственной деятельности на данной территории и при котором проявляется неблагоприятное воздействие воды на подземные части зданий и сооружений, на почвы и грунты, а также на общее санитарное состояние территории.

Подтопление для городских территорий в некотором смысле условно, так как определяется не только глубиной грунтовых вод, но и видом использования территории. Участки с одинаковой глубиной грунтовых вод можно считать подтопленными или нет в зависимости от глубины заложения подземных сооружений и коммуникаций. Так как уровни грунтовых вод подвержены сезонным колебаниям, подземные сооружения могут оказываться под постоянным или временным воздействием грунтовых вод.

Подтопление приводит к переувлажнению грунтов основания сооружений, а следовательно, к ухудшению их несущей способности, к сырости в подвальных помещениях, к повышенной влажности подземных конструкций. При этом если грунтовые воды агрессивны, то значительно сокращается срок службы сооружений и коммуникаций. На участках с крутыми склонами подтопление, вызывая переувлажнение грунтов, приводит к возникновению оползневых деформаций.

Основные негативные последствия подтопления на городских территориях показаны на рисунке 8.1.

Факторы, влияющие на переувлажнение территорий, можно разделить на естественные и искусственные.

К естественным факторам относят:

климатические факторы, прежде всего сочетание количества атмосферных осадков и испарения;

геоморфологические: характер рельефа, уклоны поверхности, которые определяют условия стока ливневых и талых вод, а следовательно, влияют на инфильтрацию воды в почвы и грунты;

геологические и гидрогеологические: геологическое строение, условия формирования подземных вод, область формирования и разгрузки, взаимодействие поверхностных и напорных вод, естественная дренированность территории (густота и глубина естественных дрен в виде гидрографической сети, оврагов, понижений);

гидрологические, т. е. режимы уровней воды и расходов в реках, формирование поверхностного стока;

фильтрационные свойства почвенного покрова и подстилающих грунтов.

Искусственные факторы, влияющие на переувлажнение территорий:

ухудшение условий стока ливневых и талых вод в процессе строительства и эксплуатации объектов городского хозяйства при устройстве выемок, насыпей, при неправильной вертикальной планировке, неисправностях водосточной сети;

эксплуатационные и аварийные утечки из водонесущих коммуникаций (водопроводная сеть, теплосети, канализация);

подпор и повышение уровня подземных вод в результате строительства на прилегающей территории гидротехнических сооружений (водохранилищ, каналов, бассейнов гидроаккумулирующих электростанций и др.);

подпитывание подземных вод за счет инфильтрации на прилегающих орошаемых землях;

неупорядоченный полив зеленых насаждений и приусадебных участков;

экранирование поверхности территории водонепроницаемыми

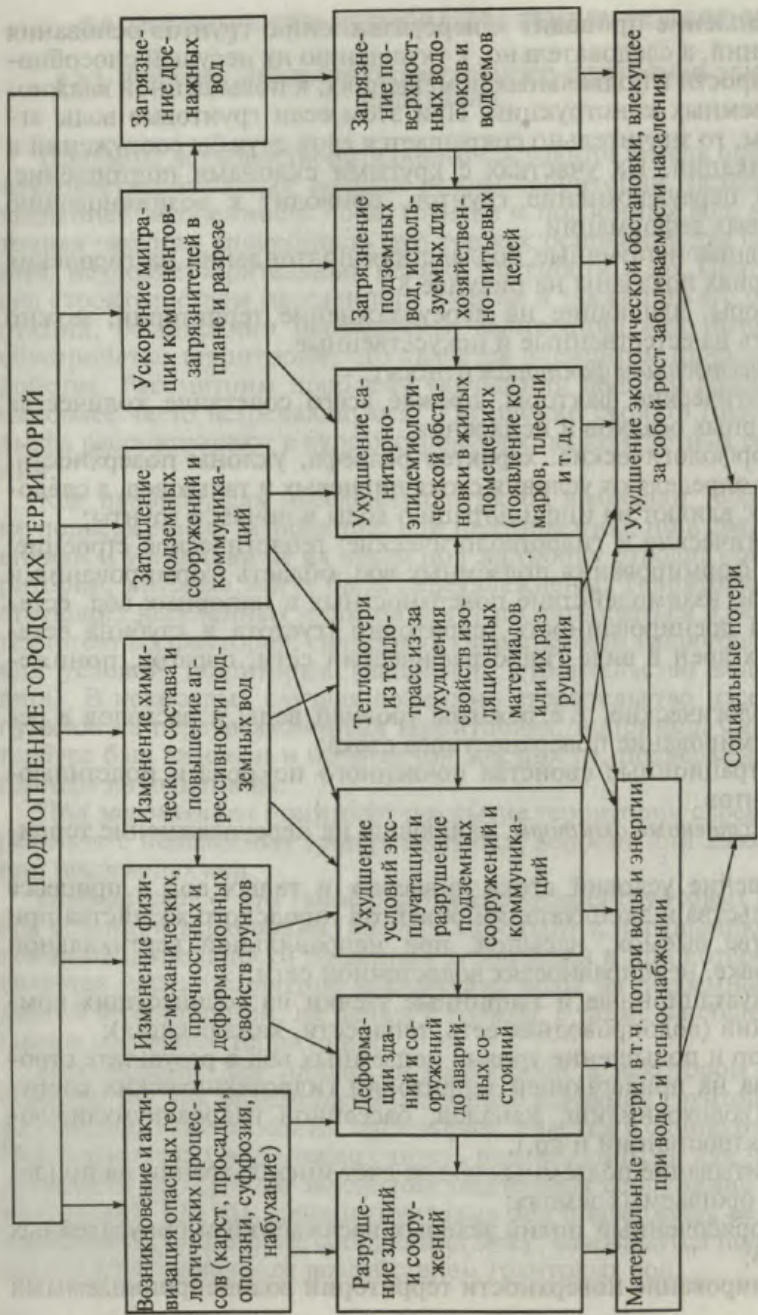


Рис. 8.1. Негативные последствия подтопления на городских территориях (по И. Г. Казаковой, О. В. Слишко)

объектами (асфальтовыми покрытиями, зданиями, сооружениями) и как следствие — уменьшение испарения с непроницаемых поверхностей, конденсация влаги под покрытиями, перераспределение атмосферных осадков на территории.

Причины подтопления, необходимые для прогноза и выбора рациональных мероприятий по борьбе с подтоплением, устанавливают на основе изучения естественного и нарушенного режима подземных вод с количественной оценкой факторов, обобщения и анализа природных особенностей подтапливаемых территорий с их типизацией и районированием.

Используют три основных метода прогноза подтопления.

1. Метод аналогии путем сравнения с ранее освоенными территориями; этот метод приближенный и может дать только качественный прогноз.

2. Аналитический метод, в основу которого положены теоретические фильтрационные зависимости для простых потоков, он не учитывает фильтрационную неоднородность грунтов в плане и разрезе, анизотропию грунтов, разнообразие условий их дополнительного питания.

3. Метод математического моделирования более сложных фильтрационных потоков, в том числе многомерных нестационарных, при переменных свойствах грунтов, меняющейся инфильтрационной нагрузке. Его реализуют с помощью современных компьютерных технологий.

Аналитический метод и моделирование основаны на решении дифференциальных уравнений нестационарной фильтрации грунтовых вод с поступлением дополнительного питания, вызывающего подтопление [(см. разд. 3.5, формула (3.59) и др.]. Особенно распространены формулы, основанные на гидравлической теории движения грунтовых вод, — формулы П. Я. Полубариновой-Кочинной, С. Ф. Аверьянова, Н. Н. Веригина, Г. Н. Каменского, В. М. Шестакова и др.

8.2.2. МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИЙ ПОСЕЛЕНИЙ ОТ ЗАТОПЛЕНИЯ И ПОДТОПЛЕНИЯ

Для защиты территорий и сооружений от затопления поверхностными и подтопления подземными водами, а также для локализации вредного действия этих вод на условия застройки широко применяют методы и способы гидротехнических мелиораций. Наряду с термином «мелиорация территорий» в последнее время используют термин «инженерная защита территорий».

Под инженерной защитой территории понимают комплекс инженерных сооружений, инженерно-технических, организацион-

но-хозяйственных и социально-правовых мероприятий, обеспечивающих защиту хозяйственных объектов и территории от затопления и подтопления, обрушения берегов и оползней.

Инженерная защита территории населенных пунктов должна обеспечивать:

бесперебойное и надежное функционирование и развитие городских, градостроительных, производственно-технических, коммуникационных, транспортных объектов, зон отдыха и других территориальных систем и отдельных хозяйственных сооружений;

нормативные медико-санитарные условия жизни населения;

нормативные санитарно-гигиенические, социальные и рекреационные условия защищаемых территорий.

Указанные цели могут быть достигнуты при выполнении комплекса требований, т. е. мелиоративного режима застроенной территории — совокупности требований к регулируемым факторам природных и техногенных процессов, обеспечивающих целенаправленный прогресс территории как техноприродной системы.

Мелиоративный режим застроенных территорий оценивают следующими основными показателями: допустимый диапазон изменения влажности почв и грунтов; направленность и интенсивность водообмена вод зоны аэрации и грунтовых вод; допустимая среднегодовая глубина грунтовых вод; допустимая продолжительность подтопления; допустимая концентрация токсичных элементов в поровом растворе и значения рН; допустимая коррозионная активность вод зоны аэрации и грунтовых вод.

При проектировании инженерной защиты населенных пунктов используют следующие методы гидромелиорации, т. е. принципы и приемы воздействия, направленные на устранение факторов избыточного увлажнения почв и грунтов: ускорение отвода поверхностного стока; ограждение территории от притока поверхностных, грунтовых и грунтово-напорных вод; защита территории от затопления водами рек и водохранилищ; понижение и регулирование уровня грунтовых вод.

Основные способы гидромелиорации, т. е. конкретные технические средства и мероприятия, направленные на устранение избыточной увлажненности территории и создание на ней необходимого водного режима, следующие: мероприятия, направленные на своевременный отвод поверхностных вод (водосточная сеть, планировка поверхности); береговые и головные дрены; нагорные, ловчие или нагорно-ловчие каналы; обвалование; машинный водоподъем; устройство открытой или закрытой осушительной сети (горизонтальный, вертикальный или комбинированный дренаж).

В качестве вспомогательных средств используют: повышение водоотводящего и дренирующего значения гидрографической

сети путем расчистки русл и стариц, фитомелиорацию, агролесотехнические мероприятия, искусственное повышение поверхности территории, устройство противофильтрационных завес, гидроизоляция.

Для борьбы с подтоплением земель применяют также *профилактические* мероприятия. Они наиболее просты, эффективны и направлены на предотвращение, недопущение подтоплений, на ограничение потерь воды из всех источников на застроенных территориях. Профилактические мероприятия включают: сохранение естественного дренажа, предупреждение утечек из водонесущих коммуникаций (водопровод, канализация, теплосети), нормирование поливов улиц, зеленых насаждений и приусадебных участков.

При проектировании инженерной защиты от подтопления норму осушения (минимально допустимую глубину уровня грунтовых вод, считая от поверхности земли) принимают в зависимости от типа застройки территории согласно СНиП 2.06.15—85.

Тип застройки	Норма осушения, м
Территории крупных промышленных зон и комплексов	До 15
Территории городских промышленных зон, коммунально-складских зон, центры крупнейших, крупных и больших городов	5
Селитебные территории городов и сельских населенных пунктов	2
Территории спортивно-оздоровительных и рекреационных объектов	1
Территории защитного назначения (зеленые насаждения общего пользования, парки, санитарно-защитные зоны)	1

Примечание. Селитебная территория — это часть города, предназначенная для строительства жилых домов и общественных зданий.

8.2.3. УСКОРЕНИЕ ОТВОДА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

Ускорить поверхностный сток на защищаемой территории можно посредством вертикальной планировки и устройства водосточной сети.

Вертикальная планировка заключается в исправлении и сглаживании рельефа с приданием местности определенных уклонов. Расположение улиц при новой застройке необходимо увязывать с наиболее экономичным решением вертикальной планировки. Продольные уклоны проезжей части улиц должны составлять 0,06...0,003, промышленных автомобильных дорог — не менее 0,004.

Для отвода с территории дождевых (ливневых) и талых вод предназначена водосточная сеть (рис. 8.2): закрытая (подземная),

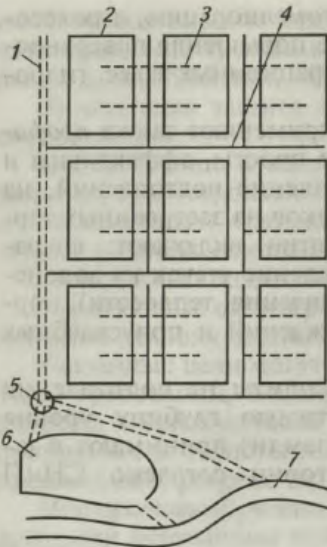


Рис. 8.2. Городская водосточная сеть (по Б. М. Дегтяреву):

1 — магистральный коллектор; 2 — городские кварталы (микрорайоны); 3 — внутриквартальная водоотводящая сеть; 4 — уличные водостоки; 5 — станция очистки; 6 — пруд-отстойник; 7 — река-водоприемник

открытая и смешанная. *Закрытая водосточная сеть* (рис. 8.3) более совершенна, и ее чаще применяют в населенных пунктах на улицах с покрытием. Она состоит: из уличных лотков, дождеприемных колодцев, подземных коллекторов второго и первого порядков (прокладываются преимущественно под проездами), магистральных коллекторов, смотровых колодцев на коллекторной сети, перепадов и быстроотводов, водовыпусков.

Талая и дождевая вода собирается в притротуарные лотки, а из них сбрасывается в дождеприемные колодцы, расположенные на расстоянии 40...140 м друг от друга. Из дождеприемных колодцев вода отводится по соединительным веткам в закрытые уличные коллекторы, по которым стекает в магистральные коллекторы и далее поступает на очистные сооружения и в водоприемники. Длина соединительных веток составляет не более 25 м, диаметр — 300...400 мм.

На закрытой сети коллекторов устраивают смотровые колодцы. Их размещают в местах впадения трубопроводов (соединительных веток), изменения диаметров и уклонов труб, изменения направления трассы трубопроводов, на перепадах, на прямых участках сети на расстоянии 50...250 м (в зависимости от диаметра коллектора). Для водосточных коллекторов диаметром 300...600 мм применяют асбестоцементные трубы, а диаметром 700...1500 мм — железобетонные.

В *открытой системе водостоков* (рис. 8.4) вода собирается и транспортируется придорожными кюветами проездов. Воду из

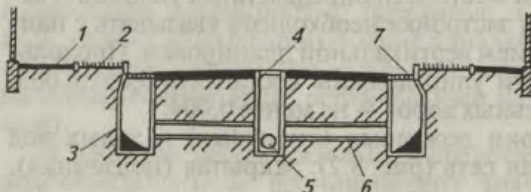


Рис. 8.3. Закрытая водосточная сеть:

1 — тротуар; 2 — газон; 3 — дождеприемный колодец; 4 — смотровой колодец; 5 — уличный коллектор; 6 — соединительная ветка; 7 — притротуарный лоток

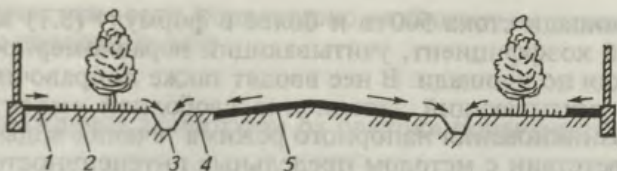


Рис. 8.4. Открытая водосточная сеть:

1 — тротуар; 2 — газон; 3 — кювет; 4 — обочина; 5 — проезжая часть

кюветов сбрасывают либо непосредственно в водоприемники, либо через магистральные каналы, прокладываемые по пониженным элементам рельефа. При пересечении улиц кюветы и каналы закрывают в трубы либо перекрывают мостиками.

Рассчитывают водоотводящие сети не на самые интенсивные дожди, иначе поперечные размеры трубопроводов получились бы слишком большими, а на дожди с определенным периодом однократного превышения расчетной интенсивности. Расчетный расход дождевых вод, л/с, вычисляют по формуле

$$q_r = \frac{z_{\text{mid}} A^{1,2}}{t_r^{1,2n-0,1}} F, \quad (8.1)$$

где z_{mid} — среднее значение коэффициента, характеризующего поверхность бассейна стока; A, n — параметры, определяемые по результатам обработки многолетних записей самопишущих дождемеров, расположенных в данной местности; t_r — расчетная продолжительность дождя, равная продолжительности протекания поверхностных вод по поверхности и трубам до расчетного участка, мин; F — площадь стока, га.

При отсутствии обработанных данных дождемеров параметр A допускается определять по формуле

$$A = q_{20} 20^n \left(1 + \frac{\lg P}{\lg m_r} \right)^\gamma, \quad (8.2)$$

где q_{20} — интенсивность дождя для данной местности продолжительностью 20 мин при $P = 1$ год, определяемая по картам изолиний, л/(с · га); P — период однократного превышения расчетной интенсивности дождя, год; n — показатель степени, зависящий от географического положения местности и значения P ; m_r — среднее число дождей за год; γ — показатель степени.

На основе опыта проектирования и эксплуатации действующих водоотводящих сетей в городах и на промышленных предприятиях разработаны рекомендации по выбору параметров, входящих в формулы (8.1) и (8.2), которые приведены в СНиП 2.04.03—85.

При площади стока 500 га и более в формулу (8.1) вводят поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность выпадения дождя по площади. В нее вводят также поправочный коэффициент, учитывающий заполнение свободной емкости сети в момент возникновения напорного режима течения воды.

В соответствии с методом предельных интенсивностей максимальный расход дождевых вод в расчетном сечении наблюдают, когда продолжительность расчетного дождя равна времени протекания воды от наиболее удаленной точки площади стока до расчетного сечения, что обеспечивает учет стока со всей площади. Поэтому расход воды в любом сечении трубопровода водоотводящей сети достигает максимального значения при расчетной продолжительности дождя, отличающейся от фактической его продолжительности.

Расчетная продолжительность дождя t_r , мин:

$$t_r = t_{\text{con}} + t_{\text{can}} + t_p, \quad (8.3)$$

где t_{con} — продолжительность протекания дождевых вод до уличного лотка или при наличии дождеприемников в пределах квартала до уличного коллектора (время поверхностной концентрации), мин; t_{can} — то же, по уличным лоткам до дождеприемника; t_p — то же, по водосточным трубам до расчетного сечения.

Время поверхностной концентрации дождевого стока в населенных пунктах при отсутствии внутриквартальных закрытых дождевых сетей t_{con} принимают равным 5...10 мин, при наличии их — 3...5 мин.

Продолжительность протекания дождевых вод, мин:
по уличным лоткам

$$t_{\text{can}} = 0,021 \Sigma (l_{\text{can}} / v_{\text{can}}), \quad (8.4)$$

где l_{can} — длина участков лотков, м; v_{can} — расчетная скорость течения на участке, м/с;

по трубам до рассчитываемого сечения

$$t_p = 0,017 \Sigma (l_p / v_p), \quad (8.5)$$

где l_p — длина расчетных участков коллектора, м; v_p — расчетная скорость течения на участке, м/с.

При проектировании водосточной сети в плане проводят трассировку сети и разбивают ее на расчетные участки. Коллекторы и уличную сеть водостоков трассируют в соответствии с рельефом местности. Для определения площадей стока, тяготеющих к от-

дельным участкам сети, территорию разбивают на площади стока (бассейны водоотведения).

8.2.4. ОГРАЖДЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ ОТ ПРИТОКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Для предупреждения поступления поверхностных вод на защищаемую территорию со стороны водораздела устраивают нагорные каналы или лотки, перехватывающие сток этих вод. Собираемые нагорными каналами воды должны быть самотеком отведены за пределы защищаемой территории.

Уклон дна нагорных каналов принимают с учетом рельефа местности, но не менее 0,0005. Размеры поперечного сечения нагорных каналов подбирают с расчетом на пропуск максимального расхода поверхностных вод, стекающих с прилегающей водосборной площади. Скорость течения воды в нагорных каналах не должна превышать предельно допустимой для данного грунта, в противном случае предусматривают крепление откосов и дна.

Тип грунта или крепления	Максимально допустимая скорость, м/с
Неукрепленные каналы:	
в песках	0,5
в суглинках	1,0
в глинах	1,5
Каналы, укрепленные мошением	2,5
Каналы с бетонным креплением, лотки бетонные, железобетонные	6,0

На тех участках, где уклоны местности становятся особенно значительными, например на сбросных участках, обычно устраивают перепады и быстротоки.

Расходы воды подразделяют на максимумы весеннего половодья и летне-осенние ливневые или дождевые, в качестве расчетного принимают наибольший из них, формулы для их расчета приведены в справочниках и нормативных документах, например в СП 33-101—2003.

8.2.5. Понижение уровня грунтовых вод

Для понижения уровня грунтовых вод устраивают подземные дренажи, предназначенные для защиты от подтопления расположенных на городских территориях и промышленных площадках подземных сооружений и коммуникаций, а также для улучшения общесанитарных условий на этих территориях.

Основные виды защищаемых подземных сооружений и коммуникаций: фундаменты и подвалы зданий, теплофикационные каналы, туннели и подземные галереи.

Подземные дренажи могут быть классифицированы по назначению или характеру использования, по конструктивным особенностям, расположению дренажа в плане, степени гидродинамического несовершенства.

Подземные дренажи в зависимости от назначения можно разделить на следующие группы:

городской и промышленный — для длительного понижения уровней подземных вод на территориях городов, других поселений и промышленных предприятий;

строительный (строительное водопонижение) — для временно-го (на период строительства) понижения уровня подземных вод на участках строительства;

горный — для осушения обводненных пород при проведении горных работ (разработке карьеров, строительстве шахт, тоннелей и т.п.);

дорожный — для осушения тела дорожного полотна (насыпи) автомобильных и железных дорог с целью повышения его устойчивости;

аэродромный — для осушения грунтов оснований летных полей аэродромов и предотвращения пучения глинистых грунтов при промерзании;

противооползневый — для осушения оползневых массивов с целью повышения их устойчивости.

По конструктивным особенностям дренаж, применяемый в городском и промышленном строительстве, разделяют на горизонтальный, вертикальный и комбинированный.

По расположению в плане по отношению к защищаемой территории и к источникам поступления воды выделяют следующие системы дренажей: однолинейная (головная или береговая дрена); двухлинейная (обычно головная плюс береговая дрена); кольцевая (контурная); площадная (систематический дренаж); смешанная.

По степени гидродинамического несовершенства, т.е. по характеру вскрытия водоносного пласта, выделяют дренажи совершенного типа, полностью вскрывающие водоносный пласт, и дренажи несовершенного типа, частично вскрывающие водоносный пласт.

8.2.6. КОНСТРУКЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ДРЕНАЖЕЙ

Горизонтальные дренажи по конструкции подразделяют: на открытые дрены (каналы и лотки); закрытые дрены со сплошным заполнением фильтрующим материалом; трубчатые дрены; гале-

рейнные дрены; пристенные дрены; пластовые дрены; дрены, совмещенные с водостоками.

Открытые каналы — простейший тип дренажа, который применяют в основном в пригородных зонах, на участках с одноэтажной застройкой без подвалов, иногда в условиях городской и промышленной застройки. Глубину открытых каналов принимают, как правило, до 1,5 м, ширину по дну — 0,2...0,4 м, заложение откосов — в зависимости от типа грунта. Дно и откосы каналов укрепляют мощением или плитами во избежание размыва. Открытые каналы одновременно служат для отвода поверхностных вод.

Лотки применяют для тех же условий и целей, но глубина их может быть большей (до 2...3 м), ширина — 0,8...1,0 м. Обычно используют лотки рамной конструкции из сборного железобетона или из кирпичной кладки.

Закрытые дрены со сплошным заполнением — это траншеи, заполненные фильтрующим материалом (песчано-гравийной смесью, каменной наброской, фашинами — перевязанными пучками хвороста). Недостаток этого типа дренажа — возможность быстрого заиления и как следствие — выход из строя.

Трубчатые дрены представляют собой траншеи, на дно которых укладывают дренажные трубы и фильтрующую обсыпку (рис. 8.5). Для осушения городских территорий используют асбестоцементные, керамические, пластмассовые, железобетонные трубы, а также трубы из пористых материалов. В стенках асбестоцементных труб сверлят водопримемные отверстия диаметром 0,5...1,0 см или пропиливают щели. В качестве водопримемных отверстий служат зазоры в стыках труб. Практика показала, что для надежной работы дренажей в сложных гидрогеологических условиях требуется обсыпка двумя-тремя слоями фильтрующего материала (песка, гравия или щебня), крупность частиц которого увеличивается в несколько раз в каждом последующем слое. Такая фильтрующая обсыпка предупреждает вынос мелких частиц дренируемого грунта.

Диаметр труб определяют гидравлическим расчетом из условий работы в безнапорном режиме, возможностью их прочистки от заиления, и, как правило, он составляет не менее 100...150 мм.

Траншеи для укладки дренажа отрывают с вертикальными стенками (применяя временное крепление) или с устойчивыми откосами.

Галерейные дрены — это дрены, имеющие значительные размеры, позволяющие продвижение по ним человеку (рис. 8.6). Галерею высотой 1,6...1,8 м называют галереей проходного сечения, а 0,9...1,2 м — полупроходного сечения. В городских условиях галерейные дрены применяют редко, в основном в ответственных случаях, когда требуется тщательный надзор за работой дренажа (обычно это дренаж с большой глубиной заложения).

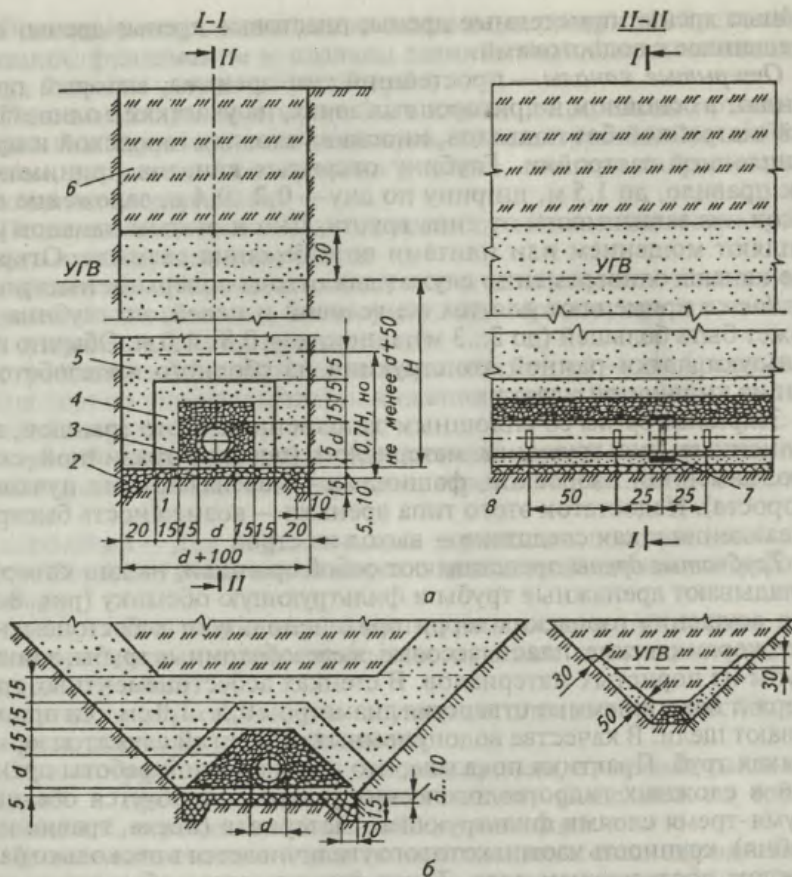


Рис. 8.5. Трубчатый дренаж с трехслойной обсыпкой (размеры в см):

a — траншея с креплением; *б* — траншея с устойчивыми откосами; 1 — щебень, втрамбованный в грунт; 2 — щебень средней крупности; 3 — гравий средней крупности или мелкий щебень; 4 — песок крупнозернистый; 5 — песок среднезернистый; 6 — местный грунт; 7 — муфта; 8 — асбестоцементная труба; *d* — диаметр трубы

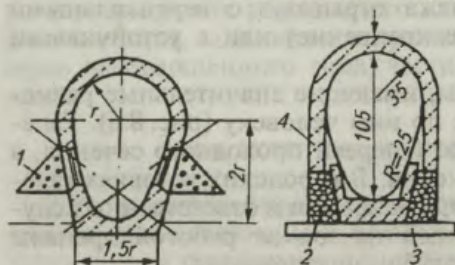


Рис. 8.6. Железобетонные галереи овоидальной формы (размеры в см):

1 — гравий; 2 — щебень; 3 — дощатое основание; 4 — железобетонная труба; *r* — радиус свода галереи

Пристенные дренажи — это дренирующие устройства, охватывающие своими фильтрующими элементами контуры защищаемых сооружений (рис. 8.7). Они представляют собой дренажные трубы с фильтрующей обсыпкой, которые укладывают с наружной стороны фундаментов зданий. Пристенные дренажи применяют для защиты от подтопления фундаментов или подвалов зданий, расположенных на водоупоре.

Пластовые дренажи в отличие от линейных горизонтальных представляют собой плоскостные дренирующие устройства (рис. 8.8). Их применяют для защиты подвалов зданий при нали-

Рис. 8.7. Пристенный дренаж с двухслойной обсыпкой:

- 1 — местный грунт; 2 — гидроизоляция; 3 — песчаная призма; 4 — щебень, втрамбованный в грунт; 5 — щебень; 6 — глинобетон; 7 — крупнозернистый песок; 8 — асбестоцементная труба; d — диаметр трубы

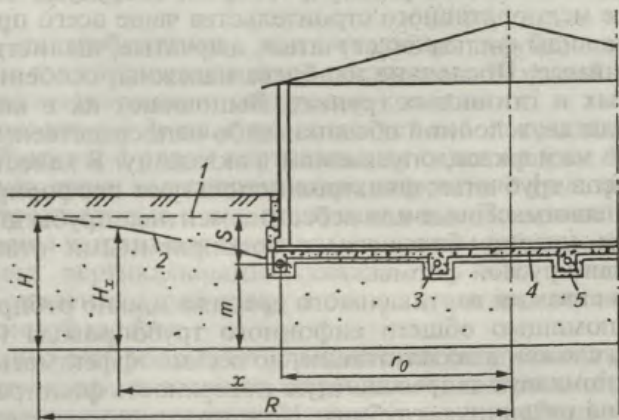
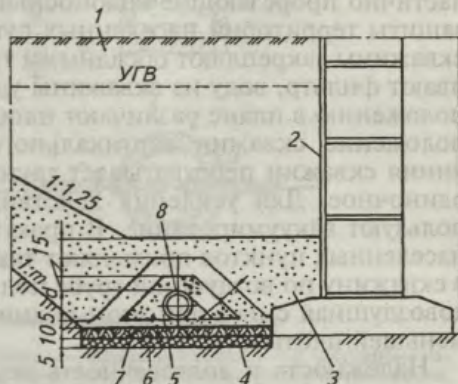


Рис. 8.8. Пластовый дренаж:

- 1 и 2 — непониженный и пониженный уровни грунтовых вод; 3 — трубчатая дрена; 4 — гравий; 5 — песок; r_0 — приведенный радиус дренажа; R — радиус действия дренажа; S — расстояние от непониженного УГВ до уровня воды в дрене; m — расстояние от уровня воды в дрене до водоупора; H — расстояние от непониженного УГВ до водоупора; H_x — положение кривой депрессии на расстоянии x от центра дренажа

чии под ними водоносного пласта (когда дно котлована не достигает водоупора). Такие дренажи можно использовать при защите городских подземных коммуникаций (транспортных туннелей, теплотрасс, подземных резервуаров). Пластовые дренажи устраивают одновременно со строительством самих защищаемых сооружений. После разработки котлована под здание в его основание укладывают слои крупнозернистого песка и гравия, такие же слои насыпают и за наружные контуры здания. В фильтрующую засыпку укладывают дренажные трубы.

Вертикальные дренажи — буровые скважины, полностью или частично прорезающие водоносный пласт, можно применять для защиты территорий населенных пунктов от подтопления. Стенки скважины закрепляют обсадными трубами, в нижней части устраивают фильтр, воду из скважины удаляют путем откачки. По расположению в плане различают площадное (систематическое) расположение скважин вертикального дренажа, линейное — когда линия скважин перехватывает грунтовый поток, выборочное или одиночное. Для усиления действия вертикального дренажа используют вакуумирование. В практике дренирования территорий населенных пунктов применяют также эрлифтные системы, когда в скважину по воздушной трубе под давлением подают воздух. Водовоздушная смесь при этом поднимается на поверхность за счет меньшей плотности.

Надежность и долговечность вертикального дренажа в основном зависят от качества фильтра, которым оборудуют скважины. В практике мелиоративного строительства чаще всего применяют следующие виды фильтров: сетчатые, дырчатые, щелистые и песчано-гравийные. Последние наиболее надежны, особенно в мелкозернистых и глинистых грунтах. Выполняют их в виде однослойной или двухслойной обсыпки либо непосредственно в скважине, либо на каркасе, опускаемом в скважину. В качестве опорных каркасов трубчатых фильтров используют перфорированные стальные, пластмассовые или асбестоцементные трубы диаметром 150...200 мм (иногда большего) с водоприемными отверстиями щелевой или круглой формы.

Воду из скважин вертикального дренажа можно отбирать и отводить с помощью общего сифонного трубопровода (рис. 8.9). Этот метод сложен в эксплуатации, но весьма эффективен, так как позволяет понизить депрессионную поверхность фильтрационного потока на различную глубину. Конструктивно эта система состоит из одной или двух линий сифонного трубопровода, к которым присоединены всасывающими коленами дренажные скважины. В зависимости от ответственности объекта сифонные трубопроводы укладывают либо непосредственно в грунт, либо в проходной галерее. Для устройства сифонного трубопровода ис-

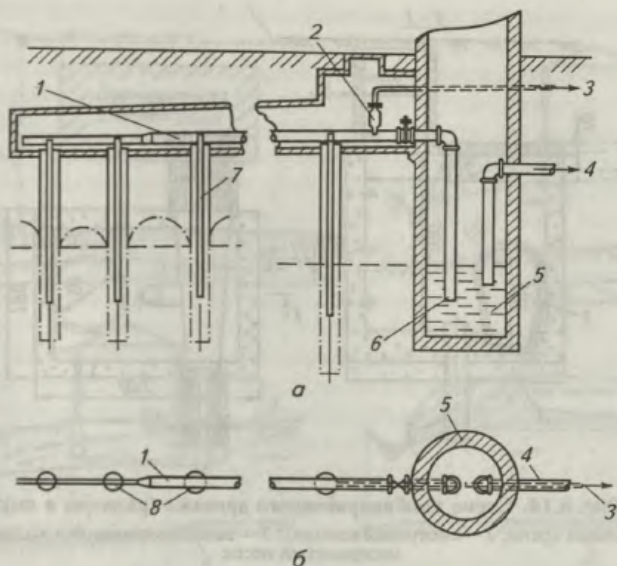


Рис. 8.9. Схема вертикального дренажа с сифоном:

a — разрез; *б* — план; 1 — сифонный трубопровод; 2 — воздушный котел; 3 — к вакуумному насосу; 4 — к откачивающему насосу; 5 — приемный резервуар; 6 — нисходящий участок сифона; 7 — всасывающая труба; 8 — скважины

пользуют железобетонные или стальные трубы диаметром 300...500 мм с антикоррозионным покрытием. В местах расположения скважин устраивают смотровые колодцы.

Комбинированный дренаж представляет собой сочетание горизонтальной дрены с рядом вертикальных скважин (рис. 8.10). Горизонтальная дрена имеет дренажные отверстия с фильтровой обсыпкой, через которые в нее поступает вода. По трассе горизонтальной дрены устраивают смотровые колодцы (обычно непосредственно над вертикальными скважинами, что облегчает их ремонт). Горизонтальную дрону в этом случае выполняют в виде железобетонной галереи.

Дренажную сеть оборудуют следующими сооружениями: устьевыми, смотровыми колодцами, перепадами, колодцами-резервуарами, перекачивающими устройствами и, если необходимо, очистными сооружениями.

Дренажные воды желателно отводить самотеком в естественную гидрографическую сеть, в водосточную сеть, в канализацию. При принудительном сбросе устраивают водоприемное сооружение — колодец-резервуар и перекачивающую установку. При вы-

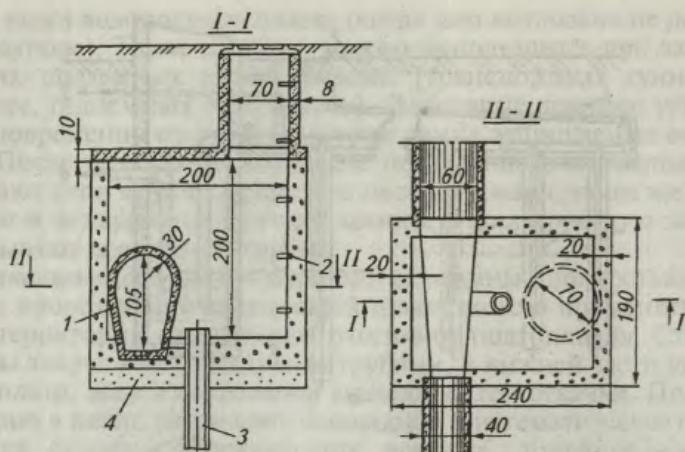


Рис. 8.10. Схема комбинированного дренажа (размеры в см):

1 — горизонтальная дрена; 2 — смотровой колодец; 3 — самоочищающийся колодец; 4 — крупнозернистый песок

ходе дренажных линий в открытый водоприемник делают устьевые сооружения — оголовки. Отметку устьевого сооружения выбирают по возможности выше максимального уровня воды в водоприемнике. Смотровые колодцы устраивают для наблюдения за работой, очистки и ремонта дренажа.

8.2.7. СИСТЕМЫ ПОДЗЕМНЫХ ДРЕНАЖЕЙ

Однолинейные дренажные системы по своему назначению подразделяют на головной и береговой дренажи. Преимущества однолинейных систем: расположение вне защищаемой территории (по ее внешним границам), небольшая удельная протяженность на единицу защищаемой территории, низкие строительные и эксплуатационные затраты.

Головной дренаж применяют при перехвате потока подземных вод со стороны (рис. 8.11). Обычно горизонтальную дрена укладывают по верхней границе дренируемого участка для полного или частичного перехвата потока. В качестве головного можно применять и ряд скважин вертикального дренажа, а также комбинированный дренаж. Выбор типа дренажа зависит от гидрогеологических условий.

Береговой дренаж по принципу своей работы схож с головным (рис. 8.12). Он служит для отвода не только подземных вод, посту-

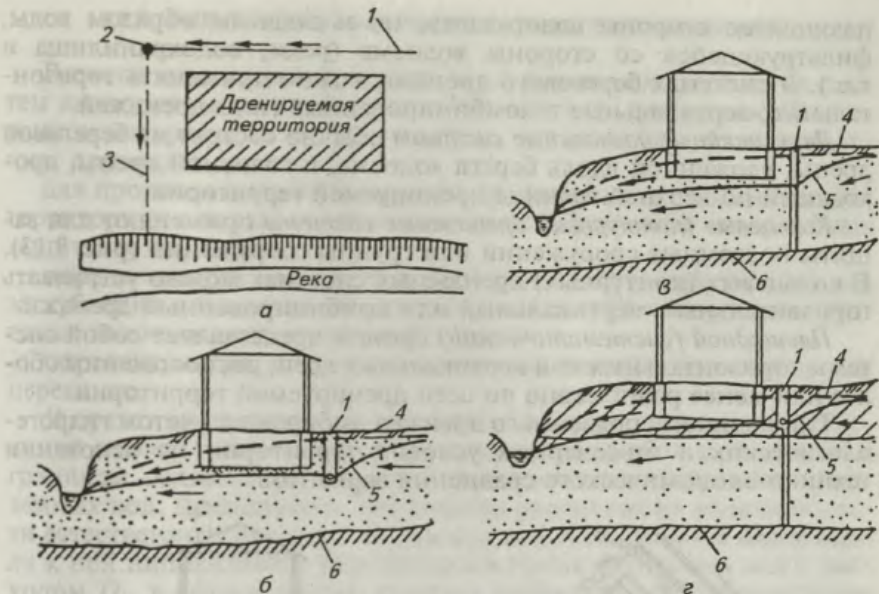


Рис. 8.11. Головной дренаж:

a — план; *б...г* — разрезы через дренаж горизонтального, вертикального, комбинированного типов; 1 — головная дрена; 2 — смотровой колодец; 3 — сбросная линия; 4 и 5 — непониженный и пониженный уровни грунтовых вод; 6 — водоупор

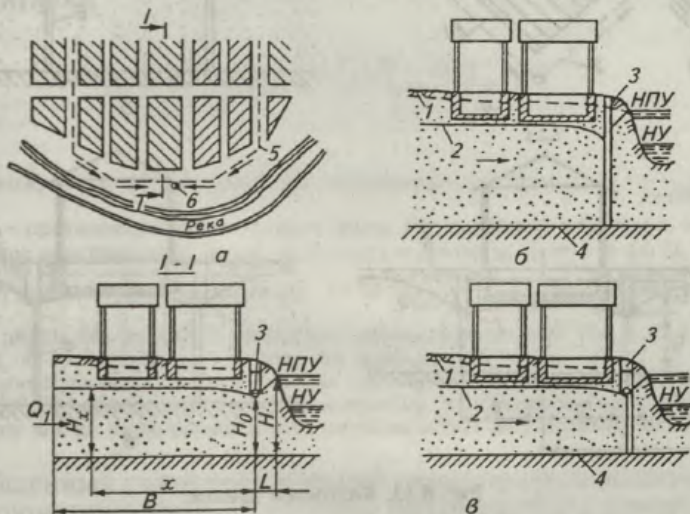


Рис. 8.12. Береговой дренаж:

a — горизонтального типа; *б* — вертикального; *в* — комбинированного; 1 и 2 — непониженный и пониженный уровни грунтовых вод; 3 — береговая дрена; 4 — водоупор; 5 — трасса береговой дрены; 6 — насосная станция

пающих со стороны водораздела, но и главным образом воды, фильтрующейся со стороны водоема (реки, водохранилища и т.п.). В системах берегового дренажа можно применять горизонтальные, вертикальные и комбинированные типы дренажей.

Двухлинейные дренажные системы обычно состоят из береговой дрены, уложенной вдоль берега водоема, и головной дрены, проходящей по верхней границе дренируемой территории.

Кольцевые (контурные) дренажные системы применяют для защиты подземных сооружений или группы сооружений (рис. 8.13). В кольцевых (контурных) дренажных системах можно устраивать горизонтальный, вертикальный или комбинированный дренажи.

Площадной (систематический) дренаж представляет собой системы горизонтальных или вертикальных дрен, расположенных более или менее равномерно по всей дренируемой территории.

Тип и систему подземного дренажа выбирают с учетом гидрогеологических и инженерных условий территории на основании технико-экономического сравнения вариантов.

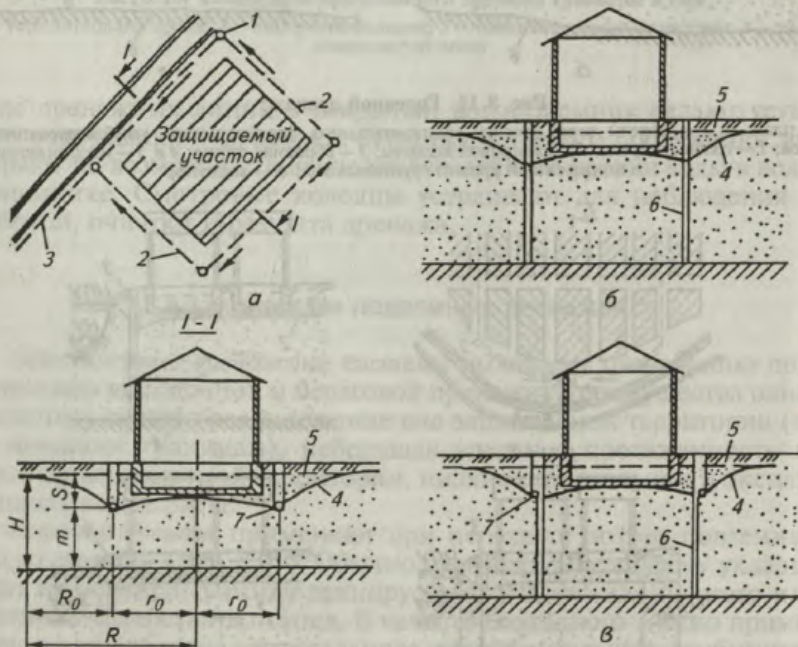


Рис. 8.13. Кольцевой дренаж:

а — горизонтального типа; *б* — вертикального; *в* — комбинированного; *г* — смотровой колодец; *2* — кольцевая дрена; *3* — дренажный коллектор; *4* и *5* — непониженный и пониженный уровни грунтовых вод; *6* — скважина; *7* — горизонтальная дрена

8.2.8. ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ ЗАЩИТНЫХ ДРЕНАЖЕЙ

Расчеты однолинейных головных и береговых дренажных систем аналогичны, их проводят по однотипным формулам. Фильтрационные расчеты на территориях, защищаемых от подтопления, проводят:

для прогноза положения уровня грунтовых вод на защищаемых территориях с целью определения целесообразности тех или иных защитных мероприятий;

определения рационального типа и расположения дренажа, его заглубления, обеспечивающих требуемое понижение уровня грунтовых вод на защищаемой территории;

определения расходов дренажных вод, подлежащих сбросу или перекачке.

В практике проектирования наиболее часто встречается следующий случай расположения берегового дренажа по отношению к границам областей питания и естественного дренирования подземных вод. Дренируемая территория расположена вблизи области естественного дренажа подземных вод, а со стороны водораздела к ней направляется безнапорный поток грунтовых вод с расходом Q_1 , в общем случае имеется инфильтрационное питание грунтовых вод (см. рис. 8.12). Для данной расчетной схемы расход несовершенной дрены может быть вычислен по формуле С. Ф. Аверьянова с поправкой на дополнительное инфильтрационное питание:

$$Q_0 = \frac{2\alpha_1}{(1 + \alpha_1)} \left(Q_1 + \frac{kT_2(H - H_0)}{\bar{L}} + Q_e \right), \quad (8.6)$$

где α_1 — коэффициент, учитывающий несовершенство дрены, $\alpha_1 = \frac{1}{1 + (H_0/\bar{L})A}$

[здесь H_0 — превышение уровня воды в дрене над подошвой водоупора, м; \bar{L} — приведенное расстояние от дрены до контура водоема, м, $\bar{L} = L + \Delta L$ (L — расстояние от дрены до контура водоема); $A = 1,47 \lg \frac{1}{\sin(\pi d/2H_0)}$ (d — диаметр дрены, м)];

Q_1 — расход безнапорного потока со стороны водораздела, м³/сут на 1 м длины дрены; k — коэффициент фильтрации дренируемой толщи, м/сут; T_2 — средняя мощность фильтрационного потока на участке от дрены до водоема, $T_2 = (H + H_0)/2$ (H — напор воды на контуре водоема, м); Q_e — расход воды, поступающей в дрину за счет инфильтрационного питания, м³/сут на 1 м длины дрены.

Обобщенный гидрогеологический параметр русла водоема учитывает геометрию, фильтрационную неоднородность и характеризует фильтрационное сопротивление русла водоема. При двухслойном сложении его можно вычислить по формуле В. М. Шес-

такова:

$$\Delta L = \sqrt{\frac{m_1 m_2 k_2}{k_1}}, \quad (8.7)$$

где m_1, k_1 — мощность, м, и коэффициент фильтрации, м/сут, для первого слоя; m_2, k_2 — то же для второго слоя.

Положение депрессионной кривой от дрены в сторону водораздела находят по формуле С. Ф. Аверьянова:

$$H_x = H_0 = \frac{1 - \alpha_1}{1 + \alpha_1} (H - H_0) + \frac{(1 + \alpha_1 / \alpha_x) Q_1 x}{(1 + \alpha_1) k T_1}, \quad (8.8)$$

где H_x — искомый напор над водоупором в любой точке на расстоянии x от дрены, м; α_x — коэффициент, $\alpha_x = \frac{1}{1 + (H_0/x)A}$ (здесь x — расстояние от дрены до расчетного сечения, м); T_1 — средняя мощность потока со стороны водораздела на участке от дренажа до расчетного сечения x , $T_1 = (H_x + H_0)/2$, при большом значении H_0 можно принимать $T_1 \approx H_0$.

В формуле (8.8) не учтено влияние на положение депрессионной кривой инфильтрации в грунт атмосферных осадков и хозяйственно-промышленных вод. Это можно сделать по формуле

$$H'_x = H_x + \Delta H_\epsilon, \quad (8.9)$$

где H'_x — ордината депрессионной кривой с учетом инфильтрации на расстоянии x от дрены, м; ΔH_ϵ — превышение ординаты депрессионной кривой за счет инфильтрации, м, вычисляют по формуле

$$\Delta H_\epsilon = \frac{\epsilon x}{kT} \left(B - \frac{x}{2} \right), \quad (8.10)$$

где ϵ — инфильтрация, м/сут; B — расстояние от дрены до границы области питания, м; T — средняя на этой длине мощность фильтрационного потока, м.

Объем инфильтрационного питания может быть рассчитан по следующему балансовому уравнению:

$$G = M_{\text{ор}} F_{\text{ор}} + W_{\text{ут}} + O_c(F - F_{\text{пр}} \sigma_{\text{пр}} - F_n \sigma_n \beta) - E_c F_{\text{пр}}, \quad (8.11)$$

где G — объем инфильтрационного питания грунтовых вод на рассматриваемой территории за год, м³; $M_{\text{ор}}$ — оросительная норма зеленых насаждений, м³/га;

F_{op} — площадь поливаемых зеленых насаждений, га; $W_{вт}$ — эксплуатационные и аварийные утечки из водонесущих коммуникаций, м³; O_c — атмосферные осадки за расчетный год, м³/га; F — рассматриваемая площадь, га; $F_{пр}$ — общая площадь проницаемых поверхностей рассматриваемой территории, га; F_n — общая площадь непроницаемых поверхностей рассматриваемой территории (асфальт, крыши домов и т.д.), га; $\sigma_{пр}$ — коэффициент стока с проницаемых покрытий; σ_n — коэффициент стока с непроницаемых покрытий; β — коэффициент, учитывающий сток с непроницаемых поверхностей в дождевую канализацию; E_c — суммарное испарение с проницаемых поверхностей за расчетный год, м³/га.

Утечки из водонесущих коммуникаций (водопровод, теплосети, канализация) определяют с учетом их общей протяженности и удельных утечек. Площади проницаемых и непроницаемых поверхностей определяют на основе анализа планов городской застройки. Для перехода к наиболее часто употребляемым единицам измерения инфильтрационного питания грунтовых вод, м/сут, используют формулу

$$\epsilon = G/Ft, \quad (8.12)$$

где G — инфильтрационное питание, м³/год; F — рассматриваемая площадь, м²; t — число суток в году.

Инфильтрационное питание грунтовых вод, зависящее от типа застройки и коэффициента увлажнения территории, приведено в таблице 8.1.

8.1. Инфильтрационное питание грунтовых вод в зависимости от коэффициента увлажнения, м/сут · 10⁻⁴ (по В. В. Ведерникову)

Тип застройки	$K_y > 1$	$K_y = 0,5...1,0$	$K_y = 0,2...0,3$
Многоэтажная	2,7	2,3	1,9
Малозэтажная	3,5	3,2	3,0
Усадьбная	—	3,0	—

8.2.9. ИСКУССТВЕННОЕ ПОВЫШЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРРИТОРИИ

Искусственное повышение отметок территории возможно в следующих случаях: для освоения под застройку затопленных, временно затапливаемых и подтопленных территорий, для благоустройства прибрежной полосы водохранилищ и других водных объектов.

Отметки повышают подсыпкой или намывом грунта на необходимую высоту. Например, в Санкт-Петербурге начиная с 1960 г. и до настоящего времени было намыто 80 млн м³ грунта, в результате чего город получил 3026 га новых площадей для жилищной застройки и парковых зон отдыха у моря. Аналогичные работы про-

водят в Москве, используя грунт, извлекаемый при углублении русел рек и строительстве туннелей.

Выбор отметок повышаемой территории зависит от максимальных уровней воды в водном объекте при защите от затопления или норм осушения с учетом прогноза подъема уровней грунтовых вод при защите от подтопления.

При проведении работ по повышению отметок поверхности территорий нельзя нарушать условия естественного дренирования подземных вод. Для этого по тальвегам засыпаемых или замываемых оврагов и балок прокладывают дренажи, а постоянные водоотводы заключают в коллекторы.

8.3. МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Промышленность — это одна из областей природопользования, отрасль материального производства, создающая средства производства (группа А) и большую часть предметов потребления (группа Б). Промышленность принято делить на добывающую и обрабатывающую, а последнюю — на тяжелую и легкую.

Добывающая промышленность — это совокупность отраслей производства, занимающихся изъятием природного вещества в виде сырья и топлива из недр земли, из вод и лесов. К добывающей промышленности относятся добыча полезных ископаемых, энергетика, охота, рыболовство, заготовка древесины и др.

Обрабатывающая промышленность — это совокупность отраслей производства, занимающихся обработкой и переработкой продуктов, доставляемых добывающей промышленностью и сельским хозяйством, а также ремонтом промышленных изделий. К обрабатывающей промышленности относится и промышленность строительных материалов, получаемых из природного сырья.

8.3.1. МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ ДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

При добыче полезных ископаемых защитные мероприятия проводят с целью безопасного выполнения горных работ и эксплуатации месторождений. Эти мероприятия в основном включают защиту горных выработок от поверхностных и подземных вод с применением водопонижения, водоотлива, регулирования поверхностного стока при открытой (карьеры) и подземной (шахты) разработках месторождений твердых полезных ископаемых.

Различают предварительное осушение, выполняемое как временное мероприятие в период разработки карьеров и шахт, и по-

стоянное осушение, которое проводят одновременно с эксплуатацией месторождения.

При инженерной защите горных выработок от поверхностных вод необходимо соблюдать следующие требования:

предотвращать приток воды в выработки, нарушающий условия нормальной разработки месторождения;

предупреждать прорывы воды в выработки;

препятствовать опасному разрушению водой горных пород, окружающих выработки;

обеспечивать организованный отвод поверхностных и подземных (рудничных) вод к местам их сброса;

не допускать угрожающего водоснабжению истощения ресурсов подземных вод и их загрязнения, опасных деформаций пород в результате понижения уровней подземных вод;

предусматривать мероприятия по охране окружающей среды.

Системы защитных мероприятий и конструкции защитных сооружений должны быть увязаны со способами разработки месторождений и их развитием.

В проектах защиты открытых горных выработок предусматривают:

мероприятия и сооружения для регулирования поверхностного стока на территории, прилегающей к карьеру; для сокращения притока подземных вод в карьер (кольцевые или линейные внешние водопонизительные системы или противодиффузионные завесы);

внутрикарьерные мероприятия и устройства, рассчитанные на приток подземных вод, поступающих в карьер, и на сток собирающихся в нем поверхностных вод (водостоки, карьерные водосборники, водоотливные установки, дренажи, иглофильтровые водопонизительные установки);

насосные станции для откачки воды.

В проектах защиты подземных выработок предусматривают: мероприятия и сооружения по регулированию поверхностного стока;

подземный дренаж, в качестве которого используют сами подземные выработки (штреки) с устройством в них дренажных канавок;

вертикальные, горизонтальные и наклонные самоизливающиеся скважины, забуриваемые из самих выработок;

специальные дренажные выработки (галерейные дренажи) — ниже основных рабочих уровней при значительном притоке воды из водоносной толщи;

скважины с насосами, находящимися на поверхности;

противодиффузионные завесы (свайные, инъекционные, льдопородные, траншейные);

насосные станции для откачки воды.

Для регулирования поверхностного стока при защите горных выработок в зависимости от местных условий можно предусматривать нагорные каналы, ограждающие дамбы, водостоки и водосборники, спрямление или отвод рек в новое русло.

Осушение болот с целью добычи торфа. Торф используют в народном хозяйстве как топливо, сырье для химической промышленности, в сельском хозяйстве, в медицине.

Основной способ добычи торфа — фрезерование. Технологический цикл добычи торфа включает три стадии: раздробление фрезой поверхности торфяной залежи для получения крошки размером 10...25 мм; сушку торфяной крошки на поверхности залежи; уборку высушенной торфяной крошки в штабеля.

Технология добычи торфа требует наименьшей влажности верхних слоев залежи. Нормальной средней влажностью фрезеруемого слоя залежи считают влажность 75...80 % объема.

Регулирующая осушительная сеть может быть представлена открытыми картовыми каналами или закрытым дренажем. Если торфяная залежь подстилается хорошо водопроницаемыми песчаными грунтами, то ее осушают редкими глубокими каналами, врезанными в подстилаемый грунт.

Проводящая сеть состоит из валовых и магистральных каналов (рис. 8.14). Оградительную сеть проектируют в виде нагорных, ловчих или нагорно-ловчих каналов. Магистральный канал прокладывают по наикратчайшему направлению к водоприемнику, по тальвегу минерального дна болота. На болоте может быть и несколько магистральных каналов.

Глубину каналов принимают с учетом эксплуатационной глубины и осадки торфа. Для картовых каналов эксплуатацион-

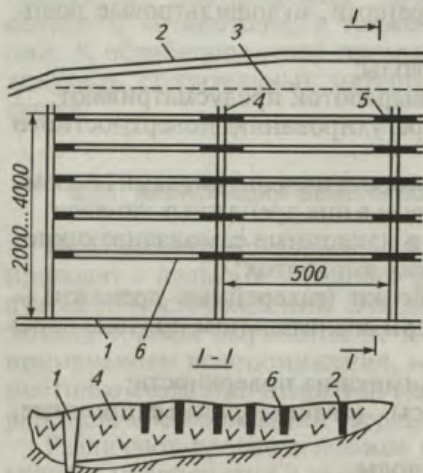


Рис. 8.14. Осушение для добычи торфа (размеры в м):

1 — магистральный канал; 2 — нагорный канал; 3 — узкоколейная железная дорога; 4 — валовый или карьерный канал; 5 — трубопессы; 6 — картовые каналы

ная глубина составляет 1,7...1,8 м, валовых — не менее 2,5, нагорных — не менее 0,8 м. Ширина проводящих каналов по дну не менее 0,5 м, картовых — 0,2...0,3 м. Коэффициенты заложения откосов проводящих каналов назначают от 0,5 до 1,5 в зависимости от степени разложения торфа, а картовых — 0,25...0,35.

Картовые каналы прокладывают перпендикулярно валовым, а длиной более 500 м соединяют с валовыми каналами с обеих сторон. При меньшей длине воду из картовых каналов можно сбрасывать в одну сторону.

На объектах торфодобычи обязательно предусматривают противопожарные мероприятия: строительство водоемов, шлюзование каналов, углубление валовых каналов для противопожарных запасов воды, создание противопожарных зон.

Болота после добычи торфа можно использовать как сельскохозяйственные угодья или залесить. Для этого оставляют слой торфа 0,5 м и проводят рекультивацию торфяной залежи. Обязательно предусматривают противопожарные мероприятия: просеки, подъездные дороги, водоемы, возможность затопления мест возгорания и др.

8.3.2. МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Предприятия обрабатывающей промышленности, как правило, располагают в населенных пунктах для обеспечения предприятий рабочей силой и для профессиональной занятости населения. В зависимости от санитарной опасности производства промышленные предприятия могут находиться в удалении от селитебных территорий, около границ селитебной территории, в пределах селитебной территории.

В соответствии со СНиП 2.06.15—85 норма осушения для территорий городских промышленных зон составляет 5 м. Уровни грунтовых вод должны располагаться не менее чем на 0,5 м ниже подошвы фундаментов зданий, подвалов и заглубленных сооружений. При отсутствии таких условий необходима инженерная защита территорий.

Наиболее распространенные причины переувлажнения земель обрабатывающей промышленности:

естественные: превышение атмосферных осадков над испарением; приток поверхностных, грунтовых или грунтово-напорных вод со стороны;

искусственные (техногенные): утечки из водонесущих коммуникаций, цехов, резервуаров, очистных сооружений; уменьшение испарения за счет строительства непроницаемых покрытий (сооружений, зданий, дорог); конденсация водяных паров под осно-

ваниями сооружений; ухудшение естественного стока атмосферных осадков из-за строительства сооружений; затопление или подтопление водами водохранилищ.

На этих землях применяют те же методы мелиорации, что и на землях населенных пунктов: ускорение поверхностного стока; ограждение территории от притока поверхностных, грунтовых и грунтово-напорных вод; защита территории от затопления водами рек и водохранилищ; понижение и регулирование уровней грунтовых вод.

Технически это мероприятия по регулированию и отводу поверхностного стока (водосточная сеть, нагорные каналы); головные и береговые дренажи для перехвата грунтовых вод со стороны; обвалование территории; дренажные системы и отдельные дренажи. Кроме того, применяют повышение отметок территории, устройство гидроизоляции, устранение утечек из водонесущих коммуникаций.

Для локальной защиты сооружений и предприятий обрабатывающей промышленности применяют кольцевые (контурные), пристенные и пластовые дренажи, а также систематический дренаж.

Кольцевые дренажи в зависимости от конфигурации защищаемого сооружения в плане можно располагать по-разному. Рассчитывают кольцевые горизонтальные дренажи следующим образом:

приводят реальный контур дренажа к равновеликому кругу и определяют радиус (см. рис. 8.13):

$$r_0 = \sqrt{F/\pi}, \quad (8.13)$$

где r_0 — радиус равновеликого круга, м; F — площадь дренируемой территории, м²;

затем определяют радиус действия дренажа, приток к дрене и понижение уровня грунтовых вод в центре дренажа, рассчитывают кривые депрессии в зоне действия дренажа. Радиус действия дренажа, м, вычисляют по формулам:

при отсутствии инфильтрационного питания

$$R_0 = 10S\sqrt{k}, \quad (8.14)$$

где S — понижение уровня грунтовых вод, считая от непониженного его положения до уровня воды в дрене, м; k — коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут;

при равномерном инфильтрационном питании его подбирают по формуле Е. Е. Керкиса:

$$R_0 \sqrt{\lg R_0 - \lg r_0 - 0,217} = 0,66 \sqrt{(k/\epsilon S)(2H - S) - 0,5r_0^2}, \quad (8.15)$$

где ϵ — инфильтрационное питание, м/сут; H — расстояние от подошвы дренируемого пласта до непониженного уровня грунтовых вод, м; S — расстояние от непониженного уровня грунтовых вод до уровня воды в дрене, м, $S = H - m$ (m — расстояние от подошвы пласта до уровня воды в дрене, м).

Приток к кольцевому совершенному дренажу со стороны, м³/сут:

$$Q = \frac{\pi k(2H - S)S}{\ln(R/r_0)}, \quad (8.16)$$

где $R = R_0 + r_0$,

а при наличии инфильтрационного питания на защищаемой территории к нему прибавляют расход $Q = \epsilon F$.

Депрессионная кривая внутри защищаемого контура при отсутствии инфильтрации через некоторое время устанавливается почти на уровне воды в дрене. При наличии инфильтрационного питания превышение депрессионной кривой в центре контура над уровнем в дрене

$$h_{ц} = \frac{\epsilon r_0^2}{4kH}. \quad (8.17)$$

Для защиты сооружений от подтопления в центре дренажного контура необходимо соблюдать следующее условие:

$$S - (h_{ц} + h_{к}) > h_{п}, \quad (8.18)$$

где $h_{к}$ — максимальная высота капиллярного поднятия воды в грунте, м; $h_{п}$ — глубина подземной части защищаемого сооружения, считая от непониженного уровня грунтовых вод, м.

Расчет *пристенного дренажа* (рис. 8.15) заключается в определении притока воды к дренажу и в построении депрессионной кривой в сторону от дренажа. Приток воды к пристенному дренажу при его работе в безнапорных условиях и в установившемся режиме можно определить по формуле (8.16), а депрессионную кривую в сторону от дренажа можно построить по данным, вычисленным

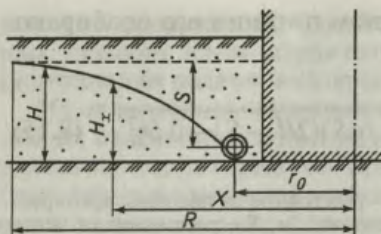


Рис. 8.15. Схема для расчета пристенного дренажа

по формуле

$$H_x = H \sqrt{1 - \frac{\ln(R/x)}{\ln(R/r_0)}}. \quad (8.19)$$

Приток воды к *пластовому дренажу* при его работе в безнапорных условиях и в установившемся режиме рассчитывают по формуле С. К. Абрамова, м³/сут (см. рис. 8.8):

$$Q = \pi k S \left(\frac{S}{\ln \frac{R}{r_0}} + \frac{\frac{\pi}{2} + 2 \arcsin \frac{r_0}{m + \sqrt{m^2 + r_0^2}} + 0,515 \frac{r_0}{m} \ln \frac{R}{4m}}{2} \right). \quad (8.20)$$

Депрессионную кривую в сторону от дренажа строят по данным, вычисленным по уравнению

$$H_x = m + S \sqrt{1 - \frac{\ln(R/x)}{\ln(R/r_0)}}. \quad (8.21)$$

При расчете *систематического дренажа* определяют расстояние между дренами и приток к ним. Расстояние между дренами совершенного и несовершенного типов при установившейся или неустановившейся фильтрации можно вычислить по формулам А. Н. Костякова, С. Ф. Аверьянова и др.

8.4. МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ ТРАНСПОРТА

Землями транспорта считают земли, находящиеся в пользовании органов и предприятий автомобильного, железнодорожного, воздушного, морского, речного, трубопроводного транспорта.

Землями автомобильного транспорта называют участки, отведенные для прокладки и обслуживания автомобильных дорог всех типов (шоссеиных, грейдерных, профилированных, проселочных и др.). Участки, занятые городскими проездами, улицами и доро-

гами, относятся к категории городских земель, а не земель транспорта.

В состав земель, занятых автомобильными дорогами, входят как участки, на которых расположено земляное полотно с проезжей частью, так и полосы отвода по обе стороны проезжей части. К этим землям относят участки, занятые под мостами, путепроводами, производственными базами и другими сооружениями, обслуживающими дорожное хозяйство.

Автомобильные дороги в зависимости от расчетной интенсивности движения и их народнохозяйственного и административного значения подразделяют на шесть категорий. Основные параметры поперечного профиля проезжей части и земляного полотна автомобильных дорог (ширина земляного полотна, проезжей части, обочины, число полос движения и др.) принимают в зависимости от их категории.

Проезжую часть проектируют с двускатным поперечным профилем на прямолинейных участках дорог всех категорий. На закруглениях в плане с радиусом менее 2000 м предусматривают устройство проезжей части с односкатным поперечным профилем. Поперечные уклоны проезжей части назначают в зависимости от числа полос движения и дорожно-климатической зоны — от 0,015 до 0,025.

Дорожное полотно в общем случае состоит из земляного полотна (в котором выделяют верхнюю часть полотна, основание насыпи); дорожной одежды, в которой выделяют покрытие, или верхнюю часть дорожной одежды, основание, дополнительные слои — дренажные, теплоизолирующие и др.; устройства для поверхностного водоотвода; устройства для понижения и отвода грунтовых вод (дренаж).

На автомобильных дорогах должен быть обеспечен правильный отвод поверхностного стока. Плохо организованный водоотвод приводит к уменьшению прочности дорожного покрытия, нарушению нормальной эксплуатации дороги, к развитию эрозионной и оползневой деятельности на прилегающей территории и к загрязнению окружающей среды.

Схема водоотвода с поверхности покрытий автомобильных дорог зависит от ширины проезжей части и обочин. Так, для дорог 1...3-й категорий при значительной ширине проезжей части водоотвод можно обеспечить прикромочными водоотводными лотками, расположенными вдоль кромок проезжей части, а также поперечными водосбросными лотками на откосах насыпей.

Для автомобильных дорог с разделительной полосой дополнительно требуется отвод воды с поверхности этой полосы и вывод за пределы земляного полотна. Сброс воды с разделительных по-

лос выпуклого очертания обеспечивается продольными и поперечными уклонами. Для отвода воды с разделительных полос вогнутого очертания требуются укрепленные подводящие русла на разделительных полосах, дождеприемные колодцы, водосточные трубы под насыпью дороги и выводные устья.

Верхнюю часть земляного полотна осушают с помощью строительства дренирующих слоев из песка, укладываемых под дорожным покрытием. Дренирующие слои из песка одновременно предотвращают пучение грунтов дорожного полотна.

При близком залегании уровней грунтовых вод необходимо строительство дренажей для их понижения. Линии дренажа располагают вне дорожного полотна, под боковыми водоотводными канавами.

В целях снижения переувлажнения верхней части земляного полотна и дорожной одежды за счет подтока парообразной и капиллярной влаги устраивают водонепроницаемые и капиллярпрерывающие слои. Для этих слоев используют местные супесчаные грунты, обработанные вяжущими веществами, асфальтобетонные смеси, синтетические пленки.

Для уменьшения глубины промерзания земляного полотна можно применять теплоизолирующие слои из торфоплит, пенобетона, керамзита, шлака и т. д.

8.5. ВОДООТВОД И ДРЕНАЖ НА АЭРОДРОМАХ

Территории, занятые аэропортами и аэродромами гражданской авиации, относятся к категории земель воздушного транспорта. Кроме того, к этой категории земель относятся участки, занятые авиаремонтными заводами и мастерскими, а также сооружениями, обслуживающими аэродромное хозяйство.

Для безопасности полетов на аэродроме необходимы мероприятия, обеспечивающие быстрый сток дождевых вод и отвод их за пределы летного поля. Кроме того, необходимо предотвратить избыточное водонасыщение грунтов оснований искусственных покрытий взлетно-посадочных полос, рулежных дорожек, мест стоянок самолетов.

Водоотводные и дренажные системы искусственных покрытий можно представить тремя принципиальными схемами: в зоне избыточного увлажнения при ширине покрытий более 40 м и глинистых грунтах основания применяют схему, показанную на рисунке 8.16, I; в зоне неустойчивого увлажнения — схему, показанную на рисунке 8.16, II; в зоне недостаточного увлажнения и в засушливой зоне — на рисунке 8.16, III, водоотводные системы при такой схеме не устраивают.

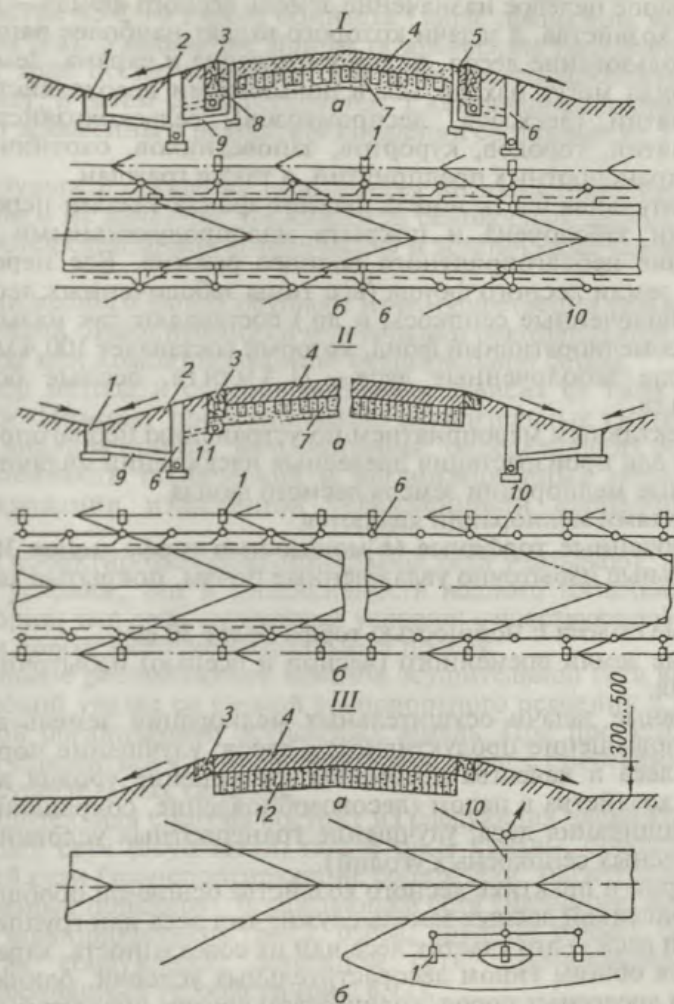


Рис. 8.16. Схема водоотводных и дренажных систем аэродромных покрытий:

a — профиль; *б* — план; 1 — тальвежный колодец; 2 — грунтовый лоток; 3 — отстойка; 4 — покрытие; 5 — лоток в кромке покрытий; 6 — смотровой колодец; 7 — основание с дренирующим слоем; 8 — дождеприемный колодец; 9 — перепуск; 10 — коллектор; 11 — закромочная дрена; 12 — основание без дренирующего слоя

8.6. МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНОГО ФОНДА

Основное целевое назначение земель лесного фонда — ведение лесного хозяйства, в задачи которого входят наиболее рациональное использование лесов, их приумножение и охрана. Земли лесного фонда могут находиться в пользовании лесохозяйственных предприятий (лесхозов, леспромхозов), сельскохозяйственных предприятий, городов, курортов, заповедников, охотничьих хозяйств, транспортных предприятий, а также граждан.

Значительная часть земель лесного фонда России переувлажнена или заболочена и покрыта малопродуктивными лесами вследствие неблагоприятного водного режима. Все переувлажненные земли лесного фонда (все типы заболоченных лесов, болота, заболоченные сенокосы и др.) составляют так называемый гидролесомелиоративный фонд, который составляет 100,4 млн га, в том числе заболоченные леса — 71,5 млн га, лесные болота — 28,9 млн га.

Эффективным мероприятием по устранению неблагоприятных условий для произрастания древесных насаждений являются осушительные мелиорации земель лесного фонда.

Объектами мелиораций являются:

заболоченные торфяные (с мощностью торфа менее 30 см) и минеральные избыточно увлажненные почвы, покрытые хвойным лесом;

лесные болота с мощностью торфа более 30 см;

лесные земли временного (весной и осенью) избыточного увлажнения.

Основные задачи осушительных мелиораций земель лесного фонда: повышение продуктивности лесов; улучшение породного состава леса и качества древесины; повышение уровня ведения лесного хозяйства в целом (лесовозобновление, сокращение сроков выращивания леса, улучшение транспортных условий, улучшение лесных сенокосных угодий).

В теории и практике лесного хозяйства основной обобщающей характеристикой лесных земель служит тип леса или группа типов леса. Тип леса — это участок леса или их совокупность, характеризующиеся общим типом лесорастительных условий, одинаковым составом древесных пород, количеством ярусов, аналогичной фауной, требующие одних и тех же лесохозяйственных мероприятий при равных экономических условиях.

Показатель хозяйственной производительности участка леса — его бонитет. Он характеризуется размером прироста древесины, выходом древесины с 1 га или высотой насаждения в сравнимом возрасте. Выделяют пять классов бонитета: от 1-го (наиболее производительного) до 5-го. Обычно на заболоченных площадях про-

израстают леса 4-го и 5-го классов бонитета (запас древесины составляет 60...100 м³/га). После осушения продуктивность лесов повышается до 2-го класса бонитета (запас древесины возрастает до 300 м³/га). Увеличение прироста древесины начинается через два-три года после осушения, достигая своего максимума через 15...20 лет, и затем стабилизируется. Ежегодный дополнительный прирост древесины в результате осушения составляет от 2 до 10 м³ с 1 га.

В результате осушения повышается не только продуктивность лесов, но и их качество, урожайность сенокосных лесных угодий, улучшаются санитарно-гигиенические и эстетические условия местности.

Земли лесного фонда осушают преимущественно сетью открытых каналов. Лесопитомники и лесопарки рекомендуется осушать закрытой или комбинированной осушительной сетью.

Выбор метода и способа осушения зависит от типа водного питания. Поэтому проектирование осушительных систем начинают с анализа причин заболачивания, определяющих основную направленность технических и организационных мероприятий по ликвидации избыточной увлажненности корнеобитаемого слоя.

При проектировании осушительной сети учитывают: климатические условия; тип и интенсивность водного питания; рельеф территории; тип леса; почвенные условия; существующую сеть каналов и дорог; наличие кварталных просек.

Плановое расположение каналов осушительной сети выполняют в тесной увязке со схемой транспортного освоения и с хозяйственной организацией осушаемых земель. При проектировании следует стремиться к совмещению трасс дорог с просеками и трассами осушительных каналов.

Осушительная система состоит из следующих элементов: регулирующей сети (осушители, тальвеговые каналы, борозды); проводящей сети (транспортирующие сборатели, магистральные каналы разных порядков); ограждающей сети (нагорные, ловчие каналы); водоприемников (реки, озера, крупные ручьи); гидротехнических сооружений; дорожной сети; противопожарных и природоохранных устройств (рис. 8.17).

В зоне неустойчивого увлажнения предусматривают мероприятия, позволяющие регулировать интенсивность осушения и водный режим корнеобитаемого слоя почвы с учетом состояния погодных условий, а также уменьшать пожарную опасность. Для этого чаще всего используют способ предупредительного шлюзования.

При проектировании планового расположения регулирующей сети необходимо руководствоваться следующими положениями:

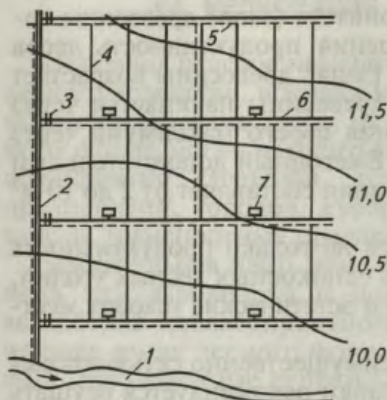


Рис. 8.17. Схема осушения лесных земель:

1 — река-водоприемник; 2 — магистральный канал; 3 — шлюзы-регуляторы; 4 — осушители; 5 — квартальные просеки; 6 — транспортирующие собиратели; 7 — противопожарные водоемы

трассы регулирующей сети по возможности должны быть приурочены к существующим просекам и дорогам;

в целях наиболее полного перехвата поверхностных и грунтовых вод каналы регулирующей сети

должны быть, как правило, расположены под острым углом к горизонталям поверхности земли или гидроизогипсам;

каналы регулирующей сети с транспортирующими собирателями в плане сопрягают под углом $60...90^\circ$;

следует стремиться проектировать двухстороннее впадение регулирующей сети в проводящие каналы;

верховья каналов целесообразно доводить до смежного проводящего канала, чтобы получилась непрерывная сеть проездов по разровненным отвалам;

каналы регулирующей сети должны быть параллельны между собой, а длина их, как правило, — от 500 до 1500 м в зависимости от условий рельефа, расстояния между транспортирующими собирателями и хозяйственно-эксплуатационных условий. При сложных условиях рельефа, а также на площадях без уклона допускается длина в пределах 200...500 м;

длина борозд зависит от почвенно-грунтовых условий и их глубины. Борозды, нарезаемые различными плугами глубиной до 30...40 см, проектируют длиной до 160...200 м.

Расстояние между осушителями можно принять по таблице 8.2, в которой приведен базовый вариант B_0 при глубине осушителей 1 м и зональном коэффициенте $K_{oc} = 1$ с последующим уточнением в соответствии с почвенно-грунтовыми, лесорастительными и гидрологическими условиями, для чего вводят соответствующие поправочные коэффициенты (табл. 8.3; 8.4):

$$B = B_0 K_r K_{oc}, \quad (8.22)$$

где B_0 — расстояние между осушителями базового варианта, м; K_r — поправочный коэффициент, зависящий от почвенно-грунтовых условий и установившейся глубины канала; K_{oc} — поправочный зональный коэффициент.

8.2. Экономически выгодные расстояния между осушителями B_0 при $K_{ос} = 1$ и глубине каналов 1 м

Тип заболачивания	Группа типов леса и условия произрастания	Слой торфа, м	Подстилающий грунт	Расстояние между осушителями, м	
Низинный	Черноольшаники болотно-травяные	0,3...0,6	Суглинки	175	
			Супеси и пески мелкозернистые	210	
			Пески средне- и крупнозернистые	230	
	Сосняки, ельники, кедровники, лиственничники и смешанные насаждения, болотно-травяные	0,6...1,0	>1,0	Суглинки	190
				Супеси и пески мелкозернистые	220
				Пески средне- и крупнозернистые	240
		0,3...0,6	>1,0	Торф	240
				Суглинки	130
				Супеси и пески мелкозернистые	145
	Переходный	Сосняки, ельники, кедровники, лиственничники и смешанные насаждения, осоково- и травяно-сфагновые	0,3...0,6	Суглинки	100
				Супеси и пески мелкозернистые	110
				Пески средне- и крупнозернистые	120
Ельники, кедровники, лиственничники и смешанные насаждения долгомошниковые		0,6...1,0	>1,0	Суглинки	120
				Супеси и пески мелкозернистые	125
				Пески средне- и крупнозернистые	130
Верховой	Сосняки сфагновые	0,3...0,6	Торф	120	
			Суглинки	100	
			Супеси и пески мелкозернистые	110	
		0,6...1,0	>1,0	Пески средне- и крупнозернистые	110
				Суглинки	105
				Супеси и пески мелкозернистые	110
	Сосняки долгомошниковые Сосна на верховом болоте	0,3...0,6	>1,0	Пески средне- и крупнозернистые	115
				Торф	110
				Суглинки	130
		0,6...1,0	>1,0	Супеси и пески мелкозернистые	145
				Пески средне- и крупнозернистые	160
				Суглинки	80
			Супеси и пески мелкозернистые	85	
			Пески средне- и крупнозернистые	85	
			Торф	80	

8.3. Поправочный коэффициент в зависимости от грунтов и глубины канала K_c

Глубина канала после осадки грунта, м	Минеральный грунт и торф глубиной 0,3...0,6 м, подстилаемые			Торф глубиной 0,6...1 м при врезке дна канала в			Торф		
	глиной и суглинком	легким суглинком и супесью	песком	глину и суглинок	легкий суглинок и супесь	песок	низинный	переходный	верховой
0,8	0,84	0,87	0,90	0,77	0,78	0,78	0,78	0,77	0,76
0,9	0,92	0,94	0,96	0,89	0,90	0,91	0,91	0,90	0,88
1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,1	1,05	1,07	1,09	1,07	1,10	1,12	1,07	1,07	1,07
1,2	1,09	1,14	1,17	1,11	1,21	1,21	1,14	1,12	1,11
1,3	1,13	1,21	1,25	1,14	1,29	1,30	1,20	1,17	1,15

8.4. Поправочный зональный коэффициент K_{oc}

Край, область	K_{oc}	Край, область	K_{oc}	Край, область	K_{oc}
Архангельская	0,68	Тверская	0,92	Курская	1,11
Вологодская	0,80	Калужская	1,02	Приморский край	0,72
Мурманская	0,70	Костромская	0,83	Хабаровский край	0,74
Ленинградская	0,92	Московская	1,01	Кемеровская	0,76
Новгородская	0,90	Орловская	1,05	Новосибирская	0,78
Псковская	1,00	Рязанская	1,04	Красноярский край	0,73
Владимирская	0,94	Кировская	0,80		
Ивановская	0,91	Воронежская	1,20		

Глубина осушительной сети зависит от почвенно-грунтовых условий, влияния осушения на рост леса как на объекте мелиорации, так и на прилегающих территориях. Минимальные глубины осушителей принимают 0,8 м в минеральных грунтах и 1 м в торфяных. Максимальная глубина осушителей около 1,4 м.

Осушаемый массив ограждают от притока поверхностных вод с водосбора нагорными каналами, а при значительном притоке подземных вод — нагорно-ловчими.

Глубину нагорных каналов проектируют не более 1,3 м в целях исключения отрицательного воздействия на окружающую среду. Необходимость применения больших глубин должна быть обоснована. Глубина ловчих каналов определяется положением водоупора, но не должна превышать 2 м в природоохранных целях. Дно ловчего канала по возможности должно на 0,3...0,5 м врезаться в подстилающий горизонт.

Проводящую сеть проектируют по тем же правилам, что и при осушении сельскохозяйственных земель.

При осушении лесных земель повышается опасность возникновения пожаров. Вместе с тем наличие каналов препятствует распространению их на большие площади и создает условия для организации тушения возникших очагов. Для уменьшения распрост-

ранения пожаров, а также для тушения возникших очагов при проектировании лесосушительных мероприятий предусматривают:

устройство противопожарных трасс в виде уширенных просек вдоль каналов с проходящей по ним дорогой (или без нее), изолирующих участки осушаемой территории друг от друга;

устройство шлюзов на каналах осушительной сети для задержания воды в каналах в засушливые периоды;

устройство противопожарных водоемов;

устройство водоподводящих каналов к истокам осушительных.

Противопожарные водоемы устраивают в местах наибольшей пожарной опасности на расстоянии 1 км один от другого вблизи дорог и проезжих просек. Водоемы проектируют полезной вместимостью не менее 280...300 м³, со средней глубиной воды не менее 1,5 м в течение всего бесснежного периода.

В проекте гидромелиорации земель лесного фонда должен быть разработан раздел охраны окружающей среды, в котором должно быть определено влияние гидромелиоративных мероприятий на прилегающие территории и в целом на лесное хозяйство, включая показатели повышения продуктивности лесов, улучшения породного состава древостоев, условия лесовозобновления; улучшения продуктивности сенокосов и лугов; условия транспортного и противопожарного устройства территории; развитие ягодников, условия обитания лесной фауны (в том числе хозяйственно ценных видов), изменение гидрологических условий.

Контрольные вопросы и задания. 1. Расскажите о затоплении и подтоплении земель. 2. Какие виды подземных дренажей вы знаете? 3. Расскажите о конструкции дренажей. 4. Как рассчитывают дренажи? 5. Каковы сходства и отличия головного и берегового дренажей? 6. Каковы требования к мелиорированным лесным землям? 7. Расскажите о мелиорации земель промышленности.

9. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ

9.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

Рекультивация земель — составная часть природообустройства, заключается в восстановлении свойств компонентов природы и самих компонентов, нарушенных человеком или загрязненных в процессе природопользования, функционирования техноприродных систем и другой антропогенной деятельности, для последующего их использования и улучшения экологического состояния окружающей среды.

Мировой опыт по рекультивации земель насчитывает всего около 80 лет. Первые работы по рекультивации земель были про-

ведены в 1926 г. на участках, нарушенных горными работами (США, шт. Индиана).

В СССР рекультивацию начали проводить с 1959 г. в Эстонии при добыче сланцев, в России — при добыче бурого угля и на Укр-раине — при добыче железных руд.

Объектами рекультивации являются *нарушенные земли* — это территории, на которых нарушены, разрушены или полностью уничтожены компоненты природы: растительный и почвенный покров, грунты, подземные воды, местная гидрографическая сеть (ручьи, родники, малые реки, озера и т. д.), изменен рельеф местности. К нарушенным землям относятся также *загрязненные земли*, т. е. земли, на которых в компонентах природы произошло увеличение содержания веществ, вызывающих негативные токсико-экологические последствия для биоты.

В СССР с 1971 по 1980 г. рекультивация была выполнена на площади 713 тыс. га, т. е. ежегодный объем рекультивационных работ составлял 71,3 тыс. га. Значительный рост рекультивационных работ был заложен в Государственной комплексной программе повышения плодородия почв России на 1992—1995 гг., в которой предусматривали рекультивировать ежегодно для последующего сельскохозяйственного использования до 96 тыс. га. В аналогичной программе на 2002—2005 гг. наблюдалось снижение площади рекультивации до 52,5 тыс. га в год, очевидно, это связано с оптимизацией инвестиций и объемов работ исходя из опыта реализации программ прошлых лет.

По данным ежегодных государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации», общая площадь нарушенных земель составляет около 1,2 млн га (табл. 9.1), а объем рекультивационных работ — 5...7 % общей площади нарушенных земель, что примерно соответствует ежегодному приросту нарушенных земель: 58,5 тыс. га в 1998 г., 52,9 тыс. га в 1999 г., или 4,9 и 4,6 % общей площади нарушенных земель этих лет (государственные доклады 1998 г. и 1999 г.).

9.1. Площади нарушенных и рекультивированных земель, по данным государственных докладов, тыс. га

Год	Общая площадь нарушенных земель	Нарушенные земли по видам работ			Площадь рекультивированных земель
		Добыча полезных ископаемых и разведочные работы	Торфораз-работка	Другие виды работ	
1996	1179,6	697,6	300,5	181,5	79,9
1997	1232,1	—	—	—	79,2
1998	1186,3	640,2	276,5	269,6	79,5
1999	1143,1	605,0	266,7	271,4	71,9
2000	1150,4	—	—	—	68,5
2001	1150,9	629,9	254,6	266,4	58,0

Значительное место в общем объеме техногенных нарушений занимают земли, образованные в результате химического загрязнения растительного и почвенного покрова. В 1996 г. из 31,1 млн га обследованных земель агрохимической службой Министерства сельского хозяйства и продовольствия России тяжелыми металлами было загрязнено 1,4 млн га, в 1997 г. из 29,5 млн га — 1 млн га, в 1999 г. из 34,4 млн га — 1,1 млн га, в 2001 г. из 70 млн га загрязнено более 2 млн га.

Наблюдается тенденция снижения площади сельскохозяйственных земель, загрязненных остаточным количеством пестицидов: так, в 1996 г. из общей площади обследования загрязнение пестицидами было выявлено на 7 % пашни, в 1997 г. — на 5,1, в 1998 г. — на 4,8, в 2001 г. — на 3,4 %.

Одна из крупных экологических проблем России — загрязнение земель нефтью и нефтепродуктами (табл. 9.2).

9.2. Загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами в результате хозяйственной и иной деятельности (доклад «О состоянии и об охране окружающей среды РФ в 2001 г.»)

Предприятие	Площадь загрязнения, га			Количество нефти и нефтепродуктов, т	Рекультивировано земель, га
	земли	акватории водных объектов	грунтовых вод		
Всего в 1998—2000 гг.	4191,8	88321,6	1290,2	53241,2	830,7
Всего в 2001 г.	2980,6	4972,4	424,4	5409,8	273,2
В том числе:					
добывающие предприятия	2435,8	0,3	4,4	1777,2	261,3
магистральные трубопроводы	66,3	4659,1	—	315,1	5,2
нефтеперерабатывающие предприятия	0,2	—	—	0,6	0,2
предприятия по реализации и предприятия — потребители нефтепродуктов	53,2	308,8	420,0	2108,6	6,0
прочие	425,1	4,2	—	1208,3	0,5

В зависимости от антропогенных воздействий нарушенные земли образуются:

- при добыче торфа (фрезерные поля, карьеры гидроторфа, машиноформовочные карьеры);
- добыче нерудных строительных материалов (карьеры песка, глины, песчано-гравийных материалов);
- производстве открытых горных работ (карьерные выемки, внутренние и внешние отвалы);
- производстве подземных разработок (провалы, прогибы, шахтные отвалы — терриконы);

функционировании урбанизированных территорий (золоотвалы, шлакоотвалы, шламонакопители, свалки твердых бытовых отходов — ТБО и др.);

проведении разведочных и изыскательских работ (участки земель с нарушенным растительным и почвенным покровом, а также участки земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами);

выполнении строительных и эксплуатационных работ (участки земель с частично или полностью нарушенным растительным и почвенным покровом, территории земель, подвергающиеся затоплению, затоплению и эрозионным процессам, а также насыпи, кавальеры, отвалы, гидроотвалы и др.);

технологических процессах в ходе получения материалов, веществ, электрической энергии (земли, загрязненные аэрозолями и пылевыми выбросами, органическими и неорганическими веществами, радиоактивными элементами);

сельскохозяйственном производстве (земли, загрязненные остаточным количеством пестицидов, дефолиантов, сточными водами и удобрениями, а также засоленные, эрозионные и малопродуктивные земли);

военных действиях, производстве оружия и его осколков (земли, загрязненные радиоактивными, отравляющими, токсичными органическими и неорганическими веществами, опасными бактериологическими компонентами).

Природные системы способны обеспечить естественную эволюционную трансформацию и самовосстановление нарушенных компонентов. Благодаря этому свойству техногенные субстраты, подвергаясь воздействию тепла, воды, ветра, растений, микроорганизмов, постепенно трансформируются, разрушаются, связываются до недоступных для биоты форм. Интенсивность этого процесса определяется многими факторами, в зависимости от которых преобразование нарушенных земель, особенно в сложных условиях, может продолжаться десятки и даже сотни лет.

При подборе видового состава растений для восстановления нарушенных земель необходимо учитывать опыт природного восстановления. Поэтому рекультивацию следует начинать с изучения опыта природной эволюции нарушенных земель, чтобы найти наиболее эффективные способы оптимизации измененных геосистем с целью превращения их в культурные ландшафты.

Рекультивация нарушенных земель заключается:

в анализе эволюции нарушенных земель с целью изучения природной трансформации компонентов в измененных геосистемах и разработки способов управления геологическими и биологическими процессами в рекультивационный период (см. принцип природных аналогий);

анализе природных, технологических и социально-экономических условий для обоснования направления использования нарушенных земель;

разработке способов рекультивации по отдельным видам нарушенных земель, создании специальных инженерно-экологических систем по оптимизации функционирования техноприродных геосистем.

Сформулированные методологические положения рекультивации нарушенных земель основаны на неразрывности процессов, происходящих в геосистемах, и на постоянном отслеживании (мониторинге) межкомпонентных перемещений загрязняющих веществ с целью разработки методов прогнозирования и систем управления потоками вещества как внутри рекультивируемой геосистемы, так и в прилегающих иерархических структурах (фациях, урочищах, местностях, ландшафтах).

9.2. ЭТАПЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

Комплекс рекультивационных работ представляет собой сложную многокомпонентную систему взаимосвязанных мероприятий, структурированных по уровню решаемых задач и технологическому исполнению.

Выделяют следующие этапы рекультивации:

подготовительный (проведение инвестиционного обоснования мероприятий по рекультивации нарушенных земель — разработка рабочей документации);

технический (инженерно-техническая часть проекта, направленная на восстановление или создание новой поверхности нарушенных земель, очистку от загрязняющих веществ, восстановление почвенного покрова и подготовку к биологической рекультивации);

биологический — завершающий этап проекта рекультивации (озеленение, лесное строительство, биологическая доочистка почв, агромелиоративные и фиторекультивационные мероприятия, направленные на восстановление процессов почвообразования).

Продолжительность двух последних этапов условно называют рекультивационным периодом, который в зависимости от состояния нарушенных земель и их целевого использования может длиться от одного года до нескольких десятков лет.

При решении сложных экологических задач, требующих постоянного контроля и управления потоками вещества в техноприродных геосистемах, продолжительность этого периода зависит от сроков полного восстановления компонентов природы.

9.2.1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Проектную документацию на стадии инвестиционного обоснования или рабочего проекта разрабатывают на основе задания заказчика на проектирование рекультивации нарушенных земель. Инвестиционное обоснование представляет собой исследование вариантов проектных решений с целью выбора оптимального, имеющего наилучшее сочетание коммерческого, социального и экологического эффектов.

Рабочий проект — это регламентированный нормативами комплект проектно-сметной документации, по которой проводят работы технического и биологического этапов рекультивации нарушенных земель.

Любая стадия проектирования проходит согласование в инспектирующих органах и сопровождается экологической экспертизой.

Проектирование рекультивации на любой стадии начинают с анализа имеющихся проектов, при реализации которых произошли нарушения почв и растительного покрова, или технологий предприятий и организаций как источников этих нарушений. При недостатке информации для принятия конструктивных решений проводят фрагментарные, а при необходимости комплексные изыскательские работы по всей нарушенной территории.

Выбор направления использования нарушенных земель в проекте выносят в отдельный раздел и тщательно обосновывают, используя материалы изысканий, прогнозы изменения природной среды и оценку пригодности земель для целей рекультивации.

Целевыми являются следующие виды использования нарушенных земель: сельскохозяйственное, лесохозяйственное, рыбохозяйственное, водохозяйственное, рекреационное, строительное и санитарно-эстетическое (санитарно-гигиеническое).

При выборе направления рекультивации земель предпочтение отдают созданию сельскохозяйственных угодий, особенно в густонаселенных районах с благоприятными для этих целей условиями.

Рекультивацию по улучшению санитарно-эстетических условий проводят на объектах, представляющих угрозу здоровью населения и экологическому состоянию природной среды; если необходимо, то такие нарушенные земли консервируют, а с появлением новых технологий, обеспечивающих их восстановление до нормативных требований, снова используют в хозяйственных целях.

Проект рекультивации и технологии его выполнения должны отвечать определенным требованиям, одновременная реализация которых призвана повысить эффективность восстановления компонентов природы. Такой набор требований А. И. Голованов и Ф. М. Зимин называют *рекультивационным режимом* (см. по аналогии: «Мелиоративный режим», разд. 7.1).

Рекультивационный режим определяется состоянием нарушенных земель и включает следующие показатели: эрозионную устойчивость поверхности земли; экспозицию отвалов и других форм рельефа нарушенных земель; допустимые нормы снятия почвенного слоя и сроки его хранения; геологический и химический состав горных субстратов и потенциально плодородных пород; толщину наносимого почвенного слоя при землевании; мощность рекультивационного слоя; допустимые пределы регулирования влажности почвы (субстратов) и глубины грунтовых вод; направленность и интенсивность водообмена между почвенными и подземными водами; допустимые сроки затопления и подтопления земель; скорость движения поверхностных и подземных вод; предельные значения общей минерализации поверхностных и грунтовых вод; допустимое содержание токсичных элементов в почвах, горных субстратах, поверхностных, грунтовых и сточных водах; агрохимические показатели плодородия почвы; биологический состав почв и поверхностных вод; интенсивность формирования наземной и водной биоты; эстетичный вид техноприродного ландшафта.

Каждый из приведенных показателей имеет нормированные или ориентировочные значения, которые в конкретных проектах должны быть обоснованы опытом, исследованиями, изысканиями и прогнозными расчетами.

9.2.2. ТЕХНИЧЕСКИЙ ЭТАП РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Технические мероприятия по рекультивации нарушенных земель подразделяют:

на проективные — создание новых проектных поверхностей и форм рельефа: профилирование, террасирование, вертикальная планировка, удаление ненужной древесно-кустарниковой растительности, пней, камней, разделка кочек и т. д.;

структурные — изменение состава и структуры рекультивационного слоя (землевание, торфование, кольматаж, создание экранов);

химические: известкование, гипсование, кислование, внесение сорбентов, органических и минеральных удобрений;

водные (гидротехнические): осушение, орошение, регулирование сроков затопления поверхностными водами;

теплотехнические: мульчирование, грядование, обогрев, применение утеплителей.

На нарушенных землях практически всегда необходимы планировка и землевание. Планировку в зависимости от направления рекультивации, объемов и расстояния транспортирования почвен-

ного слоя проводят по всей территории (сплошная) или по отдельным участкам (частичная), ее включают в состав работ по террасированию и выполаживанию откосов отвалов, карьерных выемок, кавальеров и насыпей.

Сплошную планировку (разравнивание) выполняют при подготовке земель к сельскохозяйственному использованию и созданию лесных массивов, частичную — при подготовке земель к озеленению, созданию защитных или лесных водоохраных полос, при благоустройстве территорий для целей рекреации или для придания нарушенным землям эстетичного вида с многообразием форм микро- и мезорельефа.

Планировку насыпей проводят в два этапа: предварительная и окончательная через 2...3 года с обязательным засевом поверхности насыпи бобово-злаковыми травами в промежутках между этапами.

Землевание — это нанесение почвенного слоя на спланированную поверхность или внесение почвы (потенциально плодородных пород) в другую почву для улучшения водно-физических, агрохимических и тепловых свойств. Содержание гумуса в почве, наносимой на спланированную поверхность, должно быть не менее 2 %.

В качестве потенциально плодородных пород используют песчаные и суглинистые грунты. Землевание особенно необходимо при создании рекультивационного слоя на землях, непригодных для проведения биологической рекультивации по физическим или химическим свойствам. Мощность рекультивационного слоя на потенциально плодородных породах определяется направлением использования нарушенных земель. Например, при создании сельскохозяйственных угодий наносимый почвенный слой должен быть не менее 20...25 см, дальнейшее увеличение глубины землевания определяется уже экономическим эффектом, получаемым за счет прибавки урожая от этого мероприятия.

В зависимости от площади и состояния нарушенных земель техническая рекультивация может ограничиваться двумя рассмотренными способами или созданием крупных инженерных систем с необходимым набором элементов управления потоками вещества. Для земель сельскохозяйственного использования — это мелиоративные системы, для рыбохозяйственного использования — это могут быть прудовые системы, для лесохозяйственного использования — это лесомелиоративные системы, для загрязненных земель — инженерно-экологические системы и т. д. Эффективность таких систем зависит от инженерного исполнения и технологии управления движением минеральных и органических веществ в компонентах природы.

9.2.3. БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАП РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Основные задачи биологической рекультивации — возобновление процесса почвообразования, повышение самоочищающей способности почвы и воспроизводство биоценозов. С помощью биологической рекультивации удается ликвидировать ущерб, нанесенный ландшафту, или предотвратить его; создать условия для поддержания экологической устойчивости ландшафта; закончить формирование культурного ландшафта.

Биологическую рекультивацию проводят специализированные фирмы и те предприятия, которым возвращают земли согласно принятому направлению использования нарушенных земель. Организационно биологическую рекультивацию осуществляют в два этапа. На первом этапе выращивают пионерные (предварительные, авангардные) культуры, умеющие адаптироваться в существующих условиях и обладающие высокой восстановительной способностью. На втором переходят к целевому использованию. Земли, загрязненные тяжелыми металлами, органическими веществами или продуктами промышленной переработки, на первом этапе очищают с помощью сорбентов, растений или микроорганизмов (биодеструкторов), а затем включают в хозяйственное использование под наблюдением агрохимических и санитарно-эпидемиологических служб.

Для разработки эффективных способов биологической рекультивации большое значение имеет изучение процессов эволюции растительного покрова в различных природных зонах и техногенных условиях.

Формирование растительного покрова на отвалах вскрышных пород идет очень медленно из-за сложного, изменяющегося во времени рельефа поверхности отвала, бедности горных пород питательными веществами, неустойчивости водного и теплового режимов. Продолжительность естественного формирования растительного покрова в лесной и лесостепной зонах характеризуется тремя периодами:

от начала образования нарушенных земель до 5 (6) лет: появляется мозаичный несомкнутый растительный покров, состоящий из растений с широким диапазоном толерантности;

от 5 (6) до 10 (12) лет: формируется многовидовое сообщество растений (30...50 видов), в котором заметно проявляются зональные черты и складывается многоярусная структура биоценозов;

от 10 (12) лет и более: начинает преобладать дифференциация видового состава, господство переходит к многолетникам, создается устойчивый растительный покров с выраженной ярусностью, хорошо прослеживается сезонная динамика.

В сложных условиях сроки формирования растительного по-

крова значительно увеличиваются, например, на отвалах Подмосковного бурогоугольного бассейна с большой долей сульфидсодержащих пород к 20 годам растительный покров находится еще в начале второго периода.

На песчаных карьерах в степной зоне растительность появляется через 5...7 лет, к 10...12 годам может насчитывать 5...10 видов самых устойчивых растений (цмин песчаный, полынь полевая, ястребинка волосистая и др.).

На гравийных карьерах отдельные растения видны на 3...4-й год. Первыми из них поселяются мать-и-мачеха, полынь обыкновенная. К 5...6 годам это уже 8...10 видов трав (овсяница овечья, ястребинка волосистая, кошачья лапка и др.). К 15 годам насчитывается около 30 видов (сон-трава, тысячелистник обыкновенный, клевер полевой, ежа сборная, мятлик луговой; из древесно-кустарниковых растений — сосна обыкновенная, ива).

На торфяных карьерах при достаточном количестве влаги и питательных веществ растительность появляется уже в первый год (табл. 9.3).

9.3. Ботаническая характеристика выработанных торфяников в зависимости от срока выбытия месторождения

Основной групповой вид	Видовой состав растений	Срок выбытия, лет
Редкие растения	Мать-и-мачеха, овсяница, зеленый мох, крапива, осока	1...2
Травяной покров	Овсяница, крапива, осока, череда, тростник, хвощ, ситник, гусятая лапка, кислица	2...5
Кустарник, мелколесье (диаметр деревьев до 11 см)	Ольха черная, ива, калина, лоза, ольха серая, клен, береза, осина	5...10
Древесно-кустарниковые (диаметр деревьев более 11 см)	Ольха черная, ива, калина, лоза, ольха серая, клен, береза, осина, тополь	10...15

Заращение нарушенных земель создает в молодых почвах запас органических веществ, который в результате биохимических процессов улучшает питательный режим этих почв и способствует образованию устойчивого растительного покрова.

Скорость почвообразования и формирование почвенных горизонтов зависят от свойств почвообразующих пород, их водного и теплового режимов, рельефа, природно-климатических условий данного района, от видового состава растительности и продолжительности природного восстановления земель.

Отвалы и насыпи вскрышных пород быстрее зарастают с северной и северо-западной стороны, поскольку здесь водный и тепловой режимы устойчивы. Южные склоны, испытывающие наи-

большие перепады температур и значительную эрозию, покрываются растительностью лишь в нижних частях склона, где накапливается смытый мелкозем.

На 25-летних суглинистых отвалах Подмосковского буроугольного бассейна скорость почвообразования под лесным покровом составляет 2,4...3,6 мм/год, под травами — 4 мм/год. Там же на молодых 9-летних отвалах под травами — 6,7 мм/год. На песчаных отвалах, поросших травой, скорость почвообразования близка к скорости в лесу — 3,57 мм/год.

Интенсивное накопление гумуса на нарушенных землях наблюдается в период от 5 до 20 лет, далее скорость почвообразования снижается, что обуславливается устойчивостью биогеохимических процессов под определенными сообществами растений (рис. 9.1). В результате этих процессов в конкретных природно-климатических зонах формируются молодые почвы, близкие по генезису к зональным, но отличающиеся от современных почв по следующим причинам: процессом формирования почв (очень длительный); нарушенными землями, имеющими другие по генезису почвообразующие породы; факторами почвообразования, которые претерпели изменения.

Поэтому на нарушенных землях, особенно в тех местах, где целевое использование затруднено в силу организационных, технологических, социальных и природно-климатических условий, необходимо стремиться прежде всего к стимулированию образования растительного покрова. Для этой цели можно использовать приуроченность отдельных видов растений к определенным типам и свойствам почв, грунтов и горных пород. Такие растения выявляют при ботаническом и видовом анализе растительных образцов, взятых на нарушенных землях, и они могут быть рекомендованы в качестве пионерных (предварительных, авангардных) культур.

К пионерным растениям для рекультивации отвалов вскрышных пород Курской магнитной аномалии (лесостепная зона) можно отнести следующие виды:

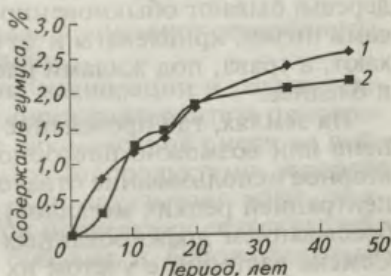


Рис. 9.1. Накопление гумуса в почвах при зарастании отвалов вскрышных пород Курской магнитной аномалии:

1 — суглинок; 2 — мергель

*Породы**Видовой состав растений*

Алевриты юры	Кострец японский, синяк обыкновенный, вейник наземный, вика яровая
Пески	Клевер ползучий, одуванчик поздний, мятлик узколистный, овсяница луговая
Мело-мергели	Подорожник ланцетолистный, полынь горькая, полынь обыкновенная, цикорий обыкновенный, клевер луговой, ляденец рогатый
Глина	Мать-и-мачеха, тысячелистник, клевер ползучий

На 24-летнем отвале Тишинского месторождения полиметаллических руд, отсыпанного серицито-хлорит-кварцевыми породами, алевролитами, порфиритами, встречаются донник белый и желтый, синяк обыкновенный, иван-чай, мышиный горошек, горец птичий, полынь обыкновенная и горькая, ежа сборная, кострец безостый, овсяница, вейник наземный, мать-и-мачеха и др., из древесно-кустарниковых пород — береза бородавчатая, осина, тополь, клен, шиповник, бузина и др.

Для создания растительного покрова на землях, загрязненных химическими веществами, необходимо учитывать видовой состав растений, приуроченный к таким землям.

*Элемент**Видовой состав растений*

Медь, железо	Шиповник
Медь	Качим (растение семейства гвоздичных)
Цинк	Фиалка, ярутка
Цинк, свинец, кадмий	Горец большой
Свинец, хром	Горчица индийская
Цинк, кадмий	Альпийский хеллеркраут
Кобальт	Греческий гибискус
Никель	Гречиха
Мышьяк	Шиповник

С помощью растений можно определить наличие металлов в почве. Это свойство растений для целей горного дела начали специально изучать еще в XVI в. В 1763 г. М. В. Ломоносов отмечал, что на горах, в которых руда и другие минералы рождаются, растущие деревья бывают обыкновенно нездоровы, т. е. листья их бледны, а сами низки, кривлеваты и до совершенной старости своей подсыхают, а трава, под жилами растущая, бывает обыкновенно мельче и бледнее.

На землях, где проведение технической рекультивации затруднено или возможно повторное их использование (например, повторное использование отвалов, содержащих породы с малой концентрацией редких металлов), создают растительный покров разбрасыванием дражированных семян травосмесей и кустарников. Семена растений с учетом их приуроченности к горным породам

разбрасывают самолетом ранней весной вместе с небольшими дозами минеральных удобрений.

Способность растения приживаться используют при рекультивации отвалов нетоксичных вскрышных пород без предварительного нанесения почвенного слоя. Для этого разрабатывают специальную технологию культивирования растений, например:

выращивание в течение 3...4 лет бобовых трав с запашкой на глубину 25...30 см;

выращивание злаково-бобовой травосмеси с внесением небольшой дозы минеральных удобрений в течение 3...4 лет с последующей запашкой трав на глубину 20...25 см;

посев трав (вико-овсяной смеси, донника) с последующей запашкой.

Применяя такую технологию на отвалах Курской магнитной аномалии, удалось создать в слое 0...20 см запас гумуса 1,5 % и собрать около 2 т/га ржи и ячменя. Если нарушенные земли предназначены для сельскохозяйственного использования, то общий состав работ биологической рекультивации может быть следующим:

планировка поверхности земли и нанесение на нее почвенного слоя, особенно на субстраты, содержащие малоприменные породы (заключительные работы технической рекультивации);

выращивание пионерных культур (однолетних или многолетних) для активизации процессов почвообразования;

введение специальных севооборотов для восстановления и формирования почвенного слоя;

применение приемов почвозащитного земледелия для повышения плодородия почвы и ее устойчивости против эрозии и дефляции;

мониторинг почв природоохранными и санитарно-эпидемиологическими службами.

Для организации сельскохозяйственных угодий на отвалах, содержащих мергелистые глины, Днепропетровским сельскохозяйственным институтом было рекомендовано выращивать в качестве пионерной культуры укосно-кормовой горох, а затем переходить к посеву яровых, например ячменя.

В Германии на буроугольных отвалах применяют севообороты, содержащие около 70 % бобовых культур.

По данным исследований кафедры мелиорации и рекультивации земель Московского государственного университета природообустройства (МГУП), выращивание вико-овсяной смеси на пойменных луговых почвах, загрязненных нефтепродуктами, ускоряет процесс разложения углеводородов. Как показывает опыт, наилучшими пионерными культурами при проведении сельскохозяйственной рекультивации являются бобовые и бобово-злаковые

травосмеси, обладающие высокой фиторекультивационной способностью по сравнению с другими растениями.

В формировании молодых почв при проведении рекультивации для лесохозяйственных целей в качестве пионерных используют бобовые, бобово-злаковые травы, кустарники и некоторые породы деревьев. Из древесно-кустарниковой растительности наибольшее распространение в качестве пионерных имеют: акация белая, лох узколистный, облепиха, акация желтая, смородина золотистая, береза бородавчатая, ива, ольха, тополь, черемуха.

Рекультивацию лесохозяйственного назначения проводят для создания на нарушенных землях лесных насаждений промышленного, защитного, водорегулирующего, водоохранного и рекреационного назначения. Начинают ее с подбора древесных и кустарниковых растений в соответствии с пригодностью нарушенных земель для биологической рекультивации и исходя из природно-климатических условий. Например, в степной зоне для рекультивации отвалов, насыпей, карьерных выемок, создания защитных лесных полос рекомендуют следующие породы деревьев и кустарников: вяз, клен ясенелистный, акацию белую, тополь черный, дуб красный, дуб черешчатый, акацию желтую, смородину золотистую, тамарикс ветвистый, лох узколистный.

Наиболее эффективный прием биологической рекультивации на нарушенных землях — создание многовидового растительного покрова с участием многолетних трав и устойчивых пород кустарников и деревьев. При такой многоярусной структуре нарушенные земли хорошо защищены от эрозии и дефляции, а благодаря листовому опадку и корневым системам получают большой прирост органических веществ.

На землях, загрязненных техногенными продуктами, главная задача биологической рекультивации — повышение самоочищающей способности почвы. Решить эту задачу можно с помощью совместного функционирования технических и биологических систем, оперирующих широким набором мероприятий, в том числе с использованием специально выращенных микроорганизмов.

Рекультивация (очистка) почв от техногенных продуктов с помощью микроорганизмов основана на деструктировании (разложении) этих продуктов в течение регламентированного времени. На практике этот способ применяют для очистки почв, загрязненных нефтепродуктами, пестицидами и другими веществами, содержащими углеводороды. Разрабатываются штаммы бактерий-деструкторов, устойчивые к мышьяку и тяжелым металлам. Эти бактерии способны к очистке почв в условиях смешанного загрязнения. Технология биодеструктирования включает создание благоприятных водно-воздушных, тепловых и питательных условий микроорганизмам и регулярный контроль численности применяе-

мой популяции. Поэтому эффективность такого вида рекультивации зависит от управляемости регулирующих факторов и качества штаммов.

9.3. СПОСОБЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

9.3.1. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ КАРЬЕРНЫХ ВЫЕМОК И ОТВАЛОВ

Карьерные выемки и отвалы образуются при добыче строительных материалов и полезных ископаемых открытым способом. Вскрышные породы, выносимые на поверхность земли и складированные в виде насыпи, называют внешними отвалами, а вскрышные породы, отсыпаемые внутри карьера, — внутренними отвалами. Глубина карьерных выемок определяется мощностью, расположением и глубиной залегания пласта добываемого материала. Высоту отвалов регламентируют проектами разработки месторождения и рекультивации нарушенных земель.

Поскольку полезные ископаемые добывают в течение длительного времени, то рекультивацию горных выработок и отвалов включают в технологическую схему разработки месторождения и осуществляют постоянно, по мере сработки пласта. Технологическая схема разработки горизонтального месторождения и рекультивации отвалов карьера приведена на рисунке 9.2.

Основные работы, проводимые при создании рекультивационной поверхности отвалов, — планировка и землевание. Последнее выполняют снятым почвенным слоем или потенциально плодородными породами. Землевание поверхности откосов скальных отвалов осуществляют с помощью грунтомета, способного выбрасывать фрезерованный грунт на расстояние до 35 м.

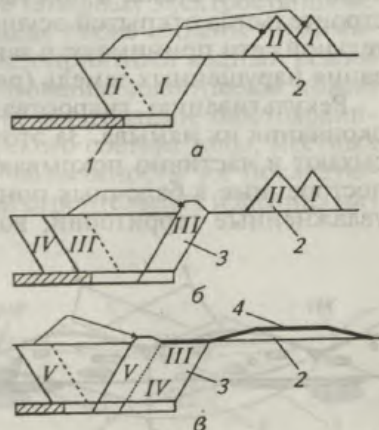


Рис. 9.2. Схема разработки горизонтального месторождения и рекультивации отвалов:

а и *б* — складирование вскрышной породы во внешние и внутренние отвалы; *в* — рекультивация внешних и внутренних отвалов; *1* — разрабатываемый пласт; *2* и *3* — внешний и внутренний отвалы; *4* — рекультивируемые участки; *1...V* — этапы разработки вскрышных пород и месторождения

Для создания на рекультивационной поверхности отвала растительного покрова используют гидропосев многолетних трав, рабочая смесь при этом может включать воду, почву, опилки, семена, небольшие дозы минеральных удобрений, пленкообразующие материалы и т. д.

Озеленение поверхности отвалов с помощью многолетних трав и древесно-кустарниковой растительности, подобранных для конкретных условий, ослабляет эрозионные процессы, повышает устойчивость откосов и ускоряет образование многоярусных сообществ биоты.

По пригодности проведения биологической рекультивации без предварительного землевания вскрышные породы согласно ГОСТ 17.5.1.03—86 объединены в группы:

непригодные по химическому составу породы, содержащие сульфиды и токсичные соли более 2 %, имеющие рН менее 3,5;

непригодные по физическим свойствам — трудновыветриваемые, скальные и полускальные породы;

малопригодные породы по химическому составу, имеющие рН 3,5...5,5 и сумму легкорастворимых солей 1...2 %;

малопригодные по физическому и химическому составу — быстро выветривающиеся сланцы, сильноуплотненные, цементированные породы;

потенциально плодородные породы — подпочвенные горизонты зональных почв.

При добыче полезных ископаемых в зонах избыточного переувлажнения рекультивационная поверхность формируется одновременно с созданием благоприятного гидрологического и гидрогеологического режимов внутренних отвалов. Поверхность отвалов планируют с уклонами, необходимыми для организации поверхностного стока, а при наличии близких грунтовых вод — для строительства открытой осушительной сети. Конструкцию осушительной сети принимают в зависимости от направления использования нарушенных земель (рис. 9.3).

Рекультивацию гидроотвалов начинают на 6...8-й год после окончания их намыва. За этот период они стабилизируются, подсыхают и частично покрываются растительностью. Гидроотвалы, построенные в балочных понижениях, представляют собой переувлажненные территории, водный режим которых складывается

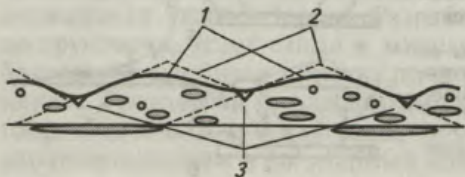


Рис. 9.3. Рекультивация внутренних отвалов вскрышных пород под лесохозяйственное использование:

1 — рекультивационная поверхность; 2 — отвалы вскрышных пород; 3 — осушительные каналы

при участии вод отвала, притока поверхностных и грунтовых вод с водосбора. Водный режим таких территорий регулируют с помощью водных (гидротехнических) мероприятий.

Схема осушительной сети для регулирования водного режима гидроотвала, построенного в балочном понижении, показана на рисунке 9.4.

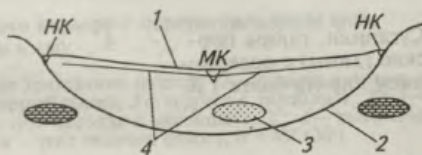
Рекультивация гидроотвала включает культуртехнические работы и создание растительного покрова в зависимости от принятого направления использования. Землевание и планировку на таких отвалах обычно не проводят, так как они сложены потенциально плодородными породами и имеют выровненную поверхность. Поверхность гидроотвалов вскрышных пород, построенных в дамбах обвалования, планируют с уклонами, устойчивыми против эрозии.

Гидроотвалы, образованные из отходов обогащения руд на обогатительных фабриках, называют хвостохранилищами. По химическому составу отходы обогащения существенно различаются набором химических элементов в горных породах и способом обогащения (гравитация, флотация, магнитная сепарация и т. д.). Отвалы отходов зарастают очень медленно из-за сильной эрозии, высокой токсичности и недостатка влаги. Поэтому хвостохранилища преимущественно используют в санитарно-эстетических целях и лишь при наличии резерва почвенного слоя — в лесохозяйственных и сельскохозяйственных целях. Основные работы технической рекультивации — планировка, экранирование, землевание, противоэрозионные мероприятия, регулирование водного режима, очистка дренажных вод. Биологическая рекультивация включает стимулирование дикорастущей растительности, посев многих трав и посадку древесно-кустарниковой растительности.

Золоотвалы, образующиеся в результате гидроскладирования отходов от сжигания каменного угля в тепловых электростанциях, подобны хвостохранилищам. Эти отходы также сложны по химическому составу и не всегда имеют благоприятный водный режим для естественного зарастания. Рекультивацию золоотвалов можно выполнять по схемам, аналогичным рекультивации хвостохранилищ, но непременно с учетом химического состава золы, местных природно-климатических условий и возможности их последующего использования для производства строительных изделий, материалов, удобрений и т. д.

Рис. 9.4. Схема осушения гидроотвала, построенного в балке:

1 — рекультивационная поверхность; 2 — балочное понижение; 3 — породы гидроотвала; 4 — осушительная сеть; МК — магистральный канал; НК — нагорный канал



Для отвалов, содержащих токсичные соли, можно рекомендовать схему рекультивации, разработанную Оренбургской сельскохозяйственной академией. По этой схеме на породы отвала наносят нейтрализующий слой извести дозой 10 т/га, затем создают глинистый экран толщиной 15 см, дренирующий песчаный слой толщиной 30 см. Далее наносят 60-сантиметровый слой супесчаных или суглинистых грунтов в качестве почвообразующей породы, а затем почвенный слой толщиной 20...30 см — для посева сельскохозяйственных культур или 50 см — для древесных растений.

9.4. Мероприятия по рекультивации карьерных отвалов под лесные и сельскохозяйственные культуры (рекомендации Почвенного института им. В. В. Докучаева)

Почвы, грунты, горная порода	Категория почв и грунтов для рекультивации		Схемы технической и биологической рекультивации карьерных отвалов для сельскохозяйственного и лесохозяйственного использования
	под сельскохозяйственные культуры	под лесные культуры	
Горизонт «А» черноземов и серых лесных почв	1	1	Выращивание трав без удобрений, зерновых и технических культур с внесением минеральных удобрений
Лёссовидные суглинки легкого и среднего гранулометрического состава	1	1; 2	Выращивание трав и лесных культур без удобрений, зерновых и технических с внесением минеральных удобрений. Можно использовать для улучшения пород 3-й и 4-й категории
Песок связный	3	2	Выращивание лесных культур без удобрений, сельскохозяйственных с минеральными и органическими удобрениями
Песок рыхлый	4	3; 4	Выращивание лесных культур без удобрений, сельскохозяйственных культур при улучшении почвами и породами 1-й и 2-й категории и при внесении минеральных удобрений
Мел и мергель	4	3; 4	Выращивание лесных культур, при сельскохозяйственном освоении смешивают с почвами и породами 1-й и 2-й категории, вносят минеральные удобрения
Глины тяжелые и средние, не содержащие пирита (девонские глины)	3; 4	3	Выращивание лесных культур при улучшении почвами и породами 1-й и 2-й категории, рекомендуется сплошное или рядковое пескование
Суглинки, глины (юрские глины) с содержанием пирита более 1 %	4	4	Известкование дозой 50 т/га с заделкой в слой 0...20 см (в случае близости меловых пород использовать их для известкования), выращивание трав

Почвенным институтом им. В. В. Докучаева предложены схемы рекультивации карьерных отвалов в зависимости от почв и грунтов отвалов (табл. 9.4).

Использование отвалов в строительных целях определяется сроком их отсыпки (намыва). На глинистых грунтах строительство начинают через 5...10 лет, на песчаных грунтах — через 2...5 лет, на отвалах обогатительных фабрик — через 2...10 лет. При отсыпке отвалов без технологического уплотнения строительные работы можно начинать через 5 лет

В отличие от отвалов вскрышных пород рекультивацию карьерных выемок проводят не только в лесохозяйственных и сельскохозяйственных целях, но и в водохозяйственных, рыбохозяйственных и рекреационных целях. Это в первую очередь карьеры строительных материалов или другие отработанные месторождения, не имеющие в бортах токсичных пород.

Карьерные выемки после выработки ископаемых пород могут быть сухими, переувлажненными и затопленными водой. Поэтому обводненность карьера обязательно учитывают при выборе направления рекультивации.

Лесохозяйственное использование карьера (противоэрозионного и водорегулирующего назначения) возможно при наличии резерва почвы (содержание гумуса более 1 %) для землевания; когда дно карьера сложено из потенциально плодородных пород; грунтовые воды нетоксичны, не засолены и находятся на глубине

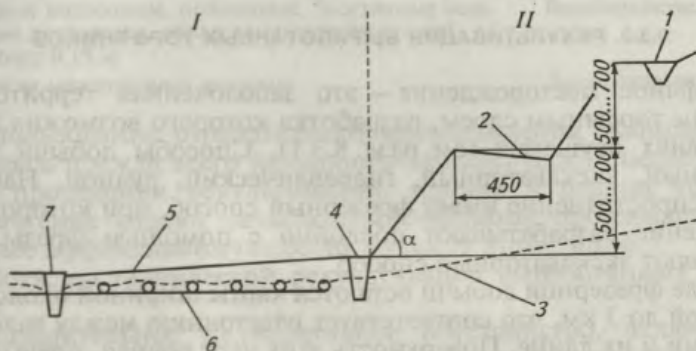


Рис. 9.5. Схема рекультивации глубокого карьера с переувлажненным дном (размеры в см):

I — посев многолетних трав на дне карьера после землевания почвой; *II* — посадка деревьев и кустарников после землевания почвой; 1 — нагорный канал; 2 — терраса с уклоном 1...2°; 3 — уровень грунтовых вод; 4 — ловчий канал; 5 — дно карьера с уклоном 1...2°; 6 — коллектор с дренами; 7 — магистральный канал; α — угол наклона откоса, $\alpha = 40^\circ$ (30°)

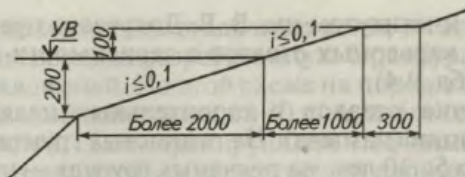


Рис. 9.6. Схема создания песчаного пляжа с лужайкой на откосе карьера

более 0,6 м, если выше — необходимо осушение; карьер расположен далеко от населенного пункта.

Использовать карьер для рекреационных целей (например, водоем для спортивного рыболовства и купания) можно, если вода в карьере отвечает рыбохозяйственным и санитарно-гигиеническим нормам; площадь водоема более 15 га (исходя из условий, что наименьшая площадь для купания — 5 га, для рыболовства — 10 га); есть возможность создать глубину воды для купания более 2 м, а для рыбозаведения и рыболовства — 0,5...2 м; удовлетворены требования воспроизводства рыбы (площадь водоема глубиной 0,15...0,5 м должна составлять 20 %, а глубиной 0,5...2 м — 80 %); удаленность карьера от населенного пункта не влияет на данное направление использования.

Варианты рекультивации карьерных выемок показаны на рисунках 9.5 и 9.6.

9.3.2. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНИКОВ

Торфяное месторождение — это заболоченная территория с мощным торфяным слоем, разработка которого возможна только в условиях осушения (см. разд. 8.3.1). Способы добычи торфа: фрезерный, экскаваторный, гидравлический, ручной. Наибольшее распространение имеет фрезерный способ, при котором месторождение разрабатывают послойно с помощью фрезы, реже применяют экскаваторный способ.

После фрезерной добычи остаются карты шириной около 500 м и длиной до 3 км, что соответствует расстоянию между валовыми каналами и их длине. Поверхность этих карт ровная, превышения над общей поверхностью карт наблюдаются в местах складирования торфа вдоль валовых каналов (открытых коллекторов) от 0,5 до 2 м и вдоль картовых (осушительных) каналов на 0,2...0,3 м.

Мощность оставшегося слоя торфа после фрезерования должна быть не менее 1 м, в то же время, вопреки существующим требованиям, встречаются участки с обнаженным минеральным дном.

Площади торфяных болот, недавно вышедших из разработок, имеют редкую растительность, на полях давней выработки сформировался многоярусный растительный покров с кустарником и мелколесьем (см. табл. 9.3). Устойчивый растительный покров с многолетниками в основном приурочен к бровкам каналов, местам складирования торфа и к участкам с благоприятным водным режимом.

Из всех элементов осушительной сети в удовлетворительном состоянии остаются лишь транспортирующие каналы, регулирующая сеть разрушена полностью.

При экскаваторной разработке остаются траншейные карьеры глубиной 0,5...0,4 м, шириной от 4 до 10 м, длиной до 2 км. Эти траншеи ограничены продольными и поперечными перемычками, заполнены водой. Ширина перемычек составляет 0,5...4 м. На перемычках лежат пни и остатки погребенной древесины. Давние карьеры покрыты многоярусной растительностью.

Направление использования выработанных торфяников после рекультивации зависит от рельефа и мощности оставшегося слоя торфа.

<i>Элементы рельефа, мощность торфа</i>	<i>Использование</i>
Склоны надпойменных террас, староречий, слой торфа более 0,5 м	Сельскохозяйственное
Сточные котловины, пойменно-притеррасные, пологоволнистые абляционные равнины со слоем торфа, м: более 0,5 более 0,3	Сельскохозяйственное Лесохозяйственное
Бессточные котловины, пойменные, бессточные межморенные котловины, обвалованные поймы, слой торфа более 0,15 м	Водохозяйственное
Неглубокие междуречные впадины	Лесохозяйственное

Использование отработанного месторождения выбирают, основываясь прежде всего на эколого-экономической целесообразности проведения рекультивации, причем в равных условиях предпочтение отдают сельскохозяйственному производству как наиболее эффективному способу возврата инвестиций.

Работы по технической рекультивации выработанных торфяников:

предварительное мелиоративное обустройство, включающее предварительное осушение и выравнивание поверхности выработанного месторождения;

строительство новой или реконструкция существующей осушительной сети;

культуртехнические работы с набором различных структурных и проективных способов (планировки, извествования, землевания и т. д.).

Предварительное мелиоративное обустройство территории — это прежде всего мероприятия, относящиеся к карьерам экскаваторной добычи, поскольку вышедшие после фрезерной разработки торфяные поля ровные и не имеют глубоких выемок. Предварительное обустройство включает строительство временной водосточной сети для сброса воды из замкнутых траншейных выемок и выравнивание поверхности карьера для ликвидации перемычек.

При проектировании мелиоративной системы на выработанных торфяниках стараются использовать отдельные элементы или части существующих сооружений, находящихся в удовлетворительном состоянии. Линии и насыпи железных узкоколейных дорог, предназначенных для вывоза торфа, разбирают.

На фрезерных полях проводящую и ограждающую сеть, работающую исправно, реконструируют для последующего использования. Все разрушенные картовые каналы и непригодные к эксплуатации проводящие каналы засыпают грунтом из кавальеров и подштабельных полос (мест складирования торфа).

Для регулирования водного режима и снижения опасности возникновения пожаров на осушаемых торфяниках проектируют увлажнение с помощью шлюзования или дождевания.

Культуртехнические работы проводят по типовым схемам, в которые можно включать известкование и землевание торфяных почв.

Биологическая рекультивация выработанных торфяников при использовании земель в сельскохозяйственных целях направлена на активизацию микробиологических процессов и регулирование скорости минерализации органического вещества. Для этого применяют совершенную агротехнику и сбалансированное органическое и минеральное питание.

Продолжительность биологической рекультивации зависит от мощности и свойств оставшегося после разработки слоя торфа, а также от продуктивности выращиваемых культур. Ориентировочно этот период составляет 1 год для низинных болот с высокой степенью разложения торфа и мощностью более 0,5 м; 2 года — мощностью 0,3...0,5 м; 2 года — со средней степенью разложения и мощностью более 0,5 м; 3 года — со слабой степенью разложения; 3 года — для верховых и переходных болот.

В качестве предварительных культур используют однолетние травы на зеленые удобрения, семена, зеленый корм, сено и травяную муку.

Наибольшей эффективности в период биологической рекультивации достигают при выращивании культур в следующем порядке:

первый год: травосмесь — вико-овсяная, горохо-овсяная, люпино-овсяная;

второй год: люпин на зеленый корм, райграс однолетний на зеленый корм, овес на зеленый корм, ячмень на зерно, рожь + вика озимая на зеленый корм;

третий год: зерновые яровые (овес, ячмень) на зерно, рожь озимая на зерно, люпин на зеленый корм.

При выборе культур следует учитывать, что озимые выращивают только на незатопляемых в половодье участках. Способ обработки торфяной почвы зависит от засоренности остатками древесно-кустарниковой растительности и мощности оставшегося слоя торфа.

Последний год биологической рекультивации заканчивают планировкой торфяной поверхности.

Лесохозяйственную рекультивацию проводят также после проведения мелиоративного обустройства территории и создания условий для выращивания лесных культур. При лесоразведении используют районированные породы деревьев, пионерные культуры предварительно не высаживают. Затопленные карьеры можно использовать для регулирования поверхностного стока, в качестве источников орошения, рыбоводных предприятий, зон отдыха, звероводческих хозяйств и охотничьих угодий.

9.3.3. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, НАРУШЕННЫХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

К линейным сооружениям относятся дороги, трубопроводы, каналы, подземные кабельные линии и т. п. Полоса земли, отводимой во временное пользование при строительстве автомобильных дорог, в среднем составляет 1,5...2 га на 1 км дороги. Ширина полосы земель, отводимых во временное пользование под строительство магистральных трубопроводов, изменяется от 20 до 46 м. При строительстве одной нитки водовода или канализационного коллектора отводится от 20 до 70 м. В эти нормативы не входят участки земель, занятых под временные подъездные дороги и сооружения. В целом общая площадь нарушенных земель получается гораздо больше, чем отводимая под строительство.

Рекультивация нарушенных земель при строительстве линейных сооружений имеет некоторые особенности, связанные с подвижным характером работ. Поэтому ее необходимо включать в технологическую схему производства основных работ, особенно ту часть, которая относится к технической рекультивации.

Основной состав рекультивационных работ при строительстве линейных сооружений:

ликвидация временных сооружений и уборка территории в пределах строительной зоны;

засыпка траншей подземных коммуникаций по схеме, приведенной на рисунке 9.7;

распределение оставшихся вскрышных пород по поверхности; создание проектной поверхности, включая планировку и обустройство насыпей и выемок;

выполнение противоэрозионных мероприятий, строительство сооружений;

землевание ранее снятым почвенным слоем, торфование, внесение органических удобрений или органо-минеральных смесей;

посев семян зональных дикорастущих или культурных растений, предварительно обработанных питательной смесью.

Рекультивация земель при строительстве и эксплуатации каналов включает:

сохранение снятого почвенного слоя по фронту работ;

проведение противоэрозионных мероприятий;

разравнивание отвалов (кавальеров) грунта по месту работ или их использование для планировки на прилегающих территориях;

возвращение предварительно снятого почвенного слоя на участки планировки и восстановление поверхности земли до проектных отметок;

ремонт и обустройство дорожной сети, разрушенной в ходе строительных работ;

восстановление пахотного слоя, а также травяного покрова, если земли используются под сенокосы или пастбища.

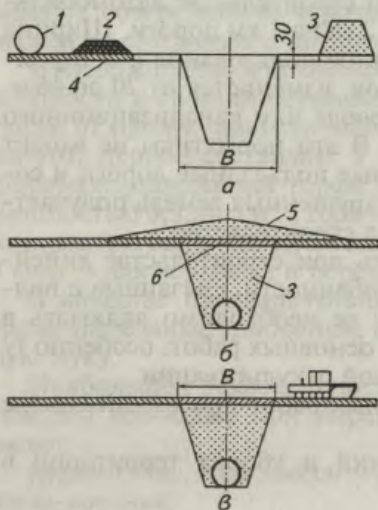


Рис. 9.7. Совмещенная схема строительства трубопровода и рекультивации нарушенных земель:

a — селективная разработка и складирование почвы и вскрышных пород; *б* — засыпка траншей вскрышными породами, возвращение почвенного слоя, отсыпка валика; *в* — смешивание почвенного слоя с вскрышными породами; 1 — труба; 2 — резерв почвенного слоя; 3 — вскрышные породы; 4 — почвенный слой; 5 — валик; 6 — возвращенный из резерва почвенный слой; *B* — зона смешивания пород

9.3.4. ОБУСТРОЙСТВО И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОЛИГОНОВ ХРАНЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

Отходы, образующиеся в жилищном, промышленном, сельскохозяйственном и других секторах хозяйственной деятельности, подлежат утилизации (переработке, захоронению, сжиганию, компостированию и обезвреживанию) на специализированных предприятиях и полигонах.

Складируемые отходы по своему содержанию представляют собой отвалы сложных конгломераций продуктов жизнедеятельности, производств и частей природных компонентов. Поэтому организация и технология утилизации отходов определяется количеством и видом их образования.

В Москве в течение года образуется до 3,4 млн т промышленных отходов; 2,5...3 млн т твердых бытовых отходов (ТБО); около 4,5 млн т строительных отходов, в том числе загрязненных и замусоренных грунтов; более 100 тыс. м³ древесно-растительных отходов. Основную часть отходов, особенно ТБО, вывозят на полигоны для захоронения.

Место для размещения полигонов выбирают с учетом следующих условий:

исключение или минимизация влияния отрицательных последствий на прилегающие территории (агроценозы, лесные насаждения, поверхностные и подземные воды);

возможность создания техногенного рельефа, гармонично вписывающегося в природный ландшафт.

При выборе места для полигона предпочтение отдают землям несельскохозяйственного назначения.

Рекультивацией и обустройством полигонов отходов занимаются организации, входящие в систему обращения с отходами и эксплуатирующие данные полигоны. Работы эти выполняют в соответствии с проектом, разработанным и согласованным на стадии открытия полигона.

Продолжительность рекультивационного периода полигонов отходов зависит от направления использования и времени стабилизации тела отвалов: например, для посева многолетних трав и создания пашни этот период составляет 1...3 года, для посадки декоративных деревьев и кустарников — 2...3, для создания садов — 10...15 лет.

Органическую составляющую отходов жилищно-коммунального сектора, образующуюся после сортировки бытовых отходов (до 70 % ТБО), древесно-растительные остатки (обрезка, сведение деревьев и кустарников) и незагрязненные потенциально плодородные грунты целесообразно направлять на производство компоста с последующим его использованием при благоустройстве и озеле-

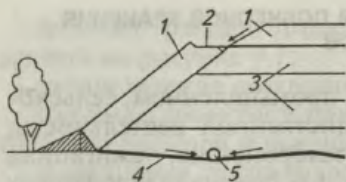


Рис. 9.8. Организация и рекультивация полигона твердых отходов:

1 — слой субстрата из измельченных отходов и почвы; 2 — уступ для сбора воды; 3 — послойная укладка отходов; 4 — экранирующий слой; 5 — дренаж

нении городских территорий или для рекультивации полигонов отходов.

В качестве примера рассмотрим схему организации и рекультивации складированных отходов, состоящих из мусора и древесно-растительных остатков (рис. 9.8).

Отсыпку отходов ведут послойно без покрытия поверхности экранирующим грунтом или почвой. Это обеспечивает интенсивное разложение растительных остатков и выделение метана и других химических веществ, препятствующих биогеохимическим процессам. Откосы делают эрозионно устойчивыми, покрывают субстратом из мусора, мелких растительных остатков, грунтов и почвы, засевают травосмесями. Для организации отвода поверхностной воды на уступах (террасах) создают сеть неглубоких каналов. Фильтрационные воды с помощью дренажной сети отводят на очистные сооружения или на биоплаты (биологические пруды очистки).

9.4. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

9.4.1. ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГЕОСИСТЕМ И ПРИНЦИПЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Проблему загрязнения нужно решать с учетом переноса и трансформации техногенных продуктов в компонентах геосистемы и в трофических цепях.

Загрязнение по своей сущности, будь то природное или антропогенное, — это привнесение (внедрение) различных веществ в абиотические и биотические компоненты геосистемы, обуславливающее негативные токсико-экологические последствия для биоты.

При изучении процессов загрязнения и их описании необходимо опираться на имеющиеся знания о свойствах геосистемы, межкомпонентных связях и экологических законах. Это позволяет:

обоснованно разделять большую территорию на генетически однородные образования по практически полной совокупности признаков, что повышает достоверность и репрезентативность результатов исследований и прогнозирования процессов загрязне-

ния, оптимизирует объем работ по описанию процессов загрязнения;

выявлять объективные связи между отдельными элементами ландшафта, которые определяют структуру линейных горизонтальных моделей переноса загрязняющих веществ;

обеспечивать пространственную полноту описания процессов загрязнения, поскольку любой ландшафт состоит из земель разного назначения;

знать и выделять объекты риска по размерам последствий загрязнения геосистемы.

Можно считать, что геосистемы становятся загрязненными, когда накопление в них загрязняющих веществ, а также формы их нахождения приводят:

к нарушению газовых, концентрационных, окислительно-восстановительных функций биоты, вызывающих утрату ее геохимического самоочищения;

изменению биохимического состава продукции биоты, вызывающему нарушение жизненных функций цепей в данной геосистеме и за ее пределами при отчуждении биологической продукции;

снижению биологической продуктивности геосистемы;

уменьшению информативности геосистемы, т. е. разрушению генофонда, необходимого для ее существования; гибели биоты.

Загрязнения могут вызывать природные процессы, но часто это результат деятельности человека. Антропогенное загрязнение почв разделяют на коммунальное, сельскохозяйственное, промышленное и военное.

Коммунальное загрязнение связано с функционированием населенных пунктов, при котором в природную среду сбрасывают продукты жизнедеятельности людей в местах их поселения: сточные воды, бытовые отходы, мусор и т. п.

Сельскохозяйственное загрязнение возникает на больших территориях как следствие применения средств борьбы с болезнями и вредителями культурных растений, с сорной растительностью (пестициды, инсектициды, гербициды), при внесении повышенных доз минеральных и органических удобрений. Сюда же можно отнести загрязнения, полученные при использовании сточных вод, в том числе и промышленных, с удобрительной и увлажнительной целью и при использовании для орошения вод с повышенной минерализацией.

Промышленное загрязнение почв на больших территориях возникает при попадании в почву воздушным путем через атмосферу или с дождем или снегом паров, аэрозолей, пыли или растворенных тяжелых металлов и органических соединений. Локальное загрязнение возникает в местах хранения отвалов, отходов, при авариях и т. п.

Военное загрязнение возникает при ведении боевых действий, маневров, испытании боевой техники.

Объектами загрязнения могут быть все компоненты геосистемы: приземные слои воздуха, поверхностные и подземные воды, ледники, но основное внимание нужно уделять загрязнению почв по следующим причинам:

почва, являясь, по определению В. В. Докучаева, наружной оболочкой суши, в первую очередь воспринимает удар от многих загрязнителей, аккумулирует большой объем загрязняющих веществ;

загрязненная почва, будучи средой обитания сельскохозяйственных растений, предопределяет возможность нарушения их жизнедеятельности, загрязнение продукции и другие связанные с этим последствия;

почва как активно действующее органо-минеральное тело способна значительно трансформировать загрязняющие вещества, связывать их в неподвижные формы и даже разрушать;

почва, трансформируя потоки влаги и содержащиеся в ней вещества, регулирует в известных пределах загрязнение подстилающих горных пород, подземных и связанных с ними поверхностных вод, т. е. выполняет природоохранную и восстановительную функции.

Для правильного понимания процессов загрязнения компонентов геосистем и выработки способов их рекультивации (очистки, санации) полезно использовать теорию биогеохимических барьеров, объективно существующих в природе и создаваемых человеком (см. разд. 2.4.1). В связи с этим в качестве основных мероприятий по рекультивации загрязненных земель надо рассматривать те, которые обеспечивают условия самоочищения почвы как за счет развития существующих почвенных процессов, так и за счет инженерно-экологического обеспечения жизнедеятельности микроорганизмов, внесенных в почву для деструкции токсичных веществ.

Процесс самоочищения почвы идет нелинейно, т. е. со временем затухает (нелинейность природных процессов — одно из свойств геосистемы), поскольку деструкция загрязняющих веществ определяется ростом и отмиранием бактерий, функционирующих в условиях уменьшения объема питательной среды. Это обеспечивает возвращение геосистемы в устойчивое состояние.

Микроорганизмы, участвующие в очистке почв от загрязняющих веществ, относятся в основном к группам мезофилов и психрофилов. Активная жизнедеятельность этих групп протекает при температуре почвы от 20 до 36 °С, влажности от 60 до 70 % полной влагоемкости и в условиях достаточного минерального питания.

Динамику микробной популяции описывают уравнением Моно:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\mu C}{C + K_s} M - \lambda M, \quad (9.1)$$

где M — концентрация бактерий; t — время; μ — максимальная скорость роста бактерий; C — содержание загрязняющего вещества; K_s — константа, численно равная концентрации загрязняющего вещества, при которой скорость роста культуры равна половине максимальной (константа полунасыщения); λ — скорость отмирания клеток.

Процесс самоочистения представляют:

для быстро разлагающихся загрязняющих веществ экспоненциальной функцией

$$C_k \sim C_n e^{-st};$$

для веществ, разлагающихся в течение длительного времени, степенной функцией

$$C_k \sim C_n t^{-s},$$

где C_k — содержание вещества (элемента) в конце расчетного периода; C_n — начальное содержание вещества (элемента) в почве; s — скорость деструкции загрязняющего вещества; t — время.

Таким образом, используя вышеприведенные модели, описывающие изменения водного, теплового и питательного режимов, можно прогнозировать динамику жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в процессе самоочистения почвы. Модели по передвижению тяжелых металлов и нефтепродуктов позволяют изучать изменение содержания этих веществ в условиях самоочистения почвы и оценивать эффективность применения рекультивационных мероприятий.

Особенность подготовительного периода рекультивации загрязненных земель — проведение исследований по установлению источников и причин загрязнения, выполнение мероприятий по снижению выбросов, локализации или ликвидации источника загрязнения.

Существенный опыт по рекультивации загрязненных земель радионуклидами накоплен в зонах, связанных с авариями на ПО «Маяк» и Чернобыльской АЭС. Интенсивно ведут поиски и для рекультивации земель, загрязненных другими токсическими веществами. Однако до сих пор остается открытым вопрос о своевременности проведения рекультивации, а точнее — о значимом

нормативном уровне загрязнения, при котором необходимо начинать эту работу. Имеющиеся нормативные документы не согласуются друг с другом и даже противоречивы. В то же время отсутствие обоснованных нормативных документов по оценке загрязненности земель не должно быть преградой для проведения рекультивации как одного из способов природообустройства, обеспечивающего требуемое качество жизни населения, получения качественной сельскохозяйственной продукции и поддержания устойчивости геосистем.

Для оценки загрязненности почв в качестве критериев используют соотношение содержания химического вещества с его предельно допустимым (ПДК) или фоновым значением в почве и суммарный показатель химического загрязнения (Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. — М., 1993; Методика исчисления размеров ущерба, вызываемого захламлением, загрязнением и деградацией земель на территории Москвы. — М., 1999).

Всего определено пять уровней загрязненности почв химическими веществами: 1-й — допустимый; 2-й — низкий; 3-й — средний; 4-й — высокий; 5-й — очень высокий. Содержание загрязнителя при каждом уровне зависит от токсичности вещества: например, при загрязнении кадмием, имеющим предельно допустимую концентрацию 2 мг/кг, при рН суглинистой и глинистой почвы более 5,5 допустимый уровень соответствует его содержанию в почве менее ПДК, низкий — 2...3 мг/кг, средний — 3...5, высокий — 5...10, очень высокий — более 10 мг/кг, а цинком при тех же почвенных условиях — соответственно: допустимый — менее 220 мг/кг, низкий — 220...450, средний — 450...900, высокий — 900...1800, очень высокий — более 1800 мг/кг.

Загрязненные почвы надо рекультивировать при низком уровне их загрязнения, когда начинает проявляться токсикологическое подавление биоты. Для среднего и высокого уровня загрязнения, граничащего с чрезвычайной экологической ситуацией, набор методов и способов рекультивации одинаков, отличие заключается лишь в объемах и продолжительности работ. При очень высоком уровне загрязнения, соответствующем угрозе разрушения функционирования геосистем, требуются методы и способы сдерживания и ограничения деградации иерархической структуры геосистем, создаются условия для восстановления утраченных природных объектов и их связей. Поэтому загрязнение почв для целей рекультивации оценивают по трем уровням (табл. 9.5): 1-й — низкий уровень (относительно удовлетворительная ситуация); 2-й — средний и высокий (чрезвычайная экологическая ситуация); 3-й — очень высокий (экологическое бедствие).

Химическое загрязнение почв рассчитывают как сумму коэф-

коэффициентов концентраций загрязняющих веществ

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{ci} - (n-1), \quad (9.2)$$

где Z_c — суммарный показатель химического загрязнения; n — число определяемых элементов; K_{ci} — коэффициент концентрации i -го загрязняющего вещества; для селитебных территорий;

$$K_{ci} = C_i / C_{\Phi i}$$

Здесь C_i — концентрация i -го загрязняющего вещества; $C_{\Phi i}$ — фоновое содержание i -го вещества в данной зоне (табл. 9.6);

для почв сельскохозяйственных земель

$$K_{ci} = C_i / C_{\text{ПДК}_i}$$

Здесь $C_{\text{ПДК}_i}$ — предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества (табл. 9.7).

9.5. Показатели различного загрязнения почв для оценки их экологического состояния

Показатель	1-й уровень (загрязнение низкое)	2-й уровень (загрязнение среднее и высокое)	3-й уровень (загрязнение очень высокое)
------------	----------------------------------	---	---

Почвы селитебных территорий

Мощность экспозиционной дозы на уровне 1 м от поверхности почвы, мкР/ч	До 20	200...400	Более 400
Радиоактивное активное загрязнение, Ки/м ² :			
цезий-137	До 1	15...40	Более 40
стронций-90	До 0,3	1...3	Более 3
плутоний (сумма изотопов)	—	Более 0,1	Более 0,1
Z_c	Менее 16	16...128	Более 128

Почвы сельскохозяйственных земель

Радиоактивное активное загрязнение, Ки/м ² :			
цезий-137	До 1	15...40	Более 40
стронций-90	До 0,3	1...3	Более 3
плутоний (сумма изотопов)	—	Более 0,1	Более 0,1
Превышение ПДК химических веществ:			
1-го класса опасности (включая бенз(а)пирен, диоксины)	До 1	2...3	Более 3
2-го класса опасности	До 1	5...10	Более 10
3-го класса опасности (включая нефть и нефтепродукты)	До 1	10...20	Более 20

9.6. Фоновое содержание валовых форм тяжелых металлов и мышьяка
(Порядок определения размеров ущерба ..., 1993 г.), мг/кг

Почва	Цинк	Кадмий	Свинец	Ртуть	Медь	Кобальт	Никель	Мышьяк
Дерново-подзолистая песчаная и супесчаная	28	0,05	6	0,05	8	3	6	1,5
Дерново-подзолистая суглинистая и глинистая	45	0,12	15	0,10	15	10	30	2,2
Серая лесная	60	0,20	16	0,15	18	12	35	2,6
Чернозем	68	0,24	20	0,20	25	15	45	5,6
Каштановая	54	0,16	16	0,15	20	12	35	5,2

9.7. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве (извлечение
из гигиенического норматива ГН 2.1.7.020—94)

Вещество	Класс опасности	Общее значение ПДК, ОДК*, мг/кг, с учетом фона	ПДК подвижной формы, мг/кг
Бенз(а)пирен	1	0,02	—
Бензин	3	0,1	—
Ванадий	3	150	—
Ртуть	1	2,1	—
Свинец	1	32—65—130**	6
Никель	2	20—40—80**	4
Медь	2	33—66—132**	3
Мышьяк	1	2—5—10**	—
Кадмий	1	0,5—1,0—2,0**	—
Цинк	1	55—110—220**	23

*Ориентировочные допустимые концентрации (ОДК).

**Первые значения приведенного ряда соответствуют песчаным и супесчаным почвам, вторые — глинистым и суглинистым при рН менее 5,5, последние значения — глинистым и суглинистым при рН более 5,5.

Накопление тяжелых металлов в растениях приведено в таблице 9.8. При совместном поступлении тяжелых металлов содержание их в растениях возрастает.

9.8. Накопление тяжелых металлов в растениях (сырая масса) в зависимости от
загрязнения почвы, мг/кг

Почва	Свинец				Цинк			Кадмий		
	Ячмень	Редис	Пшеница	Кукуруза	Почва	Пшеница	Кукуруза	Почва	Пшеница	Кукуруза
0	0,05	1,9	0,5	0,3	0	25,5	19,4	0	0,21	0,75
60	—	3,5	1,3	1,5	60	36,8	28,9	1	0,40	0,91
125	0,21	6,8	2,9	3,5	125	49,0	43,7	5	3,52	2,66
250	0,34	12,1	6,4	7,9	250	105	89,4	10	7,83	6,95
500	0,63	20,0	9,8	9,5	500	184,4	218,5	20	15,20	18,40

Загрязнение сельскохозяйственной продукции оценивают, сравнивая исходное содержание конкретного вещества с предель-

но допустимой концентрацией его в пищевых продуктах (табл. 9.9).

9.9. Предельно допустимые концентрации химических элементов в продовольственном сырье и пищевых продуктах, мг/кг сырой массы (извлечение из Справочника ПДК вредных веществ в пищевых продуктах и средах, 1993)

Пищевые продукты	Свинец	Кадмий	Мышьяк	Ртуть	Медь	Цинк
Зерновые	0,5	0,1	0,2	0,03	10	50
Зерновые бобовые	0,5	0,1	0,3	0,03	10	50
Овощи свежие и свежемороженые	0,5	0,03	0,2	0,02	5	10
Фрукты, ягоды свежие и свежемороженые	0,4	0,03	0,2	0,02	5	10
Мясо и птица свежие и мороженые	0,5	0,005	0,1	0,03	5	70
Чай	10	1,0	1,0	0,1	100	—

Каждому уровню загрязнения почв соответствует уровень рекультивации, опирающийся на систему мер предыдущего уровня.

Для 1-го уровня загрязнения рекультивация имеет предупредительное и оздоравливающее назначение. На этом уровне регулируют подвижность и трансформацию загрязняющих веществ, поддерживают или повышают плодородие почвы, применяют мероприятия почвозащитного земледелия; проводят агромелиорацию и фиторекультивацию, культивируют устойчивые к загрязнению растения. Здесь же рассматривают возможные варианты снижения, стабилизации или повышения уровня загрязнения от выявленных источников, а в рамках пилотных проектов или опытно-производственных испытаний отработывают способы рекультивации для конкретных условий.

Для почв 2-го уровня загрязнения, имеющих статус чрезвычайной экологической ситуации, создают инженерно-экологические системы, предназначенные для управления техноприродными процессами на больших территориях, очищают почвы с помощью биодеструкторов и проводят мероприятия 1-го уровня.

На почвах, относящихся к 3-му уровню загрязнения, проводят санитарно-гигиеническую рекультивацию; создают инженерно-экологические системы; заменяют или полностью ликвидируют отдельные участки загрязненных компонентов геосистемы; восстанавливают биологические и геологические круговороты вещества, например, взамен ликвидируемого и утилизируемого почвенного слоя, загрязненного радиоактивными веществами; создают рекультивационный слой, соответствующий санитарным требованиям; с помощью очистных сооружений восстанавливают химический состав поверхностных вод и т. д.

Инженерно-экологическая система — это постоянно или длительное время действующий в управляемом режиме комплекс сооружений и мероприятий по восстановлению естественной самоочищающей способности компонентов геосистем, снижению до допустимых норм поступления в них загрязняющих веществ, активному удалению этих веществ, локализации очагов загрязнения, обеспечению экологически безопасного существования биоценозов и человека.

9.4.2. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Загрязнение почв тяжелыми металлами приводит к образованию кислой или щелочной реакции почвенной среды, к снижению обменной емкости катионов, к потере питательных веществ, к изменению плотности, пористости, отражательной способности, развитию эрозии, дефляции, к сокращению видового состава растительности или к ее полной гибели.

Прежде чем начать рекультивацию таких земель, необходимо установить источник и причины загрязнения, провести мероприятия по снижению выбросов, локализации или ликвидации источника загрязнения. Только при таких условиях может быть достигнута высокая эффективность рекультивационных работ.

Ориентиром для разработки состава работ по рекультивации земель в первую очередь служит приоритетное вещество, вызывающее ухудшение экологического состояния почв и качества сельскохозяйственной продукции, а ожидаемую подвижность других опасных веществ регулируют специальными или комплексными мероприятиями.

Рекультивацию земель, загрязненных тяжелыми металлами, осуществляют следующими способами.

Культивирование устойчивых к загрязнению культурных и дикорастущих растений. На загрязненных землях сельскохозяйственного назначения проводят реорганизацию и переориентацию сельскохозяйственного производства за счет введения новой структуры растениеводства, обеспечивающей получение качественной продукции. В зонах с чрезвычайной экологической ситуацией (вторая группа рекультивации), имеющих многоэлементный набор загрязнителей, целесообразно переходить с производства овощей на введение зернокармликовых севооборотов и развитие животноводства с особым режимом содержания животных, например со стойловым и кормлением разбавленными кормами или с выгоном, чередуя пастьбу на загрязненных и чистых лугах.

Переход на другие сельскохозяйственные культуры зависит от их отзывчивости на уровень содержания металлов в почве, причем

эта отзывчивость у растений проявляется как в зависимости от вида, сорта, так и от распределения металлов в вегетативных и регенеративных органах. Различное накопление тяжелых металлов в растениях вызвано существованием биологических барьеров в системе почва — корень — стебель (листья) — регенеративный орган. Обычно больше тяжелых металлов накапливается в вегетативных органах, меньше — в регенеративных, например, при содержании в почве 800 мг/кг свинца в соломе ржи обнаружено его 9 мг/кг, а в зерне — 0,9 мг/кг. Отзывчивость растений на отдельные металлы можно проследить на примере кадмия, наиболее чувствительны к избытку кадмия соя, салат, шпинат, а устойчивы — рис, томат, капуста.

С учетом конкретных условий на почвах, загрязненных тяжелыми металлами, можно выращивать следующие устойчивые культуры: зерновые колосовые, злаковые травы, картофель, капусту, томаты, хлопчатник, сахарную свеклу. По накоплению цезия-137 в многолетних злаковых травах установлен следующий убывающий по применению ряд: кострец безостый, тимофеевка, ежа сборная, овсяница, мятлик луговой, райграс пастбищный; для однолетних: зерно люпина, редька масличная, рапс, зерно гороха и вики, зеленая масса гороха, вики, солома яровых, зерно кукурузы и зерновых. Для стронция-90 имеются некоторые отличия: клевер, горох, рапс, люпин, однолетние бобово-злаковые травосмеси, многолетние злаковые, зеленая масса кукурузы, ржи, свекла кормовая, зерно зерновых, картофель.

Рекультивация почв с помощью растений (фиторекультивация), способных накапливать тяжелые металлы в вегетативных органах. Установлено, что дерево, растущее вдоль автомобильной дороги, за вегетационный период способно накапливать в себе свинец в количестве, соответствующем его содержанию в 130 кг бензина. Поэтому в населенных пунктах с загрязненными районами листовой опад целесообразно собирать и утилизировать. Для очистки почв от цинка, свинца и кадмия необходимо выращивать большой горец, от свинца и хрома — горчицу, от никеля — гречиху и т. д. (см. разд. 9.2.3), при загрязнении радиоактивными изотопами можно использовать вику, горох, люцерну, махорку. Применяют рапс, который в последующем идет на производство машинных масел.

Регулирование подвижности тяжелых металлов в почве. Поглощение тяжелых металлов растениями зависит от содержания их подвижных форм в почве. Наличие подвижных форм определяется свойствами и плодородием почв, биогеохимическими процессами, интенсивностью и объемами поступления тяжелых металлов в почву, выносом растениями. Поведение тяжелых металлов в почве и способы управления их содержанием вытекают из теории гео-

химических барьеров, а рекультивация загрязненных почв сводится к созданию дополнительных барьеров, управлению существующими барьерами или к ослаблению некоторых из них.

Почвы, тяжелые по гранулометрическому составу и высокоплодородные, содержат меньше подвижных форм тяжелых металлов, чем почвы легкие и малопродуктивные. Многие из металлов, относящихся к первому классу опасности, в нейтральной почвенной среде образуют труднорастворимые соединения, а в кислой — легкорастворимые. Кадмий наиболее подвижен в кислой среде и слабо подвижен в нейтральной и щелочной средах. К подвижным в кислой среде относятся химические соединения, содержащие катионы цинка, меди, свинца, кадмия, стронция, марганца, никеля, кобальта и др. К подвижным в нейтральной и щелочной средах — молибден, хром, мышьяк, ванадий, селен.

В районах с высокой автотранспортной нагрузкой и с промышленными предприятиями, связанными с сжиганием угля, нефти и производством стали, в атмосферном воздухе возрастает содержание оксида азота (NO), диоксида азота (NO₂), диоксида серы (SO₂), что приводит к образованию кислотных дождей и повышению кислотности поверхностных вод и почв. На таких территориях создается опасность загрязнения продукции растениеводства, приусадебных участков и лесных угодий кадмием, свинцом, ртутью, медью и другими растворимыми в кислой среде токсичными элементами.

В равных условиях наименьшей растворимостью обладают фосфаты и сульфиды тяжелых металлов, из карбонатных соединений меньшую растворимость имеют соединения ртути, свинца и кадмия. Гидроксиды тяжелых металлов образуют труднорастворимые формы в слабокислых и нейтральных средах, исключение — гидроксид Fe (pH 2,5) и Al (pH 4,1).

На подвижность влияют органические вещества с малой молекулярной массой, фульвокислоты и гуминовые кислоты. Так, количество подвижной меди уменьшается из-за большой сорбции с 4,5 до 2 мг/кг при изменении содержания гумуса в почве от 0,6 до 6,5 %. Сорбция свинца почвой при изменении содержания в ней гумуса от 2,5 до 7 % возрастает с 5 до 20 мкг/кг.

Внесение в почву жидкого навоза и слабозащожившихся органических веществ повышает подвижность тяжелых металлов за счет образования низкомолекулярных водорастворимых комплексов. В растения тяжелые металлы поступают по степени их подвижности: кадмий — свинец — цинк — медь.

Подвижность соединений тяжелых металлов в почве регулируют с помощью известкования, гипсования, внесения органических и минеральных удобрений, землевания (внесение глины или песка) (рис. 9.9).

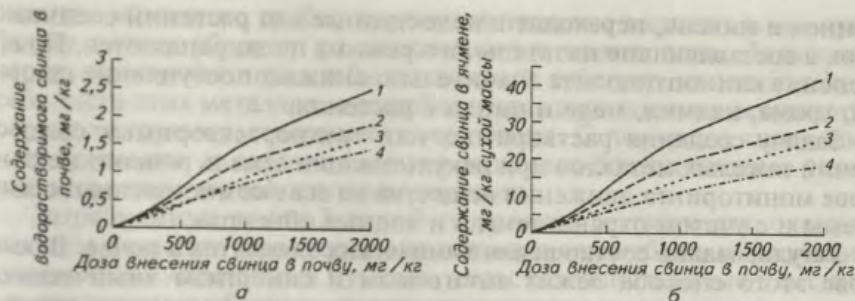


Рис. 9.9. Изменение содержания свинца в среднесуглинистой дерново-подзолистой почве:

а — его водорастворимой формы; б — в ячмене при внесении мелиорантов; 1 — контроль (без мелиорантов); 2 — известь + минеральные удобрения; 3 — цеолит (клиноптилолит) + минеральные удобрения; 4 — известь + навоз + минеральные удобрения

При внесении в среднесуглинистую дерново-подзолистую почву мелиоранта (известь + навоз + минеральные удобрения) снижается содержание водорастворимого свинца в почве и он меньше накапливается в сухой массе ячменя.

Известкование — эффективный прием снижения поступления цезия-137 и стронция-90 из почвы в растения. Установлено, что в нейтральной среде поступление радионуклидов в продукцию снижается в 1,5...10 раз. Применение органических удобрений на 15...30 % снижает поступление радионуклидов из почвы в растения, а использование повышенных доз калийных удобрений (120...180 кг/га) — на 35...57 % поступление стронция-90. Фиксирует радионуклиды в почве фосфор.

При рекультивации земель, загрязненных тяжелыми металлами, значительное внимание уделяют поддержанию и образованию в почве труднорастворимых соединений. Для этого в дополнение к приведенным способам используют природные и искусственные адсорбенты. К природным относятся торф, мох, черноземные почвы, сапропель, бентонитовые и бентонитоподобные глины, глауконитовые пески, клиноптилолиты, опоки, трепелы, диатомиты. Искусственные адсорбенты создаются в результате активации или смешения природных адсорбентов, например активированный уголь, алюмосиликатные и железо-алюмосиликатные адсорбенты, углеалюмогели, циолитополисилоксаны, адсорбент «Сорбэкс», ионообменные смолы, полистрол.

Избирательная способность адсорбентов может быть ориентирована на определенные металлы: например, при использовании адсорбента «Меркапто-8-триазин» такие металлы, как кадмий,

свинец и никель, переходят в недоступные для растений соединения, а составляющие питательного режима не закрепляются. Применение клиноптилолита значительно снижает поступление свинца, хрома, кадмия, меди и цинка в растения.

Задачу создания растворимых или труднорастворимых соединений тяжелых металлов при рекультивации земель решают на основе мониторинга движения вещества во всех компонентах геосистемы и с учетом охраны земель и водных объектов.

Регулирование соотношения химических элементов в почве. В основе этого способа лежит антагонизм и синергизм химических элементов, т. е. когда один элемент препятствует или способствует поступлению другого в растение, например, цинк препятствует поступлению ртути, а избыток фосфора приводит к снижению токсичности цинка, кадмия, свинца и меди, присутствие кальция может создать для одних металлов антагонистические, а для других — синергические условия, в плодородной почве цинк и кадмий противостоят закреплению меди и свинца, а в малоплодородной почве процесс может развиваться в обратном направлении.

Создание рекультивационного слоя, замена или разбавление загрязненного слоя почвы. Его можно проводить по сложной многослойной схеме, которая представляет собой последовательное формирование на загрязненной поверхности многослойной структуры (известь, глинистый экран, песок, суглинистый или супесчаный грунт, почвенный слой), а также по однослойной и двухслойной схеме путем нанесения почвы или потенциально плодородной породы на предварительно экранированную или неэкранированную загрязненную поверхность.

Разбавление загрязненного слоя проводят землеванием чистой почвы с последующим смешиванием, а также с помощью глубокой вспашки, когда верхний загрязненный слой перемешивается с чистым нижним слоем. Глубокая вспашка на почвах с мощным гумусовым горизонтом в 5...10 раз снижает поступление радионуклидов в растение.

Возможны также снятие загрязненного слоя и его утилизация или снятие загрязненной почвы с последующей очисткой на специальном полигоне и возвращением обратно, но это актуально для небольших участков, так как является очень дорогостоящим способом рекультивации.

Использование активных биологических средств. Заключается в культивировании на загрязненных землях живых организмов, способных аккумулировать в себе тяжелые металлы, включая радионуклиды. Один из представителей таких организмов — дождевые черви. Механизм очистки почвы основан на трофической связи дождевых червей и почвенных микроорганизмов. Последние (ок-

сиданты и низшие грибы) переводят тяжелые металлы в ионную форму или сорбируют их поверхностью своего тела. Дождевые черви, пропуская через себя почвенный субстрат, накапливают в себе часть этих металлов, а выработанные ими гуминовые кислоты образуют труднорастворимые соединения. С помощью специальных приманок и создания очагов наиболее благоприятных условий дождевых червей изымают из почвы.

Загрязненные земли 2-го и 3-го уровней загрязнения, охватывающие большие территории, куда входят селитебные и рекреационные зоны населенных пунктов, сельскохозяйственные и лесные угодья, водные объекты, очищают, создавая инженерно-экологические системы, которые обеспечивают:

существенное сокращение выбросов предприятиями (технологической барьер);

локализацию очагов загрязнения, не допускающую распространения загрязняющих веществ по территории и вглубь: борьба с водной и ветровой эрозией загрязненных почв; управление водными миграционными потоками путем соответствующей организации поверхностного стока, создания ливневой канализации, дренажных систем с очисткой местного стока различными сорбентами, биоплато и т. п. (гидрохимический барьер);

строгое дозирование химических средств защиты растений, оптимальное регулирование питательного и кислотного режимов почвы (агрохимический барьер);

создание рекультивационного слоя, замена или разбавление загрязненного слоя почвы;

усиление сорбционного барьера почвенного слоя, необходимого для существенного уменьшения количества подвижных соединений тяжелых металлов, которые поступают в растения и загрязняют продукцию (в то же время общее количество металлов в почве может не только не уменьшаться, но даже расти за счет уменьшения подвижности);

дополнительно к усилению сорбционного процесса — управление инфильтрационной составляющей водного режима почвенного слоя в условиях полива зеленых насаждений, газонов, огородных, сельскохозяйственных и других культур, т. е. некоторое ослабление гидрофизического барьера. Уменьшение количества подвижных соединений при внесении сорбента фактически ослабляет перераспределение общего содержания металлов по почвенному профилю под действием нисходящих токов влаги и приводит к избыточной аккумуляции металлов в самом верхнем слое. Ослабление гидрофизического барьера путем регулируемой инфильтрации способствует перераспределению металлов, так как происходит разбавление почвенного раствора и одновременное уменьшение труднорастворимых соединений за счет десорбции.

Такое мероприятие возможно при создании инженерно-экологической системы, активно воздействующей на подземные воды путем их откачки и очистки, создающей барьеры для поступления загрязняющих веществ в реки и места разгрузки подземных потоков.

Для количественного обоснования приведенных мероприятий используют математические модели передвижения влаги, а также тяжелых металлов с учетом их сорбции и отбора корнями растений. Эти модели описаны в разделах 3.5 и 3.6.

Пример расчета вариантов очистки загрязненных земель. Рассмотрим почвы, загрязненные тяжелыми металлами, на приусадебных участках в одном из городов Самарской области. В этом небольшом городе на левом берегу Волги сосредоточены вредные предприятия: крупный нефтеперерабатывающий завод, нефтехимический комбинат, завод синтетического спирта, две большие ТЭЦ и др. Годовой объем выбросов на 1 км² площади города составляет 2300 т, содержащих значительное количество тяжелых металлов: свинца, хрома, никеля, меди, цинка, кадмия. Например, кадмия в снежной воде содержится в 1,5 раза больше, чем свинца.

Путем математического моделирования были исследованы различные варианты очистки, начиная с сокращения выбросов в 5 раз, т. е. доведения их до допустимых, но этого оказалось недостаточно, так как запасы тяжелых металлов в почве из-за этого не уменьшатся. Поэтому было рассмотрено разовое внесение сорбентов дозой 2 кг/м², регулярное орошение земель приусадебных участков с созданием промывного режима в размере 20 % суммы приходных статей водного баланса (весеннего увлажнения, осадков теплого периода и оросительной нормы), а также совместное применение всех мероприятий. В данном случае вымывать тяжелые металлы в грунтовые воды можно, так как они и без того загрязнены и не могут использоваться для водоснабжения. На данной территории, загрязненной к тому же и нефтепродуктами, необходимо строительство инженерно-экологической системы с локализацией очага загрязнения, откачкой и очисткой загрязненных грунтовых вод. Моделирование общего содержания кадмия и его подвижной (несорбированной) части для восьми вариантов, включая и существующие условия (моделировали 30-летний период загрязнения и 10-летний период очистки, на рисунках приведены результаты за последние 20 лет), показано на рисунке 9.10. Вариант без мероприятий нужен для «настройки» модели, воспроизводства существующего положения и прогноза его изменения.

Критерием оценки эффективности разных вариантов принято в первую очередь содержание подвижных фракций кадмия в корнеобитаемом слое почвы, так как именно это определяет степень загрязнения биоты. Во вторую очередь обращали внимание на общее содержание металла в 50-сантиметровом слое почвы. Приняты ОДК подвижных фракций кадмия 0,08 мг/кг, общего содержания 0,5 мг/кг. В результате сравнительной оценки вариантов можно сделать следующие выводы:

если не проводить никаких мероприятий, на фоне существующих выбросов степень загрязнения имеет тенденцию к стабилизации во влажной группе лет, в засушливые годы загрязнение несколько увеличивается (вариант 1);

только уменьшение выбросов в 5 раз приводит к медленному самоочищению почвы, темпы которого зависят от подвижности металла и интенсивности промываемости почвы, но за 10 лет требуемой очистки не достигают, содержание кадмия уменьшается за 10 лет с 1,28 до 1,02 мг/кг, или на 20 % (вариант 5);

внесение сорбента (варианты 2 и 6) позволяет в первый же год резко уменьшить количество подвижных, доступных для растений фракций Cd, но достичь ОДК не удастся, в варианте 2 (без уменьшения выбросов) после внесения сорбен-

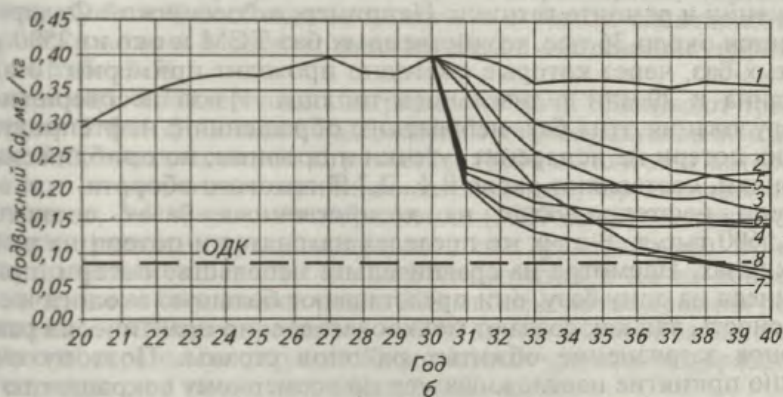
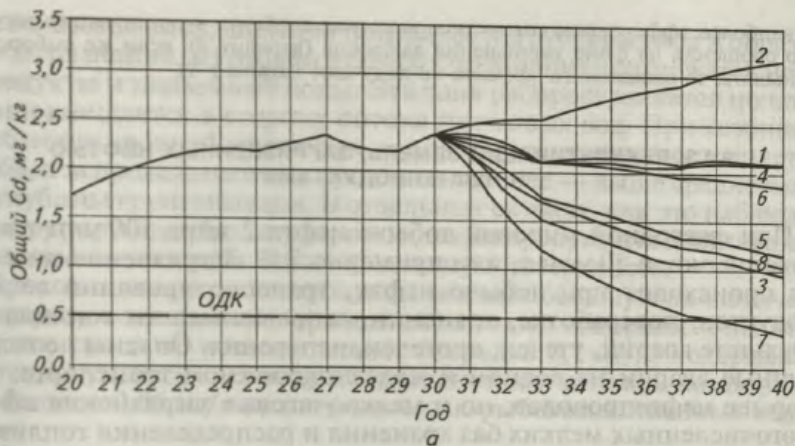


Рис. 9.10. Динамика общего содержания кадмия в 50-сантиметровом слое при разных вариантах очистки:

a — общего; *b* — подвижного; 1 — без мероприятий; 2 — внесение сорбента; 3 — промывной режим орошения; 4 — сорбент и орошение; 5 — сокращение выбросов в 5 раз; 6 — то же и внесение сорбента; 7 — сокращение выбросов и орошение; 8 — все мероприятия

та общее содержание Cd заметно увеличивается из-за уменьшения его миграционной способности; это увеличение потенциально опасно, так как при изменении условий (кислотности, условий увлажнения) могут усилиться процесс десорбции и реставрация загрязнения подвижными формами;

увеличение промываемости почвы за счет регулярного орошения при сохранении объемов выбросов (вариант 3) обеспечивает медленное, примерно в течение 10 лет, очищение 50-сантиметрового слоя, и такой вариант не может быть рекомендован как единственное мероприятие; при уменьшении выбросов (вариант 7) почва очищается быстрее, но все равно занимает 7..8 лет, что неприемлемо;

наиболее эффективны совместное внесение сорбента и организация регулярного орошения на фоне уменьшения выбросов (вариант 8), если же выбросы не уменьшать, то ожидаемого эффекта не получают (вариант 4).

9.4.3. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ

При ежегодной мировой добыче нефти 2 млрд 500 млн т в год теряется около 50 млн т, или примерно 2 %. Загрязнение земель и вод происходит при добыче нефти, транспортировании ее и ее продуктов, переработке, хранении, заправке машин топливом, в результате аварий, утечек, протечек, испарения. Опасны не только крупные аварии на водном и железнодорожном транспорте, при прорыве нефтепроводов, но и мелкоочаговые загрязнения вокруг многочисленных мелких баз хранения и распределения топливно-смазочных материалов (ТСМ), топливозаправочных станций, при хранении и ремонте техники. Например, в Российской Федерации имеется около 36 тыс. хозяйственных баз ТСМ и около 2500 районных баз, через которые ежегодно проходит примерно 10 млн т бензина и 20 млн т дизельного топлива. Из-за несовершенства оборудования этих баз, небрежного обращения с нефтепродуктами их потери на испарение, утечки и проливы, по приближенным оценкам, составляют около 0,4...2,3 % годового оборота, т. е. в год потери нефтепродуктов на хозяйственных базах составляют 120...690 тыс. т. В этих же пределах находятся и потери на районных базах. Несмотря на сравнительно небольшие потери, приходящиеся на одну базу, они представляют большую экологическую опасность, так как создают мелкоочаговое, но практически равномерное загрязнение обжитых районов страны. Поэтому очень важно принятие неотложных мер по всемерному сокращению потерь нефтепродуктов, а также очистке загрязненных территорий.

Испаряющиеся нефтепродукты загрязняют воздух, особенно опасно образование канцерогенных соединений. Испарившиеся нефтепродукты переносятся с воздухом и, выпадая вместе с атмосферными осадками, расширяют ареал загрязнения. Значительная часть нефтепродуктов попадает в почву, вызывая неблагоприятные изменения ее микроэлементного состава, физико-химических свойств, водно-воздушного и окислительно-восстановительного режимов, нарушение нормального соотношения углерода и азота, приводя к дефициту кислорода, азота и фосфора. На территориях добычи, хранения, переработки нефтепродуктов и на прилегающей площади почвенный покров деградирует и полностью разрушается.

Часть пролитых нефтепродуктов, особенно их легкие фракции, улетучиваются из самого верхнего слоя почвы, но большая часть

просачивается вниз, достигая поверхности грунтовых вод и образуя зону загрязнения, в которой в разных пропорциях содержатся нефтепродукты и подземные воды. Эта зона распространяется по площади и смещается в сторону потока грунтовых вод. При сезонных колебаниях уровней грунтовых вод загрязнение распространяется вглубь, а за пределами очага проливов и утечек — выше среднегодовой глубины грунтовых вод. В отдельных случаях, как это наблюдали вокруг крупных баз, аэродромов, нефтепродукты выклиниваются в подполья, погреба и даже на дневную поверхность.

Просочившиеся нефтепродукты создают большую экологическую угрозу водоносным горизонтам, а также водоемам и водотокам, так как даже незначительное (порядка 0,1 мг/л) содержание нефтепродуктов делает воду непригодной для питья, а концентрация больше 0,05 мг/л недопустима для рыбохозяйственных водоемов.

Мероприятия по рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, необходимо назначать с учетом санитарно-гигиенических норм и оценки экологической обстановки территорий (см. табл. 9.5).

Например, в Нидерландах загрязнение почв оценивают тремя уровнями: 1-й — фоновый с содержанием нефтепродуктов 50 мг/кг почвы; 2-й — повышенное загрязнение (1000 мг/кг), при котором выявляют и устраняют причины загрязнения, организуют мониторинг; 3-й — высокое загрязнение (5000 мг/кг) — служит основанием проведения рекультивации почв и грунтовых вод. В Германии допустимое содержание нефтепродуктов в почве водоохранных зон и заповедников равно 300 мг/кг; в почве древних речных долин — 3000; водоразделов — 5000 мг/кг. Многие западноевропейские страны за верхний безопасный уровень содержания нефтепродуктов в почве принимают 1000 мг/кг.

Для России в нефтедобывающих районах институт Геоэкологии РАН рекомендует безопасные уровни загрязнения грунтов нефтепродуктами в мерзлотно-тундровых и таежных районах до 1000 мг/кг, в таежно-лесных — до 5000, лесостепных и степных районах — до 10 000 мг/кг. За нижний безопасный уровень загрязнения грунтов принимают 1000 мг/кг, рекультивационные работы рекомендуют начинать при содержании нефтепродуктов 5000 мг/кг.

В Республике Башкортостан институтом биологии за предельно допустимое содержание нефтепродуктов было принято 1000 мг/кг, при превышении которого необходимы рекультивационные работы. Для Москвы утверждено предельное содержание нефтепродуктов 300 мг/кг.

В отдельных регионах страны в качестве ориентировочно допустимых используют «фоновые значения» содержания углеводоро-

дов в почве или такое содержание нефтепродуктов, при котором за счет самоочищающей способности почвы в течение одного года восстанавливают продуктивность растений или микробиологические процессы.

Если учитывать, что фоновое содержание нефтепродуктов в грунтах для территории России изменяется от 10 до 500 мг/кг, а подавление микробиологических процессов на вновь загрязненных землях начинается при содержании нефтепродуктов 200...300 мг/кг, то для сельскохозяйственных земель ПДС нефтепродуктов не должно быть больше 300 мг/кг. Норматив содержания нефти и нефтепродуктов при рекультивации необходимо определять с учетом фонового содержания, вида загрязнения, вида нефтепродуктов, использования земель и природных условий, обуславливающих самоочищающую способность компонентов геосистем.

Для земель сельскохозяйственного назначения 1-го уровня рекультивации (низкий уровень загрязнения нефтью и нефтепродуктами) принято содержание их в почве 300...1000 мг/кг, 2-го (средний и высокий уровни загрязнения) — 1000...5000, 3-го (очень высокий уровень загрязнения) — больше 5000 мг/кг. Для земель несельскохозяйственного назначения: 1-й уровень — 1000...5000 мг/кг, 2-й уровень — 5000...10 000, 3-й уровень — больше 10 000 мг/кг.

Состав работ 1-го уровня рекультивации направлен на активизацию почвенных микроорганизмов по деструкции углеводов. Сюда входят рыхление почвы, внесение извести, гипса, высоких доз органических и минеральных удобрений с последующей запашкой, создание мульчированной поверхности из высокопитательных смесей, посев нефетолерантных растений повышенными нормами, а также возможно применение составных мелиорантов: NPK + навоз; NPK + известь; NPK + известь + навоз.

В процессе рекультивационных работ 2-го уровня заменяют загрязненный слой, создают рекультивационный слой способом смешивания замасоченных и чистых слоев почвы, вносят органо-минеральные и бактериальные активаторы (керамзитовые окатыши, навоз, биодеструкторы), устраивают поглотительно-экранирующие слои под загрязненным слоем из минеральных грунтов и извести. Почвы с высоким уровнем загрязнения направляют на переработку с целью добычи извлекаемой части нефтепродуктов, после чего их рекультивируют в стационарных или полевых условиях.

Один из приоритетных способов очистки почв от нефтепродуктов — использование биодеструкторов. Их эффективность обеспечивается активностью микроорганизмов по отношению к углеводородам в условиях хорошей аэрации почв, благоприятного водного, температурного (5...30 °C) и питательного режимов почв.

Так, благодаря действию таких препаратов содержание нефтепродуктов в почве за 10 сут может снизиться на 30 %. По мере снижения загрязненности почвы применяют мероприятия 1-го уровня рекультивации.

В качестве устойчивых культур при среднем загрязнении выращивают ежу сборную и полевицу белую; при низком загрязнении — кроме указанных, тимофеевку, овсяницу красную, кострец безостый, люпин многолетний, бекманию восточную, канареечник, лядвенец рогатый, клевер и люцерну. При кормлении животных этими растениями необходим строгий санитарный контроль, так как в них могут накапливаться такие канцерогены, как полициклические ароматические углеводороды.

Возможная схема агробиологических рекультивационных работ:

1-й год — рыхление загрязненной почвы для ее освобождения от легких углеводов и стимулирования биохимических процессов;

2-й год — применение биодеструкторов и регулирование для этой цели питательного и водного режимов почв;

3-й и последующие годы — выращивание устойчивых культур до получения качественной продукции (табл. 9.10).

9.10. Условия применения агробиологических рекультиваций

Метод рекультивации	Способ, технология, материал	Условия применения	
		Температура воздуха, °С	Содержание нефтепродуктов, %
Агротехнический	Агротехническая обработка почвы (вспашка, рыхление, дискование, боронование, известкование) для ускорения процессов окисления, активизации деятельности природных штаммов	> 5	≤ 0,1
Биологический	Внесение органических удобрений (навоз, торф, компост), биодеструкторов («Путидойл», «Дизойл», «Деворойл» и др.), известкование	> 5	≤ 1
Фиторекультивационный	Агротехнические мероприятия, внесение органических и минеральных удобрений, известкование, посев и выращивание трав на сидераты выносливых культур: ежа сборная, полевица белая, тимофеевка, овсяница красная, кострец безостый, люпин многолетний, бекмания восточная, канареечник, лядвенец рогатый, клевер, люцерна	> 5	≤ 0,5

Рекультивацию земель, входящих в зону чрезвычайной экологической ситуации или экологического бедствия (2-й и 3-й уров-

ни), проводят как систему мероприятий в составе инженерно-экологической системы. Создание такой системы обусловлено высокой подвижностью нефтепродуктов в компонентах геосистемы, особенно при длительном загрязнении почв, и образованием больших ареалов свободных и связанных нефтепродуктов на границе раздела зоны аэрации и подземных вод. Подобные антропогенные залежи нефтепродуктов образуются вблизи складов топливно-смазочных материалов, нефтебаз и нефтеперерабатывающих заводов. Сам факт существования антропогенных залежей вызывает опасность загрязнения не только почв на сопредельных к источнику территориях, но и гидравлически связанных с ними подземных и поверхностных вод. Поэтому реализуемые задачи инженерно-экологической системы — рекультивация почв, защита рек и водозаборов от загрязнения нефтепродуктами с одновременной локализацией очагов загрязнения подземных вод.

Управляемая система в течение длительного периода (несколько десятков лет) предотвращает распространение неизвлекаемой части нефтепродуктов из залежи в городские водозаборы и в реки, регулирует концентрацию легких углеводородов в зоне аэрации и снижает пожароопасную обстановку, обеспечивает на основе экологического мониторинга управление гидрхимическими и биологическими режимами почв, грунтов подземных и поверхностных вод.

Основу системы могут составлять такие инженерные сооружения, как дамба обвалования, стена в грунте, нагнетательные скважины, горизонтальный и вертикальный дренажи, добывающие скважины, а также мероприятия по технической и биологической рекультивации загрязненных земель.

Примерная схема управляемой инженерно-экологической системы по восстановлению компонентов природы в зоне действия комбината нефтехимической промышленности показана на рисунке 9.11. Мероприятия и функции управляемой системы:

устройство дамбы обвалования и проведение мероприятий по организации поверхностного стока защитят загрязненную территорию от затопления во время паводка и предотвратят поверхностный смыв нефтепродуктов; собранный поверхностный сток после предварительного биодеструктирования и доочистки будет отводиться в водотоки или использоваться в водооборотных системах промышленных предприятий;

строительство стены в грунте по контуру нефтяной залежи или в зоне разгрузки загрязненных потоков прекратит дальнейшее продвижение загрязненных подземных вод;

создание сети нагнетательных и добывающих скважин, сепарационных и очистных сооружений, работающих в регулируемом режиме, обеспечит подпор и извлечение несвязанных нефтепро-

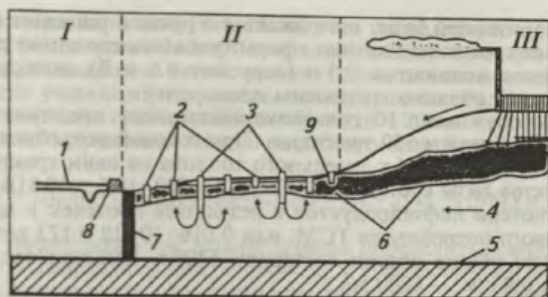


Рис. 9.11. Схема управляемой инженерно-экологической системы по восстановлению компонентов природной среды в зоне действия предприятий нефтехимической промышленности:

I — зона реки; *II* — зона рекультивации загрязненных земель, локализации и ликвидации загрязнения от нефтепродуктов; *III* — зона нефтехимических предприятий; 1 — паводковый уровень в реке; 2 — добывающие скважины; 3 — скважины для подачи воды в водоносный пласт; 4 — приток подземных вод; 5 — водоупор; 6 — нефтепродуктовое загрязнение; 7 — противодиффузионная завеса; 8 — оградительная дамба; 9 — нагорно-ловчий канал

дуктов, получение вторичных нефтепродуктов и очистку подземных вод;

проведение рекультивации загрязненных земель в условиях регулирования гидрохимического режима почв восстановит их продуктивность и создаст условия для производства качественной растительной продукции;

управление инженерно-экологической системой на основе экологического мониторинга обеспечит сбалансированное восстановление природных компонентов.

Пример обоснования мероприятий по очистке земель, загрязненных нефтепродуктами. Рассмотрим мероприятия по очистке земель на территории и вокруг ликвидируемой районной базы топливно-смазочных материалов, находящейся в Тверской области. Климат территории умеренно-континентальный, среднегодовое количество атмосферных осадков составляет 650 мм, испарение — 530 мм, речной сток — 120 мм, в том числе подземный — 60 мм в год.

Территория базы расположена на элювиальной фации восточноевропейского бореально-суббореального (подтаежного) ландшафта на размытой опесчаненной морене московского оледенения, перекрытой пылеватыми слабокарбонатными суглинками. Моренные отложения в виде ожелезненных суглинков подстилаются мелкозернистыми песками с коэффициентом фильтрации воды $K_{\text{в}} = 1,8 \text{ м/сут}$ и пористостью $m = 0,38$, мощность песчаного слоя 6 м. В нем расположен безнапорный водоносный горизонт, глубина грунтовых вод на территории базы — 3,4 м. Песчаные отложения подстилаются юрскими глинами большой мощности, являющимися местным водоупором.

К элювиальной фации примыкает супераквальная фация в виде пологого склона и заканчивается неширокой поймой ручья, который входит в водную систему р. Волги, питающую Угличское водохранилище. Поток грунтовых вод, про-

ходящий под территорией базы, разгружается в ручье и попадает в Волгу. На слабокислотных покровных суглинках сформировались типичные для данной зоны подзолистые почвы мощностью 0,3 м (горизонты А и В), которые при хорошей культуре земледелия обладают неплохим плодородием.

База ТСМ обслуживает 10 сельскохозяйственных предприятий, в которых имеется 290 автомобилей и 550 тракторов. При годовой потребности 17,2 т бензина на один автомобиль и 10,6 т дизельного топлива на один трактор годовой оборот нефтепродуктов базы составляет $290 \cdot 17,2 + 550 \cdot 10,6 = 10\,818$ т.

Ежегодные потери нефтепродуктов в результате протечек и проливов составляют 1,6 % годового потребления ТСМ, или $0,016 \cdot 10\,818 = 173$ т/год, за 37 лет существования базы общие потери составили 6400 т, или при средней плотности нефтепродуктов $0,8 \text{ т/м}^3 - 8000 \text{ м}^3$.

Территория базы представляет собой квадрат в плане со стороной $B = 150$ м, площадь, занимаемая базой, равна 2,25 га. По данным изысканий под территорией базы и на прилегающей к ней ниже по склону площади сформировалось пятно загрязнения с высоким содержанием нефтепродуктов. Граница этого пятна сдвинута за границу базы примерно на 130 м.

Это подтверждается следующими расчетами: при гидравлическом уклоне потока грунтовых вод $i = 0,002$ и коэффициенте фильтрации воды в песчаном горизонте $K_n = 1,8$ м/сут фильтрационная скорость потока по формуле Дарси:

$$v = K_n i = 1,8 \cdot 0,002 = 0,0036 \text{ м/сут} = 1,314 \text{ м/год.}$$

Истинная скорость движения воды в порах грунта

$$v_{\text{ист}} = v/m = 1,314/0,38 = 3,46 \text{ м/год.}$$

Следовательно за 37 лет функционирования базы ТСМ пятно загрязнения сдвинулось по направлению потока грунтовых вод в сторону ручья на $3,46 \cdot 37 = 128$ м. Расстояние между границей загрязнения и поймой ручья составляет около 30 м. Таким образом, нефтепродукты могут выйти на пойму и попасть в ручей примерно через 5...6 лет, что создает угрозу загрязнения верховья Волги.

Примерные расчеты это подтверждают: при водосборной площади ручья 10 км^2 и среднегодовом слое стока 120 мм среднегодовой сток по ручью $10\,000\,000 \cdot 0,12 = 1200$ тыс. м^3 , а среднегодовой расход воды в ручье $1\,200\,000 : 365 : 86\,400 = 0,038 \text{ м}^3/\text{с} = 38 \text{ л/с}$. Среднегодовое поступление нефтепродуктов в грунтовые воды и в ручей составит 173 т/год, т. е. среднегодовое содержание их в воде будет $173\,000/1\,200\,000 = 0,144 \text{ кг/м}^3 = 144 \text{ мг/л}$ при допустимом 0,1 мг/л.

Следовательно, анализ природных и хозяйственных условий показывает настоятельную необходимость принятия срочных мер. Для этого необходимо, во-первых, закрыть существующую базу, так как технология хранения из-за больших потерь создает экологическую угрозу значительной территории и водной системе р. Волги. Во-вторых, необходимы специальные инженерные мероприятия по локализации очага загрязнения, очистке грунтов и грунтовых вод от нефтепродуктов и рекультивации почвенного покрова.

По формулам (3.88) и (3.89) можно вычислить содержание воды и нефтепродуктов во всей толще от поверхности земли до водоупора, а по формуле (3.90) — среднее для этой толщи содержание нефтепродуктов $W_n = 0,252 \text{ м}^3/\text{м}^2$. Потери нефтепродуктов, просочившихся в грунт за все время функционирования базы ТСМ, равны 8000 м^3 . Следовательно, площадь загрязнения составляет $8000/0,252 = 31\,746 \text{ м}^2$. Контур загрязнения можно принять в форме эллипса с соотношением осей $2a/2b = 2$, где a и b — полуоси. Эллипс вытянут по направлению потока грунтовых вод. Площадь эллипса $F = ab$, в данном примере $F = \pi a^2/2$. Зная площадь, найдем большую $a = 142$ м, малую $b = 142/2 = 71$ м полуоси и площадь эллипса $31\,670 \text{ м}^2$.

Следовательно, размер пятна загрязнения по направлению потока грунтовых вод равен 284 м, а поперек — 142 м. Последний размер примерно соответствует ширине участка, занимаемого базой, равной 150 м, а длинная ось эллипса примерно равна длине участка и расстоянию, на которое сместилось пятно загрязнения, увлекаемое потоком грунтовых вод: $150 + 128 = 278$ м.

Периметр пятна загрязнения можно рассчитать как периметр эллипса:

$$P = \pi[1,5(a+b) - \sqrt{ab}] = 3,14[1,5(142+71) - \sqrt{142 \cdot 71}] = 688 \text{ м.}$$

Зная запасы нефтепродуктов, можно заранее определить, какое количество их возможно удалить гидравлическим способом, т. е. вытеснением водой. С учетом гидравлически неподвижной насыщенности максимально возможное удаляемое количество нефтепродуктов: $W_{уд} = W_n - mLS_n^* = 0,252 - 0,38 \cdot 3,8 \cdot 0,1 = 0,108 \text{ м}^3/\text{м}^2$, или 3429 м^3 [L — мощность слоя с гидравлически неподвижными нефтепродуктами, которая включает мощность потока грунтовых вод и высоту капиллярного подъема (для песка эта высота 0,3...0,5 м), т. е. $3,4 + 0,4 = 3,8$ м; S_n^* — насыщенность грунтов неподвижными нефтепродуктами (для песка 0,1...0,15)]. Извлекаемая часть нефтепродуктов составит $(3429 : 8000)100 = 43\%$ всех потерь.

Оставшиеся $8000 - 3429 = 4571 \text{ м}^3$, или $4571 \cdot 0,8 = 3657$ т нефтепродуктов, в принципе гидравлическими способами удалить нельзя, следовательно, после извлечения подвижной части нефтепродуктов в грунте и в грунтовых водах сохранится на долгие годы очаг загрязнения. Действительно, растворимость нефтепродуктов в воде невелика и для дизельного топлива составляет около 20 мг/л ($20 \text{ г}/\text{м}^3$). Оценим примерное время вымывания оставшегося количества нефтепродуктов за счет их растворения. Среднегодовой поток грунтовых вод, проходящих под территорией базы:

$$Q = k_n i LB = 1,8 \cdot 0,002 \cdot 3,8 \cdot 150 = 2,1 \text{ м}^3/\text{сут} = 768 \text{ м}^3/\text{год},$$

где k_n — коэффициент фильтрации воды в песке, м/сут; i — уклон потока; L — мощность потока, м; B — ширина потока, м.

Это количество воды растворит $768 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 20 \text{ г}/\text{м}^3 = 15,4 \text{ кг}$ нефтепродуктов в год, а исходя из того, что оставшееся количество нефтепродуктов равно 3657 т, то время вымывания измеряется столетиями.

На основании расчета можно сделать вывод: удаление подвижных нефтепродуктов предотвращает залповое загрязнение водотоков, но не снимает угрозы длительного загрязнения подземных и поверхностных вод. Поэтому наряду с удалением нефтепродуктов необходимы специальные мероприятия, локализирующие очаг загрязнения.

Рассматриваемая база ТСМ из-за несовершенной технологии приемки, хранения и отпуска нефтепродуктов, а также из-за значительного износа оборудования представляет собой большую экологическую опасность и должна быть закрыта, а все оборудование — демонтировано. После этого можно проводить работы по очистке загрязненной территории.

Удаляют растворенные нефтепродукты из грунтов различными способами в зависимости от гидрогеологических условий, насыщенности грунтов, объемов растворенных нефтепродуктов, площади загрязнения и задач по охране окружающей среды. Устройство ловчих каналов и горизонтальных дрен в местах вклинивания нефтепродуктов и загрязненных подземных вод не исключает попадания части нефтепродуктов в водоемы и водотоки из-за колебания в них уровней воды и глубины грунтовых вод, т. е. возможно «проскакивание» нефтепродуктов. Откачка с помощью вертикальных и горизонтальных дрен позволяет отводить нефтепродукты только из зоны полного насыщения, хотя в капиллярной кайме их может быть больше; при таком способе за счет искривления и углубления линий тока к

дрене (скважине) нижняя граница зоны загрязнения опускается, увеличивая толщину неизвлекаемой части нефтепродуктов. Эффективность удаления нефтепродуктов повышается при установке в скважине одного насоса для создания и поддержания депрессионной кривой подземных вод с заданным уклоном, другого — для откачки свободных нефтепродуктов, движущихся по поверхности подземных вод. Однако в том и другом случае не решается проблема предотвращения последующего изменения качества подземных и поверхностных вод за границами очага загрязнения.

Основываясь на результатах расчетов и анализа существующих способов удаления нефтепродуктов, кафедра мелиорации и рекультивации земель Московского государственного университета природообустройства предлагает при очаговом загрязнении подземных вод создавать управляемую инженерно-экологическую систему (разд. 9.4.3). Задачи данной системы — локализация очага загрязнения, извлечение несвязанных нефтепродуктов, очистка почвы, зоны аэрации и последующее извлечение в управляемом режиме растворяемых в течение времени нефтепродуктов. Применение ее возможно на незастроенной территории или на территории, где здания и сооружения демонтируют; на участках с малым уклоном поверхности земли и при глубине залегания области скопления нефтепродуктов до 10 м.

Техническая составляющая системы включает водонепроницаемую стену в грунте, которая ограждает загрязненную территорию, скважины на всю мощность песчаного горизонта и чеки, устроенные с помощью земляных валиков на предварительно спланированной поверхности. В ходе планировки поверхности земли незагрязненный почвенный слой снимают и складывают в бурты.

Суть этой технологии заключается в том, что при нагнетании воды в скважины вытесняются вверх грунтовые воды и нефтепродукты до тех пор, пока зона полного насыщения достигнет поверхности земли. После этого подачу воды в скважины прекращают, а в чеках создают небольшой слой воды. Нефтепродукты всплывают на поверхность воды, а в почву и в подстилающий грунт впитывается такой же объем воды. Всплывшие нефтепродукты, переливаясь через валики, попадают в канал, а из него в сборную емкость в виде небольшого бассейна, вырытого в грунте внутри огражденной территории. В сборном бассейне нефтепродукты расслаиваются с водой, их выкачивают в автоцистерны и транспортируют на ближайший нефтеперерабатывающий завод для очистки и вторичной переработки. Естественно, что используемая для вытеснения вода будет загрязненной, ее также необходимо очистить перед сбросом в водоприемник, поэтому технология очистки должна быть такой, чтобы минимизировать объем загрязненных технологических вод.

Важный элемент этой технологии — соблюдение продолжительности заполнения пор водой, которая зависит от интенсивности нагнетания воды в скважины, причем она не должна быть большой, иначе подъем уровня грунтовых вод вблизи и вдали от скважин будет неравномерным, а при большой подаче воды возможно даже ее фонтанирование около скважин. Малая скорость подъема уровня грунтовых вод способствует лучшему вытеснению нефтепродуктов вверх, поэтому она должна быть около 0,1 м/сут. При подходе зоны полного насыщения к поверхности земли на поверхности чеков создают слой воды, чеки подпитывают водой так, чтобы слой всплывших нефтепродуктов не касался поверхности почвы. Во избежание большого загрязнения атмосферного воздуха летучими фракциями целесообразно процесс всплывания нефтепродуктов прекратить на 60-е сутки. После удаления нефтепродуктов необходимо прежде всего понизить уровень грунтовых вод на огражденном стеной в грунте участке, так как он лишен естественного дренирования. Для этого можно использовать нагнетательные скважины в качестве вертикального дренажа, откачивать воду, создавая в них вакуум. Поскольку фильтр скважин расположен глубже загрязненной воды, то откачиваемая вода будет чистой. Глубина понижения уровня грунтовых вод должна быть равной 1,5...2 м, обеспечивающей проведение последующих работ.

После окончания этапа гидравлического вытеснения нефтепродуктов загрязненными остаются зона аэрации, включающая почвенный горизонт, и грунт, из которого сделаны валики.

Доочищают территорию с помощью технической и биологической рекультивации. В первый год на этапе технической рекультивации разравнивают валики, засыпают подводящий канал и сборный бассейн, проводят глубокую вспашку для проветривания и частичного освобождения грунта от летучих нефтепродуктов, возвращают из буртов снятый слой почвы, планируют, слегка уплотняют и снова проводят вспашку. На второй год на этапе биологической рекультивации вносят органические (навоз) и минеральные удобрения, проводят агротехническую обработку почвы и посев злаково-бобовой травосмеси.

Опыты показывают, что даже на загрязненной почве получают неплохие всходы; если их всхожесть недостаточна, травы подсевают. При сильном загрязнении почвы вносят специфические микроорганизмы, которые разлагают нефтепродукты. Эти микроорганизмы обеспечивают полную минерализацию углеводородов до CO_2 и H_2O . Например, бактериальный препарат «Бациспесин», полученный на основе природного почвенного штамма *Bacillus* sp. 739, за два месяца разлагает более 50 % загрязняющего вещества по отношению к необработанной нефтезагрязненной почве. Возможно применение и других бактериальных препаратов, например на основе *Ps. putida*-36, *Ps. pseudoalcaligenes* KB-4.

Для активизации почвенных процессов создают необходимый водный режим, при котором влажность почвы должна находиться в пределах 0,7...0,9 предельной полевой влагоемкости. Это достигается за счет понижения грунтовых вод и дополнительного увлажнения. Во влажные периоды, т. е. весной и после сильных дождей, грунтовые воды понижают на глубину до 1 м откачкой из имеющихся скважин. Летом в засушливые периоды проводят поливы, используя сеть трубопроводов, насосную станцию и дождевальную технику. Для участка небольшой площади применяют стационарные дальнеструйные дождевальные аппараты ДД-30, обслуживающие площадь 0,6 га каждый.

9.4.4. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПЕСТИЦИДАМИ

К пестицидам относят органические и неорганические соединения, применяемые для борьбы с вредителями и болезнями растений, сорняками, а также для ускорения созревания регенеративных органов ряда культур, убираемых машинами. В мире на 1 га в среднем вносят 300 г химических средств защиты растений.

Почвы, загрязненные остаточным количеством пестицидов, оценивают, сравнивая исходное содержание их с санитарно-гигиеническим нормативом [Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых количеств (ОДК) химических веществ в почве, 1993]. Так, для атразина ПДК составляет 0,01 мг/кг почвы, ДДТ — 0,1, линурона — 1, купроцина — 1, симазина — 0,01 мг/кг почвы.

Основная задача рекультивационных работ на почвах, загрязненных пестицидами, — активизация процессов разложения их остаточных форм. Для этого используют биодеструкторы, ориентированные на разложение определенных соединений, проводят ультрафиолетовое облучение растений и почв, вносят органические

кие и минеральные удобрения, проводят агротехнические и агро-мелиоративные мероприятия.

В качестве специальных мероприятий используют химические мелиоранты, сокращающие время полураспада пестицидов или образующие нетоксичные соединения, вносят природные и искусственные сорбенты, проводят известкование, вводят в севообороты культуры, способные усваивать отдельные соединения. Например, кукурузу, рапс и люпин применяют для очистки почв от атразина, линурона и др.

9.5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

При рекультивации важно определить наиболее эффективное направление использования нарушенных земель, обеспечивающее своевременный возврат инвестиций и устойчивое функционирование техноприродных геосистем. При этом возможны различные варианты проектов: создание сельскохозяйственных угодий, малых ГЭС, водохранилищ, полносистемных рыбоводных хозяйств, нагульно-нерестовых прудов, зон рекреации, лесопитомников, лесных массивов, садово-дачных участков и т. д.

Общественной эффективности проекта рекультивации достигают за счет повышения степени экологической безопасности проживания на рекультивируемой территории, качества производимой сельскохозяйственной продукции, снижения уровня заболеваемости населения и за счет повышения кадастровой стоимости земельных участков.

Коммерческая эффективность содержит организационно-экономический механизм реализации проекта, состав участников инвестиций, схему финансирования, затраты и доходы от рекультивации нарушенных земель. Эффективность реализации проекта зависит от вида нарушения, современного состояния и направления использования этих земель; например, затраты при создании сенокосов на низинных выработанных торфяниках окупаются в первый год после рекультивации. В некоторых случаях, особенно при строительстве линейных сооружений, капиталовложения в рекультивацию значительно меньше, чем вложения в компенсационное мелиоративное освоение новых земель. При крупных нарушениях земель проблемой финансирования проектов рекультивации становится поиск заинтересованных участников (источников), поскольку эти объекты требуют значительных инвестиций.

Согласно действующему законодательству источниками финансирования проектов рекультивации могут быть собственные и заемные средства, а также госбюджетное финансирование.

Одним из механизмов привлечения собственных средств может

быть следующий: затраты на рекультивацию при разработке месторождений полезных ископаемых и торфа относят на себестоимость продукции предприятия; при строительстве систем, зданий и сооружений — на стоимость этих объектов; при проведении геолого-разведочных, геолого-съёмочных, геодезических и других изыскательских работ — на стоимость этих работ; при эксплуатации инженерно-технических объектов — на стоимость эксплуатационных работ и т. д.

Оценивают экономическую эффективность инвестиций по методике, утвержденной для Российской Федерации (Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. — М., 2000):

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T (P_t - Z_t)(1 + E_{\text{нр}})^t > 0, \quad (9.3)$$

где ЧДД — чистый дисконтированный доход за период жизни проекта T лет, р.; P_t — результат от реализации инвестиционного проекта в году t , р.; Z_t — затраты, необходимые для осуществления мероприятий в году t (без учета амортизации), р.; $E_{\text{нр}}$ — норма дисконта в году t (относительная единица).

Применительно к инвестированию проекта рекультивации нарушенных земель формула (9.3) принимает следующий вид:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K (B_{tk} - C_{tk} - U_{\text{ш}tk} - K_{tk} + L_{\text{с}tk})(1 + E_{\text{нр}})^{-1} > 0, \quad (9.4)$$

где B_{tk} — выручка от реализации k -го вида мероприятия в году t , р.; C_{tk} — ежегодные издержки при осуществлении k -го вида мероприятия в году t (без учета амортизации), р.; $U_{\text{ш}tk}$ — ущерб, нанесенный окружающей среде при осуществлении k -го вида мероприятия в году t , руб.; K_{tk} — капитальные вложения в осуществление k -го вида мероприятия в году t , р.; $L_{\text{с}tk}$ — ликвидационная стоимость основных фондов по k -му виду мероприятий, выбывших в году t , р.

В соответствии с методическими рекомендациями чистый дисконтированный доход (9.4) определяют для двух условий: «без проекта» и «с проектом». Целесообразность инвестирования проекта рекультивации устанавливают по максимальному значению, полученному для двух расчетных условий. Состав исходных данных и порядок вычисления показателей в формуле (9.4) приведены в курсе «Экономика природопользования».

Исчисление размеров ущерба основано на положениях ст. 15 Гражданского кодекса Российской Федерации, согласно которой под убытками (ущербом) понимают расходы, которые необходимо понести для восстановления нарушенного права или поврежденного имущества, а также не полученные от нарушения права или повреждения имущества доходы.

Ущерб от загрязнения земель определяют, исходя из затрат на проведение полного объема работ по очистке загрязненных земель. Если оценить указанные затраты невозможно, размер ущерба от загрязнения земель вычисляют согласно Порядку определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами (1993) по формуле

$$P = \sum_{i=1}^n (H_c S_i K_b K_{zi} K_z K_r), \quad (9.5)$$

где P — размер платы за ущерб от загрязнения земель одним или несколькими (от 1 до n) химическими веществами, р.; H_c — норматив стоимости сельскохозяйственных земель, р/га; S_i — площадь земель, загрязненных химическим веществом i -го вида, га; K_b — коэффициент пересчета в зависимости от времени очистки загрязненных земель химическим веществом i -го вида; K_{zi} — коэффициент пересчета в зависимости от степени загрязнения земель химическим веществом i -го вида; K_z — коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории; K_r — коэффициент пересчета в зависимости от глубины загрязнения земель.

Продолжительность очистки (восстановления) загрязненных земель определяют опытно-производственным путем, а для стадии предварительной оценки — с помощью прогнозных расчетов по моделям, изложенным в главе 3. Степень загрязнения земель характеризуют пятью уровнями: допустимым, низким, средним, сильным и очень сильным. При допустимом уровне загрязнения коэффициент K_{zi} в формуле (9.5) приравнивают к нулю, тогда $P = 0$, следовательно, плату не взимают.

Размеры ущерба на восстановление загрязненных земель с полной заменой почвенно-грунтового слоя и подготовкой почвы для устройства газона рассчитывают согласно Методике исчисления размера ущерба, вызванного захламлием, загрязнением и деградацией земель на территории г. Москвы (1999):

$$3B_{\text{загр}} = 3_{\text{зам}} + 3_{\text{подг}} + 3_{\text{утил}}, \quad (9.6)$$

где $3B_{\text{загр}}$ — затраты на восстановление участка от загрязнения земель, р.; $3_{\text{зам}}$ — затраты на полную замену загрязненного почвенно-грунтового слоя, р.; $3_{\text{подг}}$ — затраты на подготовку почвы под газон, р.; $3_{\text{утил}}$ — затраты на утилизацию загрязненного почвенно-грунтового слоя, р.

Затраты на полную замену загрязненного почвенно-грунтового слоя, р.:

$$3_{\text{зам}} = (H3_{\text{срез}} K_1 + H3_{\text{погр}} K_2 + H3_{\text{выв}} K_3 + H3_{\text{зас}} K_4) SH, \quad (9.7)$$

где $H3_{\text{срез}}$, $H3_{\text{погр}}$, $H3_{\text{выв}}$ — нормативы затрат на срезку, погрузку и вывоз загряз-

ненного грунта, p/m^3 ; $HZ_{\text{зас}}$ — нормативы затрат на засыпку нового грунта, p/m^3 ; $K_1 \dots K_4$ — действующие на момент установления загрязнения коэффициенты индексации цен для нормативов затрат на соответствующие работы по ликвидации загрязненных земель; S — площадь загрязненного контура, m^2 ; H — глубина загрязнения почвенно-грунтового слоя выше нормативного уровня, m .

Затраты на подготовку почвы под газон, руб.:

$$Z_{\text{подг}} = HZ_{\text{подг}} K_5 S, \quad (9.8)$$

где $HZ_{\text{подг}}$ — норматив затрат на подготовку 20-сантиметрового слоя почвы под газон, p/m^2 ; K_5 — действующий на момент установления загрязнения коэффициент индексации цен для нормативов на подготовку территории под газон; S — площадь загрязненного контура, m^2 .

Затраты на утилизацию загрязненного почвенно-грунтового слоя, р.:

$$Z_{\text{утил}} = HZ_{\text{утил}} S H d, \quad (9.9)$$

где $HZ_{\text{утил}}$ — норматив затрат на утилизацию (расценки на утилизацию промходов), p/т ; S — площадь загрязненного контура, m^2 ; H — глубина загрязнения почвенно-грунтового слоя выше нормативного уровня, m ; d — плотность почвенно-грунтового слоя, т/м^3 .

В условиях г. Москвы при полной замене почвы, загрязненной нефтепродуктами до 500 мг/кг и на глубину 20 см, ущерб составил около 950 p/m^3 (в ценах 1999 г.).

Контрольные вопросы и задания. 1. Что такое рекультивация, какие земли в ней нуждаются? 2. Каков рекультивационный режим? 3. Расскажите о этапах рекультивации. Каковы особенности биологического этапа? 4. Что вы знаете о рекультивации земель, загрязненных нефтепродуктами? Какие существуют технологии для очистки земель? 5. Каково использование сорбентов в рекультивации земель? 6. Расскажите о рекультивации земель, загрязненных пестицидами. 7. Расскажите об оценке эффективности рекультивации.

10. ПРИРОДООХРАННОЕ ОБУСТРОЙСТВО ТЕРРИТОРИЙ

10.1. БОРЬБА С ВОДНОЙ ЭРОЗИЕЙ ЗЕМЕЛЬ И ОВРАГАМИ

Водная эрозия почв и грунтов наносит огромный ущерб природе и сельскому хозяйству. Она возникает и развивается в тех случаях, когда мощность поверхностного потока превышает силы сопротивления почв и грунтов смыву. Эти силы зависят от сцепления отдельных агрегатов почв, содержания в них солей, влажности почвы ко времени начала движения эродирующего поверхностного потока, органических примесей, степени разрыхления и многих

других факторов. Завершение прохода эродирующего потока (ливневого или снегового) сопровождается образованием на полях промоин и русл ручьев, обнажением корней трав после смыва верхнего слоя почвы на пастбищах, возникновением и развитием балок и оврагов.

Процесс водной эрозии почв, как и все процессы на Земле, совершается с затратой энергии. Различают два основных фактора, определяющих ход этого процесса. Активным фактором является энергия поверхностного потока, движущегося относительно тонким слоем по поверхности почвы или грунта. Этот поток формируется из дождевых капель или вследствие таяния снегов. Непременные условия генерирования энергии этого потока — силы гравитации и уклон поверхности почвы. Пассивным фактором является энергия сопротивления почв размыву — их противоэрозионная устойчивость. Все виды растительности, живущие на почве и получающие из нее питание, защищают последнюю от размыва.

Под действием силы тяжести дождевые, поливные или талые воды фильтруются внутрь слоя почвы, впитываются (см. разд. 7.3.2.2). По мере насыщения почвы водой начинается горизонтальная фильтрация внутри почвы, а затем, когда скорость поступления воды превышает скорость впитывания, образуется слой свободной воды на поверхности почвы и формируется ее горизонтальный поток, вызывающий смыв почвы. Движение воды начинается по микроуглублениям на поверхности почвы. Агрегаты почвы, оказавшиеся полупогруженными, взвешиваются архимедовой силой. Как только уровень воды достигает верха агрегатов, течения воды по поверхности почвы ускоряется. При этом агрегаты начинают испытывать силы лобового давления потока, а также силы, возникающие за счет образования перепада уровней при обтекании каждого из агрегатов.

Дальнейшее увеличение глубины и скоростей поверхностного потока сопровождается срывом агрегатов и сносом их потоком. При этом оказывается, что потоку труднее сорвать агрегат с места, чем транспортировать его в направлении течения. По мере сноса первых агрегатов обнажаются и становятся «поверхностными» агрегаты нижележащего слоя, которые также смываются, и процесс эрозии продолжается. Такая картина имеет место на распаханной почве.

Эрозия наблюдается, когда мощность потока $M = \gamma hvI$ (где γ — плотность воды; h — слой потока; v — скорость; I — уклон поверхности земли соответственно) превышает сопротивление почвы размыву. Следует при этом отметить, что взаимодействие этих факторов проявляется на выпуклых, плоских и вогнутых поверхностях почвы. Вогнутые и плоские склоны менее подвержены эрозии, чем выпуклые, хотя и не защищены от нее полностью.

Различают два основных вида мероприятий по защите почв и грунтов от эрозии: увеличивающие противоэрозионную устойчивость почв и уменьшающие мощность эродирующего воздействия потока воды. Эффективно сочетание этих мероприятий.

К первому виду относят организационные и агротехнические мероприятия, которые реализуются в основном на пашине, где проявляется площадная, или поверхностная, эрозия. Увеличение противоэрозионной устойчивости в этом случае достигается:

правильным использованием земель с учетом их противоэрозионной стойкости;

дифференцированным применением севооборотов с учетом эродированности почв;

правильным размещением линейных рубежей на склонах (границ полей севооборотов, рабочих участков, лесных и травяных полос, террас, водозадерживающих валов, водоотводных каналов, дорог), обеспечивающим обработку почв и посев сельскохозяйственных культур поперек склона или по горизонталям в районах водной эрозии;

обоснованным назначением глубины вспашки или заменой вспашки поверхностными способами обработки — дискованием, лущением с сохранением стерни;

лункованием, щелеванием, обработкой почв специальными веществами;

кулисными посевами и т. п.

Все перечисленные мероприятия, как правило, не требуют изъятия площадей из сельскохозяйственного использования.

Наиболее простым противоэрозионным мероприятием является посев трав и посадка кустарников, но они начинают эффективно защищать почву от эрозии после достаточного развития. Лесомелиоративные мероприятия в виде древесно-кустарниковых полос воздействуют на эродирующий поверхностный поток, уменьшая его мощность. Эти мероприятия требуют изъятия некоторой части пашни (особенно при большой длине склонов). Различают рассеивающие кустарниковые посадки, полезащитные, стокорегулирующие, прибалочные и приовражные лесные полосы; насаждения на откосах оврагов и балок; донные насаждения.

Рассеивающие кустарниковые посадки устраивают в тех случаях, когда необходимо устранить эрозию по тальвегам промоин на склонах. В этих местах посадкой кустарников создается искусственная объемная шероховатость, снижающая скорость движения поверхностного потока (7...15 саженцев на 1 м²) и рассосредоточивающая поток на большую площадь.

Полезащитные лесные полосы предотвращают ветровую эрозию почв, способствуют уменьшению вредного воздействия суховея, а также накоплению и равномерному распределению снега

на полях. Их располагают перпендикулярно преобладающему направлению наиболее опасных ветров, но при этом стремятся учитывать и опасность водной эрозии. Для этого на склонах круче 2° лесные полосы располагают поперек склона, независимо от направления ветра. Расстояние между основными лесными полосами не должно превышать: 600 м — на выщелоченных черноземах; 500 — на типичных и обыкновенных черноземах; 400 — на южных черноземах; 350 — на темно-каштановых и каштановых почвах; 300 — на песчаных почвах в степи; 200 м — на песчаных почвах в полупустыне. Перпендикулярно основным лесным полосам устраивают дополнительные, которые располагают через 2000 м на тяжелых почвах и через 1000 м на песчаных.

Стокорегулирующие полосы выполняют функции перехвата поверхностного стока дождевых и талых вод, перевода его полностью или частично во внутрипочвенный сток и предотвращения смыва почвы в межполосном пространстве. Расстояние между основными стокорегулирующими полосами несколько сокращают по сравнению с полезационными: на выщелоченных обыкновенных и южных черноземах — до 400 м; на каштановых — до 300; на склонах круче 4° расстояние уменьшают до 200 м. Для повышения противоэрозионного значения стокорегулирующих полос их сочетают с водозадерживающими валами, создаваемыми по нижнему краю лесной полосы, и канавами в последнем междурядье, а также с глубоким щелеванием междурядий. Стокорегулирующие полосы, совмещенные с простейшими гидротехническими сооружениями, могут в среднем задерживать на серых лесных и каштановых почвах слой талой воды около 15 мм, а на черноземах — до 30...35 мм.

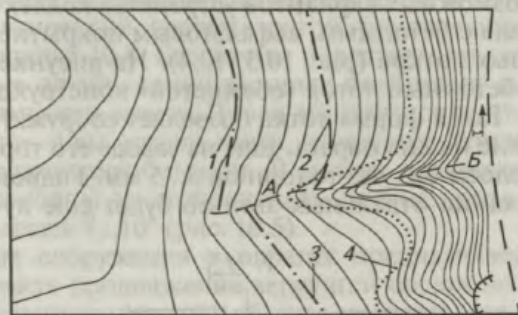
Прибалочные и приовражные лесные полосы размещают вдоль балок и оврагов как можно ближе к бровке, на расстоянии 3...5 м. Их создают для задержания снега на прилегающих склонах, поглощения стока, ослабления смыва и предупреждения размыва берегов балок и откосов оврагов. В приовражных полосах в опушенный ряд, идущий вдоль бровки, высаживают один-два ряда корнеотпрысковых кустарников, которые закрепляют откосы оврага и предохраняют их от обрушения. Наряду с кустарниками рекомендуют высаживать деревья, дающие корневые отпрыски (айлант, белую акацию), а также легкообсеменяющиеся породы (клен ясенелистный).

Лесопосадки на откосах оврагов и балок начинают, когда они сформируют свой устойчивый профиль и станут зарастать. В первую очередь посадки ведут в устье оврага, где откосы уже приобрели заложение, соответствующее углу естественного откоса, а затем начинают продвигать их к вершине.

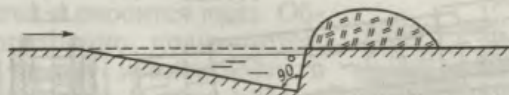
В местах сосредоточения поверхностного стока в вершинах ложин, в верховьях оврагов, при наличии перепадов, промоин лесо-

полосы неэффективны, поэтому применяют специальные гидротехнические сооружения: распылители стока, водосборные, водотоводящие, вершинные овражные, донные овражные и др.

Водосборные сооружения перехватывают склоновый сток в периоды выпадения ливней и снеготаяния (рис. 10.1). Их трассируют аналогично лесополосам, т. е. используя принцип ограничения пути движения склонового потока и его эродирующей способности. Как правило, ось водосборной канавы располагают выше прогнозируемой верхней границы эродируемой площади склона. Наблюдательный землепашец всегда знает, где располагается эта граница, и это знание эффективно может быть использовано для трассировки водосборных каналов. Последние не только перехватывают, но и отводят склоновый сток. Выполняют их с уклоном к собирателю (коллектору), который, как правило, делают в лощине, балке или овраге. Размеры и площадь поперечного сечения водосборных каналов и собирателя должны быть такими, чтобы обеспечить отвод перехваченного расхода без переполнения и без размыва. При этом следует учитывать, что расход воды по длине водосборной канавы имеет переменное значение (рис. 10.1, а). Вариант конструкции угла соединения водосборной канавы с собирателем показан на рисунке 10.2.



а



б

Рис. 10.1. Трассы (а) и поперечное сечение (б) водосборных канав:

1, 2, 3 — водоотводные канавы; 4 — граница начала посадок кустарниковой растительности;
 АБ — ось водоотводящего коллектора

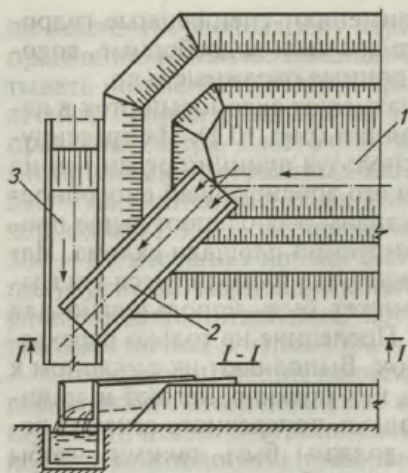


Рис. 10.2. Сочленения торца водосборной канавы с водоотводящим коллектором с помощью железобетонного лотка:

1 — водосборная канавка; 2 — железобетонный лоток; 3 — коллектор

Водоотводящие собиратели (коллекторы) предназначены для отводов воды из нескольких водосборных каналов. Обычно их располагают в четко выраженных понижениях рельефа склона. При этом дно этого понижения должно быть закреплено широкой полосой посадок кустарника или временными сооружениями (см. рис. 10.1).

Один из возможных вариантов устройства коллектора — строительство канала с бетонным, асфальтовым покрытием либо из готовых бетонных лотков (рис. 10.3, 10.4). На рисунке 10.3 показан узкий железобетонный лоток «сбежистой» конструкции с высокими стенками. Такая форма лотка позволяет сооружать коллектор в узкой промоине на дне оврага. Еще на заводе его торцевые стенки обмазывают слоем битума толщиной 3...5 мм. Гидроизоляция участков примыкания отдельных звеньев будет еще лучше и долго-

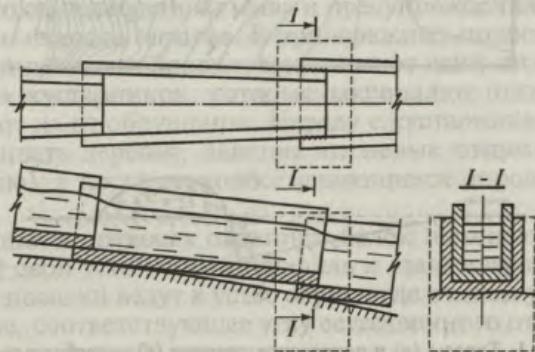


Рис. 10.3. Водоотводящий коллектор из «сбежистых» железобетонных лотков

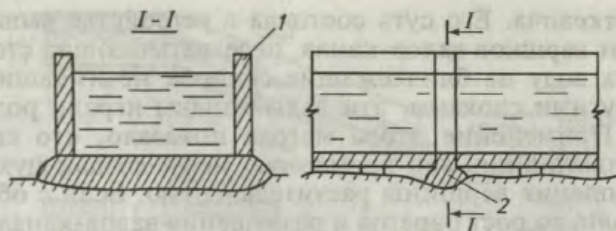


Рис. 10.4. Омоноличивание швов прямоугольных лотков водоотводящего коллектора:

1 — прямоугольный лоток; 2 — монолитный бетон

вечней, если внутреннюю сторону лотка в широком его конце оклеить полоской мешковины, предварительно погруженной в разогретый (жидкий) битум. «Сбежистость» стенок звеньев таких лотков позволяет укладывать их с поворотом в плане и в вертикальной плоскости (угол поворота $7...10^\circ$); качество стыка при этом не ухудшается, но слой битума увеличивают до $12...15$ мм или оклейку мешковиной делают в два слоя. Во избежание расстыковки звеньев лотка при их осадке и перемещениях через $20...25$ м по длине коллектора устраивают анкерные опоры из монолитного бетона. Схематический чертеж другой конструкции коллектора показан на рисунке 10.4. Его звенья представляют собой широкие прямоугольные лотки, длину которых подбирают в зависимости от грузоподъемности крана. После монтажа звеньев и установок их «дно в дно» швы между ними, имеющие ширину не менее 15 см, замоноличивают бетоном. В местах поворотов оси трассы устраивают колодцы из монолитного бетона. Угол поворота не должен превышать $7...10^\circ$ (рис. 10.5).

Вершинные сооружения в оврагах предназначены для того, чтобы остановить продвижение верхушки оврага по склону. Вершина в естественных условиях обычно представляет собой обрыв-уступ высотой $1,5...3$ м и более. При поверхностном стоке вершина обычно напоминает водопад, в подножии которого грунт интенсивно размывается и сносится вниз. Обрыв-уступ постоянно подмывается, его стенки теряют устойчивость и вновь обрушиваются. В итоге вершина постоянно «продвигается» вверх по течению, т. е. происходит регрессивная, или попятная, эрозия грунта. Долгие годы для борьбы с регрессивной эрозией применяли метод

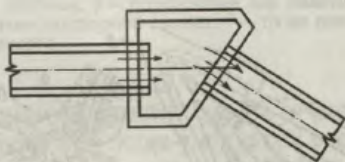


Рис. 10.5. Сопрягающий колодец при повороте оси коллектора, выполненного из лотков

В. М. Борткевича. Его суть состояла в устройстве выше вершин оврага и от вершков валов-каналов, перехватывающих сток и перепускавших воду на близлежащие склоны, не имевшие стока в овраг. Другими словами, эти валы-каналы играли роль распылителей. Применение этого метода показало, что его можно рассматривать лишь как временную меру, создающую условия для закрепления вершины растительностью. Если с облесением запаздывали, то рост оврагов и разрушения валов-каналов возобновлялись.

В качестве вершинных сооружений используют классические гидротехнические сооружения — ступенчатые перепады, консольные перепады и быстротоки (рис. 10.6...10.11). Выбор вида вершинного сооружения определяется: высотой обрыва-уступа в вершине оврага; геологическим строением основания и геотехническими характеристиками грунтов, слагающих склон и ложе оврага; глубиной залегания грунтовых вод.

Наибольшее распространение в качестве вершинных сооружений получили быстротоки (см. рис. 10.7). Конструктивно они состоят из входной части, транзитной части (лотка-быстротока), концевой части в виде водобойного колодца и рисбермы — дополнительного крепления дна оврага за водобойным колодцем, сооруженного из камней или мелких бетонных плит. Как правило, их возводят из монолитного железобетона.

Ступенчатые перепады (см. рис. 10.8 и 10.9) обычно сооружают из поперечных и продольных подпорных стен, а также горизонтальных плит. Все эти конструкции, как правило, выполняют из армированного монолитного железобетона, хотя получили распространение конструкции из бетонных или деревянных ряжей с каменной засыпкой и габионов (см. рис. 10.11).

Характерная особенность ступенчатого перепада — то, что отдельные продольные ступени можно выполнять под некоторым углом друг к другу, т. е. ось сооружения может быть изогнутой или ломаной в плане.

Консольный перепад (см. рис. 10.10) является достаточно эко-

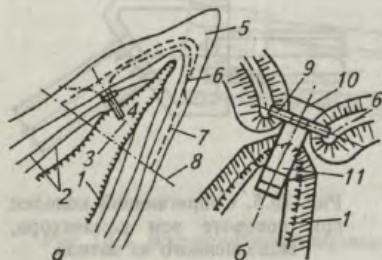
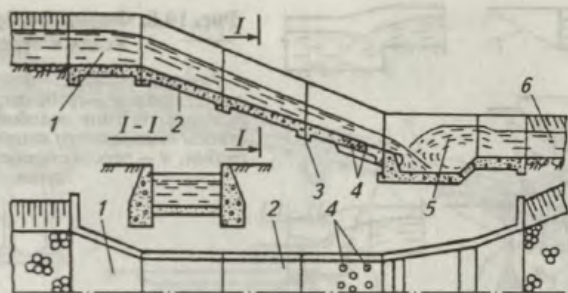
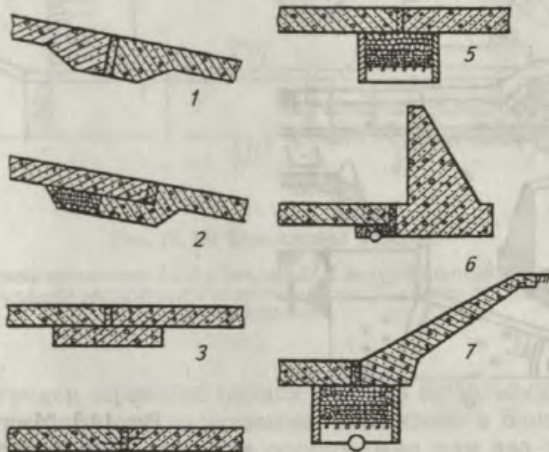


Рис. 10.6. Варианты закрепления вершин оврагов:

a — с помощью водозадерживающего вала или запруды; *б* — сопряжение быстротоком; 1 — бровка оврага; 2 — горизонтали; 3 — ось водосбросного сооружения; 4 — сопрягающее сооружение, выполненное по типу консольного сброса; 5 — тальвег; 6 — ось водозадерживающего вала; 7 — урез воды в случае наполнения пруда водой; 8 — ось запруды (второй вариант закрепления); 9 — диафрагма сбросного сооружения; 10 — понур; 11 — быстроток



a



б

Рис. 10.7. Быстроток:

a — схема: 1 — входная часть; 2 — лоток (транзитная часть); 3 — шов; 4 — отверстие в плитах; 5 — водобойный колодец; 6 — выходная часть; 6 — деформационные швы лотка; 1 и 2 — поперечные для больших уклонов; 3 и 4 — то же для малых уклонов; 5 — поперечный для малого уклона с обратным фильтром; 6 — продольный при наличии подпорной стенки; 7 — то же при наклонной облицовке откосов

номным и, при соблюдении определенных условий, достаточно надежным сооружением. Особое внимание при этом уделяется его концевой части, вслед за которой формируется воронка размыва. Проектировать крепление дна в районе концевой части необходимо тщательно, чтобы не допускать возникновения глубокой воронки или подмыва опор консоли.

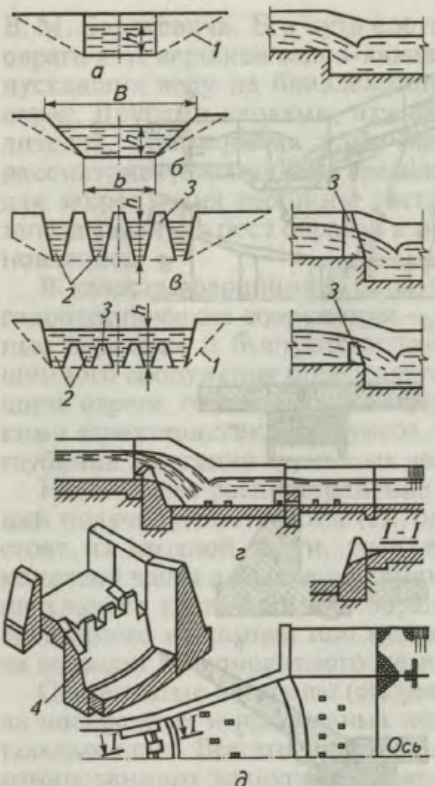


Рис. 10.8. Формы поперечных сечений входа в перепад:

a — прямоугольная; *б* — трапецидальная; *в* — щелевая; *г* — гребенчатая; *д* — выход из перепادا по типу водобойной стенки; 1 — откосы подводящего канала; 2 — щели; 3 — гребни; 4 — перспективный вид стенки падения

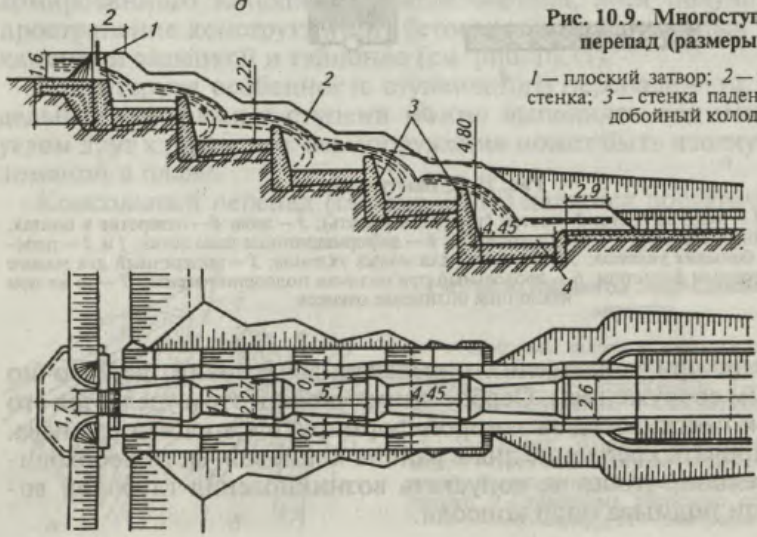


Рис. 10.9. Многоступенчатый перепад (размеры в м):

1 — плоский затвор; 2 — продольная стенка; 3 — стенка падения; 4 — водобойный колодец

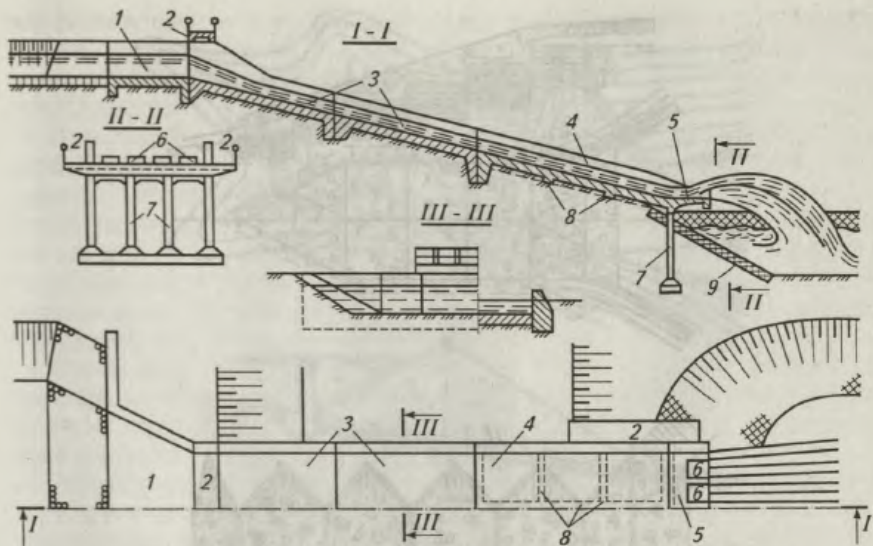


Рис. 10.10. Консольный перепад:

1 — вход; 2 — служебный мостик; 3 и 4 — бетонный и железобетонный лотки быстротока; 5 — консоль; 6 — трамплины-расщелины; 7 — рамная опора; 8 — балки жесткости; 9 — габионное крепление

В ряде случаев заросшие овраги (балки) используют для создания прудов различного назначения. Для этого в балках возводят перегораживающие подпорные сооружения или два-три вершинных сооружения при многоотвершковом овраге. Необходимость в подпорных сооружениях может также возникнуть в тех случаях, когда овраг предполагают использовать для создания наносохранилища или как емкость для ссыпания в нее отвалов грунта или шахтной пустой породы.

Обычно в составе подпорных узлов сооружений в оврагах необходимо предусматривать два водопропускных сооружения — водосброс и водовыпуск (рис. 10.12).

Для предупреждения разрастания оврагов их необходимо крепить не только в вершине, но и по длине и ширине, а также по их дну. Крепление сводится к уположению дна оврага и к снижению скорости потока. Для этого либо устраивают закрепленные ступени, либо создают в ложе оврага повышенное гидравлическое сопротивление посадкой на его дне и склонах трав и кустарников. В зависимости от принятой конструкции и используемых материалов принимают соответствующее значение подпора Δz (рис. 10.13, а).

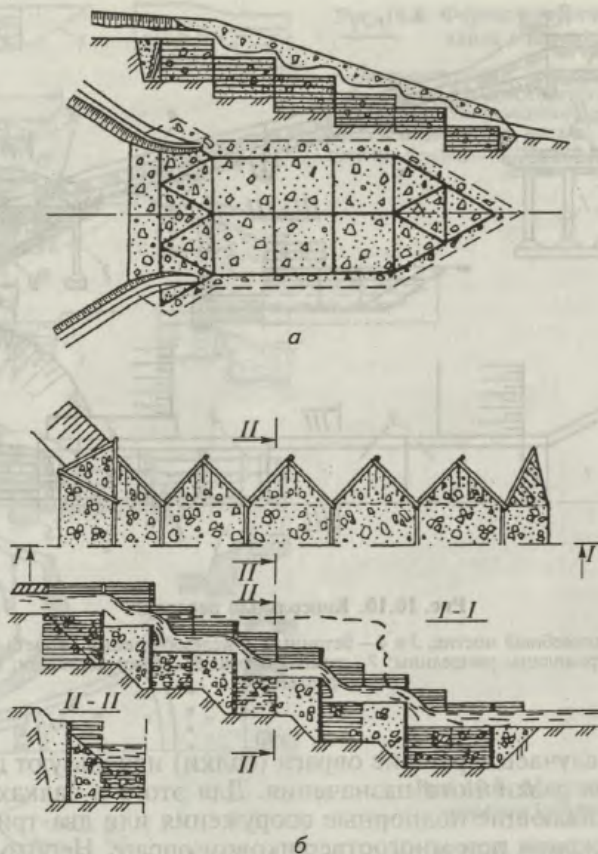


Рис. 10.11. Ступенчатый перепад:

a — из рязей с каменной засыпкой; *б* — из рязевых подпорных стенок

Влияние этого подпора определяют, вычисляя значения длины распространения подпертого уровня $L = \Delta z / I_0$, где I_0 — уклон дна оврага. При защите дна оврага от размыва крутые склоны будут продолжать разрушаться (чередование смачивания, высыхания, замерзания) и уползавиться. Материал от разрушения склонов будет осыпаться на дно, и перед запрудой формируется дно с обратным уклоном, поэтому рекомендуют принимать расстояние между запрудами $L = 1,8\Delta z / I_0$.

Постоянные запруды (рис. 10.13, б) делают бетонными, железобетонными и из каменной кладки. Основным элементом их — диафраг-

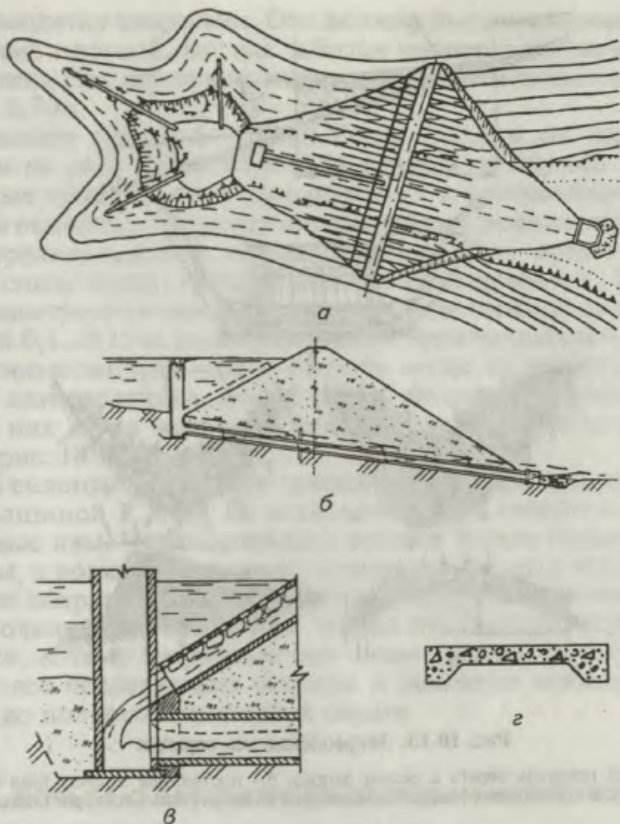


Рис. 10.12. Вершинное подпорное сооружение:

a — план; *б* — разрез по оси; *в* — узел сочленения башни с водоприемной галереей и отводящей трубой; *г* — железобетонная балка-шандора

рагма, врезаемая в склоны, благодаря чему конструкция работает как пространственная. Со стороны верхнего бьефа устраивают пунур (из мятой глины), водосбросное отверстие в диафрагме делают для ограничения ширины потока. В нижнем бьефе у запруды русло крепят, обеспечивая гашение энергии сбрасываемого потока. Расстояние между запрудами должно после заиления зон подпора превратить дно оврага в ряд ступеней с допустимым уклоном.

Строительство постоянных овражных сооружений осуществляют с помощью традиционных строительных материалов в преде-

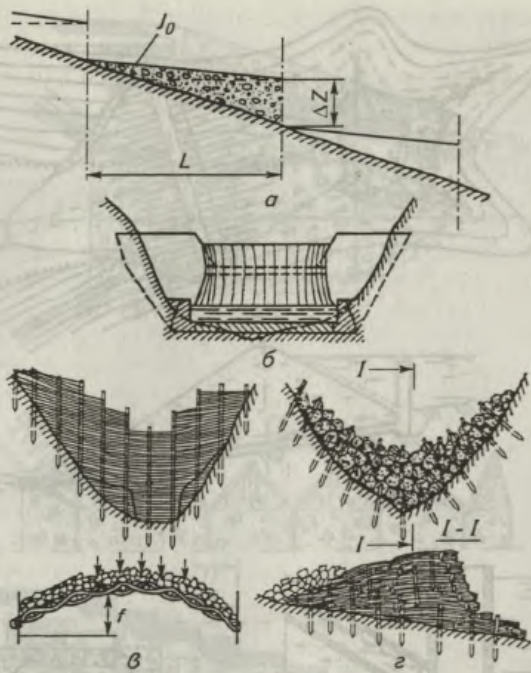


Рис. 10.13. Закрепление дна оврагов:

a — продольный профиль оврага с осями заград; *б* — постоянная заграда (вид со стороны нижнего бьефа); *в* — плетневая заграда; *г* — заграда из хворостяных или тростниковых фашин

лах городов и других обжитых зон, а также в особо ответственных случаях. Широкого применения заслуживает биологическое крепление дна и склонов оврага — обсадка его черенками или саженцами многоствольных кустарников или посев крупнотыбельных трав. Но при разрушении склонов и дна оврага посадки и посевы почти не приживаются, поэтому их надо проводить через 1...1,5 года после закрепления дна временными конструкциями. Они также создают на дне ступени с сосредоточенным падением и уменьшают уклон дна до прекращения эрозионных процессов.

Одиночная плетневая заграда показана на рисунке 10.13, *в*. Ее делают из колец диаметром 50...80 мм и подвяленного хвороста (диаметром в отрубе 20...30 мм). В намеченном створе кольца забивают по криволинейной оси со стрелкой прогиба *f*, равной 1/4...1/5 ширины оврага. В зависимости от высоты плетневой заграды и прочности кольца забивают через 150...300 мм. Затем вы-

полняют заплетку хворостом. Она должна быть водопроницаемой, т. е. не очень плотной, так как забитая мусором плетневая стенка будет свалена под действием гидростатического давления при напоре 0,6...0,7 м.

При высоте плетеных стенок более 0,8...1 м их надо делать двойными на расстоянии (0,6...0,8) Δz одна от другой. При этом продольные стенки плетут одновременно с поперечными, скрепляющими основными. По верху стенок делают понижение для фиксации переливающегося потока в плане. Для предотвращения подмыва снизу перед передней стенкой на ширине 0,3...0,4 м с наклоном навстречу течению укладывают и уплотняют слой соломы толщиной 0,1...0,15 м, солому засыпают грунтом слоем 0,15...0,2 м.

Временные запруды можно сделать также из легких фашин из хвороста или тростника. Лучше делать фашины однокомлевыми, тогда из них легко можно устроить запруды по типу стланевых плотин (рис. 10.13, з).

Дно и склоны обсаживают черенками кустарников из местных пород толщиной 3...5 см. Во влажных оврагах следует сажать кустарниковые ивы. Через несколько лет дно оврага становится ступенчатым, а временные запруды сгнивают; для того чтобы по возможности сохранить ступени в створах запруд, надо сажать деревья, выполняющие роль кольев. Не все посаженные черенки приживаются, к тому же первый год может оказаться засушливым, поэтому все последующие осенние и весенние сезоны проводят посадку до полного закрепления оврага.

10.2. БОРЬБА С ЗАТОПЛЕНИЕМ ЗЕМЕЛЬ И НАВОДНЕНИЯМИ

Под затоплением понимают любое естественное или искусственное покрытие обычно свободного участка поверхности земли слоем воды. Наводнением считают затопление, приводящее к значительному ущербу природе, человеку, инженерным сооружениям, посевам и т. п. Наводнение — стихийное бедствие, последствия от которого зависят как от времени, продолжительности и глубины затопления, так и от освоенности прибрежных территорий, уровня их социально-экономического развития, своевременности выполнения прогнозов, эвакуаций и т. п. Отличительная черта наводнений — наличие затопления и ущерба.

Затопление в отличие от наводнения может быть не опасным, например, когда природа к нему «привыкла». Периодические разливы рек образуют поймы и дельты, являющиеся в естественных условиях средой обитания разнообразной флоры и фауны, в них формируются плодородные аллювиальные почвы, являющиеся ценными кормовыми угодьями, порой единственными в засушли-

вых районах. Приливы и отливы — нормальные явления для морских побережий. Мусонные дожди в Юго-Восточной Азии дают возможность выращивать рис на глинистых почвах даже на возвышенностях. Человек давно освоил регулируемое искусственное затопление поверхности полей как простой способ их увлажнения: рисовые плантации, лиманное орошение. Промывку засоленных земель осуществляют с помощью затопления и строительства дренажа. На пойдерных системах в поймах рек допускают контролируемое затопление сельскохозяйственных земель весной для газарядки почв, обогащения их ценным наилком.

Краткосрочное вредное затопление сельскохозяйственных земель на повышенных местах ликвидируют с помощью осушительных мелиораций. Поймы рек обваловывают, русла прочищают, строят пойдерные мелиоративные системы. Это обычная практика осушения сельскохозяйственных земель.

Гораздо большую опасность представляют наводнения. Они происходят по разным природным причинам и в различные периоды:

- открытого русла из-за значительного притока талых (весеннее половодье), дождевых или тало-дождевых вод (весенне-летнее половодье на больших реках Восточной Сибири, смешанные паводки на горных реках);

- стесненного русла из-за заторов или зажоров льда (заторы льда — нагромождение льдин во время ледохода в сужениях и излучинах русла реки, на мелях и в других местах, где проход льдин затруднен, из-за этого уровень воды резко повышается, иногда на несколько метров, большие заторы наблюдаются весной на крупных реках, текущих с юга на север; зажор — скопление масс внутриводного льда и шуги в русле реки в период осеннего ледохода и в начале ледостава);

- из-за переформирования русл больших рек (размывы, блуждающие русла, образование отмелей);

- из-за возникновения селей на малых реках и в сухих логах, т. е. грязекаменных потоков (до 75 % расхода потока);

- вследствие завалов в руслах небольших горных рек из-за схода оползней, снежных лавин, «странствующих» ледников, из-за прорыва горных озер;

- в лесной зоне после обильных дождей из-за завалов из стволов подмытых деревьев и лесного мусора;

- в устьях рек и на низких морских побережьях из-за нагона воды в виде длинных волн (цунами), ветровых нагонов (например, в устье Невы), сейшей, т. е. стоячих волн большого периода, возникающих в более или менее замкнутых водоемах (морях, озерах, заливах) в результате интерференции волн, образовавшихся под действием резкого изменения атмосферного давления, ветра, сейсмических явле-

ний, и волн, отраженных от берегов водоема (в Азовском море наблюдают сейши с периодом до 23 ч и амплитудой 10...25 см, а в Жевневском озере — с периодом 1 ч и амплитудой до 2 м).

Наводнения могут иметь техногенный характер: при прорыве плотин — самые катастрофические наводнения; при больших сбросах воды из водохранилищ; при прорыве дам обвалования; в городах — при сильных дождях и плохой работе водостоков.

Продолжительность наводнений зависит от природы их формирования, климатических условий, размеров и характеристик водосборного бассейна, от размера и формы русл. Они могут быть кратковременными — от нескольких часов до нескольких дней, наблюдаются на малых реках с водосбором менее 2000 км²; длительными (от нескольких недель до нескольких месяцев) — на средних и крупных реках, особенно текущих с юга на север, и в местностях с муссонным климатом; многолетними — при тектонических явлениях, землетрясениях (завальные наводнения). Степень опасности наводнений приведена в таблице 10.1.

10.1. Степень опасности наводнений

Наводнение	Продолжительность, сут	Вероятность превышения максимальных расходов, %	Затопленная площадь, %
Катастрофическое	>7	<5	>50
Опасное	3...7	6...10	25...50
Высокое	1...3	11...25	10...25
Незначительное	<1	26...40	<10

В XX в. во всех странах мира в мероприятия по защите территорий от наводнений вложены огромные средства. Казалось, еще немного — и эта проблема, по крайней мере в развитых странах, будет решена. Однако этого не произошло. Более того, ущербы от наводнений продолжают повсеместно расти. Это объясняется тем, что для организации эффективной системы защиты необходим глубокий анализ не только причин затопления местности, но и причин роста ущербов вследствие усиливающего воздействия человека на окружающую природную среду. Они обусловлены глобальным или локальным антропогенным воздействием на окружающую среду, ростом среднесуточных расходов паводков и половодий, прохождением максимальных расходов при более высоких уровнях воды, интенсификацией русловых процессов.

Антропогенные воздействия на водосбор приводят к изменению факторов формирования стока: уменьшению слоя аккумулируемой воды на поверхности бассейна, замедлению инфильтрации воды в почву, сокращению времени добегания поверхностного стока до постоянной гидрографической сети и др. Все это сни-

жает паводкорегулирующую способность водосборов, что проявляется в изменении режима рек. Наиболее неблагоприятное воздействие оказывают сведение лесов, переуплотнение почв при сельскохозяйственном использовании, урбанизация территорий, отдельные виды осушительных мелиораций и т. д.

Повышение уровней воды по сравнению с естественными нередко наблюдается при стеснении речных русел оградительными дамбами, насыпями дорог и мостами, при засыпке старичных проток, увеличении шероховатости русл и пойм вследствие их зарастания, засорения, обмеления.

Наводнения также возникают из-за разрушения объектов, находящихся вблизи береговой полосы, и стеснения русла из-за строительства мостов, трубопроводов, плотин, русловыправительных сооружений, карьеров в русле реки.

Значительную потенциальную опасность представляют глобальное потепление как результат «парникового эффекта» и связанный с ним рост температур и количества осадков в некоторых районах, усиливающий паводковый сток. По мнению ряда экспертов, катастрофические наводнения 1996 г. в Китае во многом объясняются именно этой причиной.

Причина роста ущербов от наводнений — все более широкое вовлечение в хозяйственный оборот приречных, пойменных территорий. Объективно освоение речных долин требует меньших капиталовложений, что обусловлено удобством создания транспортных и инженерных коммуникаций, легким составом грунтов, более высоким плодородием земель.

Статистика свидетельствует о более частой повторяемости катастрофических наводнений в регионах позднего освоения. Например, в Сибири и на Дальнем Востоке, где у населения отсутствует многовековой опыт приспособления к гидрологическому режиму рек, ущерб причиняют даже паводки 20...30%-й обеспеченности.

Площадь территорий, подверженных наводнениям, на земном шаре составляет около 3 млн км². На этих территориях проживает не менее 1 млрд чел. За последние годы наибольшее число наводнений отмечалось в Азии (от 39 до 43 %).

В современной России наводнения угрожают нескольким десяткам городов и тысячам поселков и сельских населенных пунктов. На Урале — это Орск, Златоуст, в Западной Сибири — Омск, Тюмень, Тобольск, Кемерово. Наводнения на реках Дальнего Востока порой являются национальным бедствием. Суммарную площадь земель, периодически затопливаемых речными и озерными водами, оценивают в нашей стране более чем в 500 000 км², или около 4 % всей ее территории.

Долгое время мероприятия по предупреждению наводнений

осуществляли, как правило, изолированно для одиночных населенных пунктов и территорий. Необходимы комплексные мероприятия, обеспечивающие сохранение природной среды и повышение экологического и социально-экономического потенциала больших территорий:

адаптационные и компенсационные мероприятия:

перенос населенных пунктов из зон затопления;

реконструкция авто- и железнодорожных путей, расположенных в речных долинах, с заменой земляных насыпей эстакадами;

совершенствование системы земледелия, повышение плодородия почв и интенсификация сельскохозяйственного производства;

трансформация сельскохозяйственных угодий (замена пашни на сенокосы и луга) или вынос их из зон затопления;

ограничение рубок главного пользования и сплошных рубок леса, а также лесовосстановление на водоразделах;

применение локальных систем очистки питьевой воды;

защитные мероприятия:

локальная защита городов, промышленных объектов, поселков и крупных сельских населенных пунктов, включая системы водоснабжения и водоотведения в них, важных рекреационных объектов, а также сооружений транспорта и связи с учетом их расположения, гидрогеологических и других условий;

локальная защита наиболее ценных сельскохозяйственных угодий в районах, обеспеченных трудовыми ресурсами; на реках, имеющих рыбохозяйственное значение, строительство защитных дамб должно быть исключено или сведено к минимуму;

мелиорация сельскохозяйственных угодий, совершенствование системы земледелия и интенсификация сельскохозяйственного производства на защищаемых землях;

регулирование стока и улучшение качества водных ресурсов путем создания водохранилищ, в том числе для водоснабжения населения, включающие создание и реконструкцию систем канализации, очистных сооружений, реконструкцию хвостохранилищ горнорудных и промышленных предприятий;

уход за малыми реками: очистка от мусора, старых запруд и т. п.

Разработке конкретных мероприятий должно предшествовать эколого-экономическое и гидрологическое обоснование расчетных расходов уровней воды в реках на базе надежных материалов наблюдений. Наиболее распространенные защитные мероприя-

тия: устройство дамб обвалования в районах пониженных участков речных пойм или всей поймы; спрямление извилин и меандр речных русл для повышения их пропускной способности; расчистка речных русл для повышения их пропускной способности; уменьшение расхода в обвалованном русле путем отвода части расхода по дополнительно построенным каналам (бифуркация русла). Радикальный способ защиты от наводнения — регулирование стока водохранилищами. Паводковые расходы при этом уменьшают, перераспределяя сток во времени.

Обвалование территорий — основная мера защиты от постоянного или временного (при наводнениях) затопления. Применяют две схемы обвалования: общую и по участкам.

При *общем обваловании* устраивают одну дамбу, защищающую всю территорию от реки или водохранилища. Эту схему применяют при отсутствии на защищаемой территории водотоков, а также при наличии небольших водотоков, когда целесообразно принудительно перекачивать их сток через дамбу в водохранилище. Достоинство схемы общего обвалования — меньшая суммарная протяженность дамб обвалования.

Обвалование по участкам применяют на территориях, пересекаемых большими оврагами или притоками с большим расходом воды, перекачка которой нецелесообразна.

Для защиты от затопления городских и промышленных территорий применяют только незатопляемые дамбы, исключаящие перелив воды через их гребень.

При обваловании территорий оградительные дамбы работают в условиях, близких к условиям работы земляных плотин малого и среднего напора, поэтому проектируют и строят их, соблюдая нормы и технические условия на эти сооружения. Ширину дамб по гребню назначают не менее 4,5 м с учетом наличия проезжей дороги на гребне, которая служит для наблюдения за дамбой и проведения ремонтных работ в процессе эксплуатации. Заложение откосов дамб при напоре до 3 м принимают с учетом свойств грунтов тела дамб по таблице 10.2.

10.2. Коэффициенты заложения откосов

Грунт	Верхового	Низового
Глинистый	1,5...2,5	1,5...2,5
Песчаный	2...3	1,5...3
Торфяной	2,5...3	2...2,5

Откосы дамб от разрушающего воздействия волнобоя, льда, дождя защищают, укрепляя защитной одеждой. Для верхового откоса используют железобетонные покрытия или покрытия в виде каменной наброски. Низовой откос во многих случаях одерновывают.

Превышение гребня дамб обвалования над расчетным уровнем воды водных объектов необходимо определять в зависимости от класса капитальности защитных сооружений, которые назначают, как правило, не ниже классов защищаемых объектов в зависимости от их хозяйственной значимости. Все постоянные гидротехнические сооружения по капитальности разбиты на четыре класса. Класс основных гидротехнических сооружений водоподпорного типа принимают в соответствии со СНиП 33-01—2003 по наивысшему его значению. Если разрушение основного сооружения может вызвать катастрофу для городов, крупных промышленных предприятий, гидроузлов, транспортных магистралей, класс сооружения при надлежащем обосновании допускается повышать.

При проектировании постоянных речных гидротехнических сооружений, в том числе дамб обвалования, расчетные максимальные расходы воды в соответствии со СНиП 33-01—2003 принимают, исходя из ежегодной вероятности превышения (обеспеченности), устанавливаемой в зависимости от класса сооружений для двух расчетных случаев — основного и поверочного (табл. 10.3). При этом расчетные гидрологические характеристики определяют по СП33-101.

Пропуск расчетного расхода воды для основного расчетного случая должен обеспечиваться при нормальных условиях эксплуатации, а для поверочного расчетного случая — при чрезвычайных условиях эксплуатации (при допустимых уровнях воды). При этом, учитывая кратковременность прохождения пика паводка, допускают размывы, меньшую устойчивость креплений и другие последствия, не угрожающие разрушением основных сооружений и которые можно устранить после пропуска паводка.

10.3. Ежегодная вероятность превышения расчетных максимальных расходов воды в зависимости от класса сооружений

Расчетный случай	Класс сооружений			
	1-й	2-й	3-й	4-й
Основной	0,1	1	3	5
Поверочный	0,01	0,1	0,5	1

Превышение гребня дамбы, m , над расчетным уровнем воды вычисляют по формуле

$$h = h_n + \Delta h + a, \quad (10.1)$$

где h_n — высота наката ветровых волн расчетной обеспеченности на откос, m ; Δh — ветровой нагон, m ; a — конструктивный запас, m .

Высота наката волны на откос, м:

$$h_{\text{н}} = 3,2K_0C \operatorname{tg}\alpha, \quad (10.2)$$

где K_0 — эмпирический коэффициент, зависящий от типа крепления откоса (для каменной наброски $K_0 = 0,775$, для грунтового откоса $K_0 = 1$); C — расчетная высота волны (м):

$$C = 0,0208v_3^{5/4}L^{1/3}, \quad (10.3)$$

здесь v_3 — расчетная скорость ветра, м/с; L — длина разгона волны, км; α — угол наклона откоса к горизонту, $\operatorname{tg} \alpha = 1/m$ (m — коэффициент заложения откоса).

При проектировании обвалования русла и установлении ширины между дамбами b (рис. 10.14) следует обеспечивать:

неразмывающую скорость для русла и тела дамб;

устойчивость откосов береговой полосы между рекой и дамбой против оползания;

устойчивость против фильтрационных деформаций дамб и их оснований;

экономичность выбора b и подпора уровня против бытового уровня высоких вод.

Сильное уменьшение b вызовет увеличение подпора, стоимости дамбы вследствие повышения их высоты и необходимости крепления откосов из-за возрастания скорости течения, стоимости их эксплуатации, но зато увеличит площадь защищенной поймы.

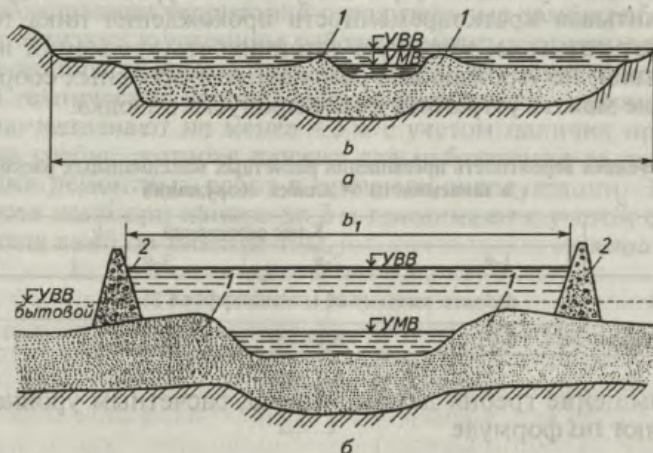


Рис. 10.14. Поперечное сечение речного русла:

a — необвалованного; b — обвалованного; 1 — прирусловые валы; 2 — дамба обвалования; УВВ — уровень высоких вод; УМВ — уровень меженных вод

Для ориентировочных расчетов ширины обвалованного русла и средней глубины воды в нем гидравлические уклоны естественного и обвалованного русел можно считать равными; тогда расход воды при гидравлическом радиусе широкого русла, равном глубине потока:

$$Q = bhC\sqrt{ih} = b_1h_1C_1\sqrt{i_1h_1}, \quad (10.4)$$

где b, h, C — ширина, средняя глубина и коэффициент Шези для естественного русла; i — уклон русла; b_1, h_1, C_1 — то же для обвалованного русла.

Тогда средняя глубина обвалованного русла

$$h_1 = h \left(\frac{bC}{b_1C_1} \right)^{2/3}. \quad (10.5)$$

При устройстве затопляемых дамб на поймах небольших рек высоту их назначают такой, при которой песчаные наносы не должны попадать на пойму; при незатопляемых дамбах в них устраивают водовыпуски как для увлажнения поймы, так и для спуска с нее воды.

Обвалованная река, как отмечал Е. А. Замарин, вследствие увеличенных скоростей течения в ограниченном валами русле и больших глубин обладает повышенной транспортирующей способностью в сравнении с рекой, протекающей в естественных условиях (необвалованной), но недостаточной для транзита всех наносов; поэтому часть их все же оседает и повышает отметки дна. Это повышение иногда идет даже быстрее, чем в естественных условиях, так как количество осаждаемых наносов распределяется на значительно меньшем пространстве, чем до обвалования. Следовательно, высоту валов периодически следует наращивать.

Ускорения стока и снижения уровня паводка достигают, спрямляя русло по плавным кривым; спрямляющие каналы-прорези располагают по направлению течения паводковых вод. Уклон в канале-прорези будет больше из-за меньшей длины, поэтому увеличится скорость течения в нем и уменьшится глубина потока. Предположив, что при спрямлении коэффициент Шези C не изменяется, получаем соотношение для глубин и уклонов $h_1/h = (i/i_1)^{1/3}$, а для скоростей и уклонов $v_1/v = (i_1/i)^{1/3}$ (здесь индекс 1 соответствует спрямленному руслу). Например, при замене извилины реки на канал-прорезь уклон i увеличится примерно в 2 раза и при той же шероховатости русла и его ширине глубина потока h уменьшится в $2^{-1/3} = 0,79$ раза, а скорость v возрастет в $2^{1/3} = 1,26$ раза, расход не изменится. Несмотря на кажущуюся просто-

ту, это мероприятие экологически опасно, так как русло смещается в пойме, иногда заходит на надпойменную террасу, разрушаются установившиеся связи между элементами поймы: прирусловой, центральной, притеррасной, нарушаются пути сообщения между населенными пунктами, пойма местами переосушается, а местами заболачивается. Надо также иметь в виду, что в результате «старения» река меандрирует, уклон в ней уменьшается и в каждый момент времени она находится в некотором равновесном состоянии, спрямление на отдельном участке выводит русло реки из равновесия и спустя некоторое время она восстановит свою извилистость.

Инженерные мероприятия, направленные на предупреждение затопления земель в паводок, осуществляемые без должного эколого-экономического обоснования, приводят к росту не только экологического, но и экономического ущерба. Это обусловлено несколькими причинами:

инженерные сооружения (особенно дамбы) создают у собственников иллюзию надежной защиты и провоцируют быстрый рост стоимости объектов собственности на «защищенных» от затопления территориях. В то же время защитные сооружения всегда имеют определенный класс надежности и поэтому не исключают периодического затопления местности при прохождении катастрофических паводков. Ущерб в таких случаях оказывается значительно больше, чем при аналогичных условиях до строительства сооружений инженерной защиты;

существующая практика экономического обоснования мероприятий по предупреждению затопления земель способствует тому, что для достижения нормативной экономической эффективности во многих проектах к предотвращаемому ущербу относят «ущерб от нерационального использования пойменных земель» — дополнительный чистый доход, который может быть получен с пойменных территорий при устранении опасности их затопления. Реализация таких проектов предусматривает хозяйственное развитие защищаемой территории и сопровождается ростом стоимости объектов собственности, что в свою очередь приводит к увеличению потенциальных ущербов;

отсечение пойменных массивов дамбами обвалования провоцирует повышение максимальных уровней, а следовательно, и площади затопления на других участках (выше по течению — в результате образования подпора, ниже — из-за уменьшения емкости поймы, регулировавшей максимальный сток);

повышение пропускной способности речных русел за счет их расчистки и регулирования вызывает увеличение максимальных расходов на нижележащих участках в месте перелома продольного профиля русла, в междамбовом пространстве аккумулируются

значительные объемы наносов, что ведет к подъему дна русла относительно прилегающих территорий и к возрастанию площадей, подверженных угрозе затопления при прорыве дамб.

Ущерб окружающей природной среде от инженерных мероприятий по предупреждению затопления земель обусловлен воздействием возводимых сооружений на речные и пойменные экосистемы. Отсутствие естественной влагозарядки и прекращение поступления питательных веществ с наилком вызывают изменение почвенных процессов и могут привести к деградации земель. Из-за уменьшения площадей затопления поймы в половодье сокращаются нерестовые площади, ухудшаются условия нагула рыб, что отрицательно сказывается на рыбопродуктивности рек. Регулирование русл, вызывающее понижение уровня грунтовых вод, влияет на условия существования и продуктивность фитоценозов и может привести к осуходоливанию пойм.

Для борьбы с затоплением и наводнениями применяют агролесомелиоративные мероприятия: посадку лесозащитных полос, распашку земли поперек склонов, сохранение прибрежных водохранилищ полос древесной и кустарниковой растительности, террасирование склонов; регулируют приточность к реке, устраивая пруды, запаны, копаны и другие емкости в логах, балках и оврагах для перехвата талых и дождевых вод; строят противоселевые сооружения: селехранилища, селедуки, каскад водопроницаемых запруд. При застройке новых территорий иногда идут на подъем отметок поверхности путем отсыпки грунта. Однако этот прием редко экономически оправдан, так как стоимость этих работ будет в два-три раза больше стоимости строительства защитных дамб.

10.3. БОРЬБА С РАЗМЫВАМИ БЕРЕГОВ РЕК, ВОДОХРАНИЛИЩ И МОРЕЙ

Берега рек, водохранилищ и морей подвергаются интенсивной абразии, т. е. разрушению под воздействием волн и течения. Различают три вида абразии — механическую, термическую и химическую. Механическая абразия проявляется при диссипации энергии волн как на береговом откосе или склоне, так и на грани гидротехнического сооружения, защищающего берег. Процессы термической абразии обусловлены совместным механическим и тепловым воздействием пресной или соленой воды на берега и дно водоемов, расположенных в высоких широтах и сложенных многолетнемерзлыми рыхлыми породами. Химическая абразия возникает при выщелачивании и суффозии легкорастворимых, например известковых, пород и характерна преимущественно для побережий аридной (засушливой) зоны.

Механическая абразия берегов и откосов гидротехнических сооружений приводит к образованию форм абразионной морфоскульптуры (клифов, бенчей, уступов размыва и т. п.) и заканчивается образованием абразионного профиля равновесия. При накате волн на берег, сложенный мягкими грунтами, его склон разрушается, а частички разрушенного грунта сносятся скатывающимся потоком в формирующийся подводный откос (рис. 10.15). Береговой склон разрушается до тех пор, пока в зоне наката и ската волн не сформируется пологий, с заложением $1 : 10 \dots 1 : 30$, волноустойчивый так называемый пляжный откос. Однако, сформировав последний, волна начинает вновь подмывать крутой склон, который снова трансформируется в неустойчивый откос, обрушающийся со временем, и процесс переработки берегового склона волнами возобновляется.

Эта схема разрушения берега волнами осложняется двумя обстоятельствами. Во-первых, направление волнового воздействия на берег переменено во времени. Оно зависит от направления действия ветра. При косом накате волн даже на сформированный пляжный откос поступательно-возвратное движение частиц по берегу будет также происходить под некоторым углом. Следовательно, сложившийся устойчивый пляжный откос при одном направлении движения волн начнет деформироваться при смене этого направления, т. е. в зависимости от продолжительности действия волн в том или ином направлении будет отмечаться вдольбереговое движение частиц смытого грунта, вызывающее нарушение установленного равновесия на пляже.

Во-вторых, как в водохранилищах, так и на морях существуют установившиеся вдольбереговые течения независимо от направления ветра. Эти течения перемещают вдоль берега как взвешенные, так и донные наносы, нарушая тем самым складывающееся равновесие на пляже от действия волн.

В естественных условиях процесс переработки береговых склонов растягивается на долгие годы, вначале идет быстро, затем за-

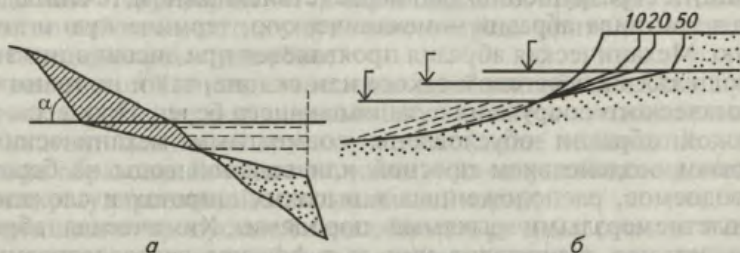


Рис. 10.15. Схема переформирования берегового склона:

а — общий вид обрушения берега; б — схема переработки берега, по Е. Г. Качугину

тухает, но не останавливается. Это отчетливо подтверждается наблюдениями за переработкой берегов на многих водохранилищах. Особенно значительная переработка берегов происходит на Цимлянском, Новосибирском, Рыбинском водохранилищах, построенных на равнинных реках, и затухания пока не обнаружено.

Способ защиты берега от разрушения волнами выбирают после прогноза параметров волн: высоты волны h , ее длины λ , скорости перемещения v и периода t . По мере подхода волны к берегу в связи с изменением профиля дна она трансформируется. Поэтому в зависимости от глубины H прибрежную часть водоема принято делить на четыре зоны (рис. 10.16):

глубоководную ($H > 0,5\lambda$), в пределах которой дно не влияет на основные характеристики волн;

мелководную ($0,5\lambda > H > H_{кр}$), где дно уже оказывает определенное влияние на характеристики волн: их длина уменьшается, высота изменяется, имеет место рефракция, т. е. разворот фронта волны параллельно береговой линии; глубину $H_{кр}$, при которой происходит опрокидывание гребня волны, называют критической;

прибойную ($H_{пр} < H_{кр}$), здесь наблюдается интенсивное взаимодействие волн и дна, высота и длина волны постоянно уменьшаются, сама волна приобретает резко поступательное движение; $H_{пр}$ — глубина, при которой происходит последнее разрушение волны;

приурезовую ($H_{пу} < H_{пр}$), в пределах которой волны накатываются на берег и скатываются обратно.

Расчетные уровни воды и характеристики ветра определяют по результатам статистической обработки данных многолетних наблюдений за безледные периоды. Параметры волн, в том числе и высоту наката на откос, рассчитывают в соответствии со СНиП 2.06.04—82.

При природоохранном обустройстве прибрежных территорий для защиты берегов от разрушительного воздействия волн применяют следующие способы: активный, пассивный и комбинированный.

Под активным способом понимают сохранение естественных, создание и сохранение искусственных пляжей отклонением от них потока волновой энергии конфигурационными подводными

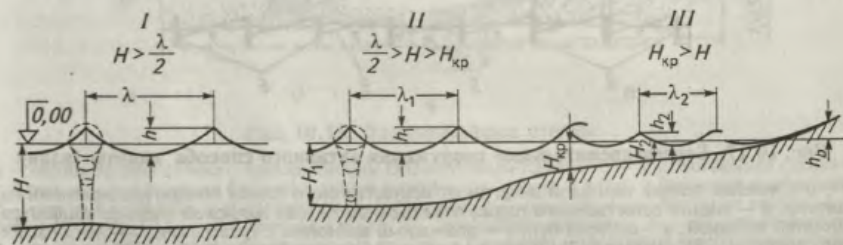


Рис. 10.16. Схема трансформации волн на подходе к берегу

насыпями и выемками, возведением наносозадерживающих сооружений — бун, подводных волноломов с траверсами и т.п. (рис. 10.17).

Пассивной защитой называют способ, когда берег укрепляют волнозащитными сооружениями, воспринимающими воздействия волн с гашением их энергии непосредственно на возведенных сооружениях; ими могут быть волноотбойные стенки, прислоненные к берегу, с вертикальной или криволинейной передней гранью; волногасящие сооружения, представляющие собой всевоз-

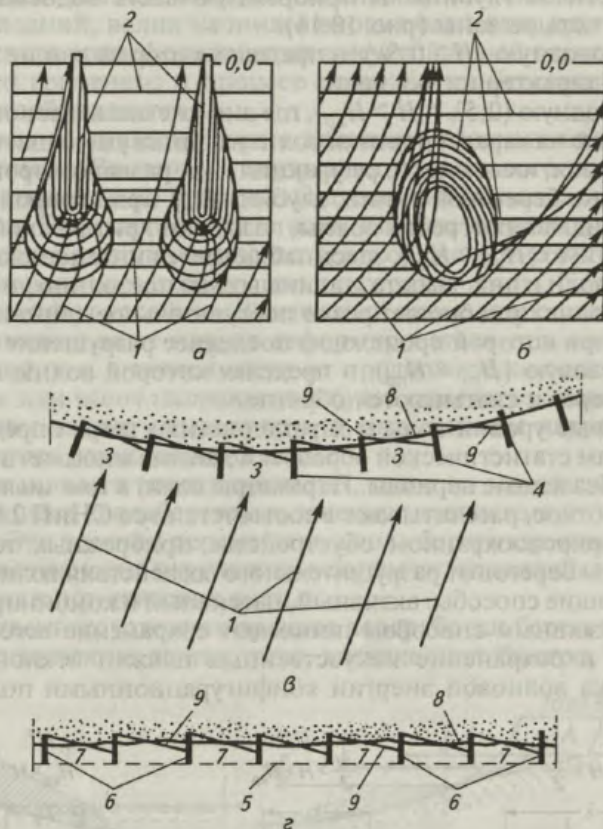


Рис. 10.17. Берегоукрепительные сооружения активного способа защиты (план):

a — отклонение потока волновой энергии от искусственного пляжа конфигурационными насыпями; *б* — защита естественного пляжа отклонением потока волновой энергии конфигурационной выемкой; *в* — система бун; *г* — подводный волнолом с траверсами; 1 — лучи расчетного волнения; 2 — изобаты; 3 — пляж в межбунном пространстве; 4 — буны; 5 — подводный волнолом; 6 — траверсы; 7 — пляж в бассейне между траверсами; 8 — естественный урез воды в стадии абразии; 9 — урез воды защемленного пляжа

возможные наброски из камня или бетонных блоков различной конфигурации; перфорированные стенки, откосные сооружения с повышенной шероховатостью, бермы и пр. (рис. 10.18 и 10.19). Возводят берегозащитные сооружения как на открытом берегу, так и на акваториях морей и водохранилищ.

Комбинированными принято называть способы, которые представляют собой сочетание активного и пассивного способов зашиты.

Тип берегозащитного сооружения, его плановое и высотное размещение выбирают в зависимости от ситуации: новое строительство на свободном берегу; новое строительство на уже частично защищенном берегу; новое строительство взамен существующего сооружения; реконструкция существующего сооружения; значительная перестройка существующего разрушенного сооружения; соединение (комбинация) нового и существующего сооружений; изменение целевого назначения существующего сооружения; защита вновь осваиваемых земель от затопления.

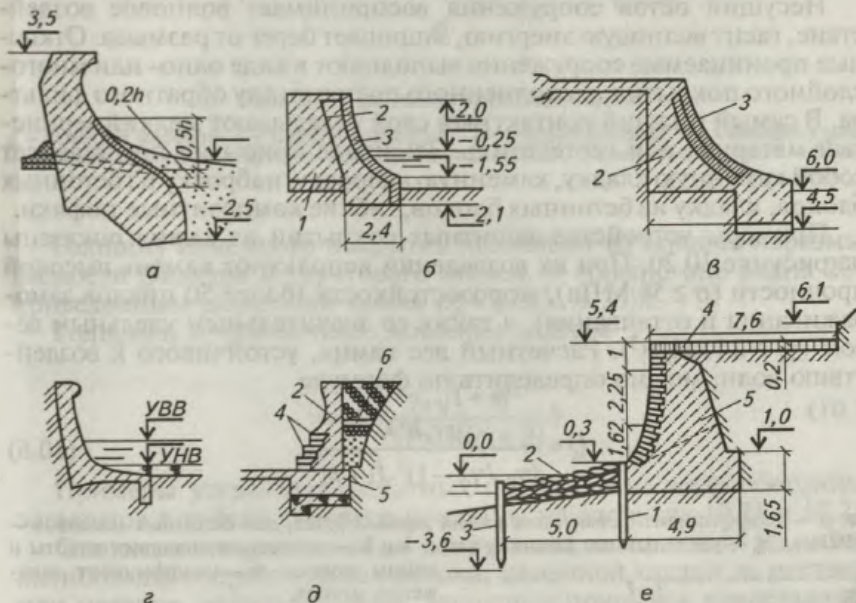


Рис. 10.18. Волноотбойные стенки:

а — облицованная стенка с прислоненным галечниковым пляжем; *б* — волноотбойная стенка в г. Сочи; *в* — монолитная бетонная стенка с зубом; *г* — стенка с зубом и бетонной рисбермой; *д* — стенка с креплением и дренажным устройством; *1* — существующая бетонная стенка; *2* — бетон; *3* — облицовка; *4* — бутовая кладка; *5* — дренажное отверстие; *6* — обратный фильтр; *е* — волноотбойная стенка на сжимаемых грунтах в Северном море с облицовкой поверхности и каменной бермой с фашинным прикртием: *1* — шпунт; *2* — фашинный тюфяк; *3* — сваи; *4* — бетонное покрытие; *5* — монолитная бетонная стенка

Берегозащитные сооружения могут быть двух типов: вертикальные и откосные. Вертикальные сооружения включают вертикальную, наклонную (до 1 : 1) или искривленную лицевую плоскость берегового сооружения гравитационного или контрфорсного типа. Откосные сооружения представляют собой относительно тонкие защитные покрытия плоского или ломаного (с бермами) профиля при уклонах положе 1 : 1. Оба типа берегозащитных сооружений могут быть проницаемыми или непроницаемыми. Известны также комбинированные решения с использованием различных строительных материалов.

Гребень сооружения предназначен для ограничения или предотвращения выкатывания волн на ограждаемую территорию, создания благоприятных условий подхода к пляжу и прогулок вдоль берега, защиты территорий от песка и пыли, а побережья — от мусора. Гребень выполняют в виде волноотбойной стенки, парапета, откосного покрытия, опорной стенки, горизонтального покрытия (см. рис. 10.19).

Несущий остов сооружения воспринимает волновое воздействие, гасит волновую энергию, защищает берег от размыва. Откосные проницаемые сооружения выполняют в виде одно- или многослойного покрытия, выполненного по принципу обратного фильтра. В самый нижний контактный слой укладывают мелкий зернистый материал или геотекстиль. Защитное покрытие представляет собой каменную кладку, каменную наброску, наброску из бетонных блоков, кладку из бетонных блоков, гибкие композитные тюфяки.

Примеры устройства защитных покрытий из камня показаны на рисунке 10.20. При их возведении используют камень высокой прочности ($\sigma \geq 50$ МПа), морозостойкости (более 50 циклов замораживания и оттаивания), а также со значительным удельным весом ($\gamma_k > 24$ кН/м³). Расчетный вес камня, устойчивого к воздействию волн, можно определить по формуле

$$Q = \frac{\mu \gamma_k h^2 \lambda}{(\gamma_k / \gamma_0 - 1)^3 \sqrt{1 + m^3}}, \quad (10.6)$$

где μ — коэффициент формы, для камня равный 0,025, для бетонных массивов — 0,021; γ_k, γ_0 — удельный вес камня и воды; h и λ — расчетные значения высоты и длины волны; m — коэффициент заложения откоса.

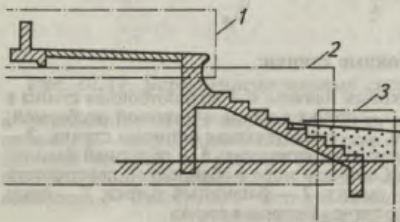


Рис. 10.19. Элементы берегозащитного сооружения:

1 — гребень; 2 — основное тело; 3 — зуб

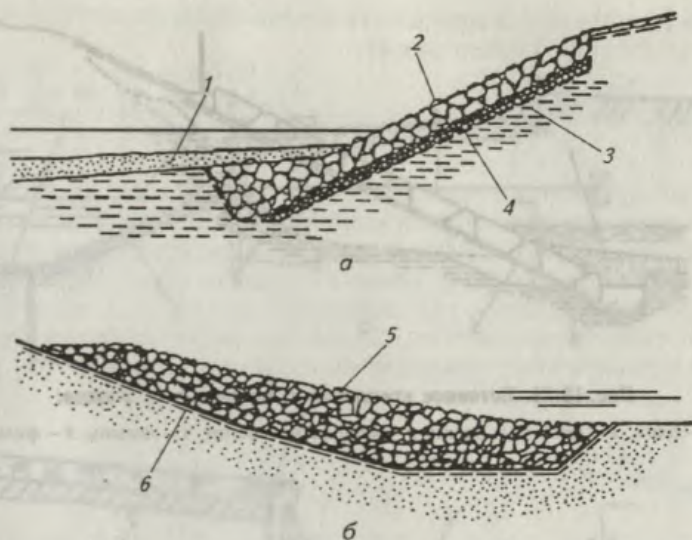


Рис. 10.20. Каменное крепление берега:

a — каменное мощение; *b* — каменная наброска; 1 — пляжный материал; 2 — каменная кладка; 3 — фильтр из нетканого материала; 4 — переходный слой; 5 — каменная наброска; 6 — фильтр

Толщину каменного покрытия назначают из условия неразмываемости фильтра и грунтового откоса, и обычно она равна 2...3 приведенным диаметрам камня $D_k \approx (0,25 \dots 0,35)h$.

Толщина, м, одиночного мощения камнем

$$\delta = 1,7 \frac{\gamma_0 \sqrt{1+m^2}}{\gamma_k \gamma_0 m(m+2)} h. \quad (10.7)$$

Примеры устройства защитных покрытий из железобетонных элементов и гибких тюфяков показаны на рисунках 10.21 и 10.22.

Откосные непроницаемые сооружения выполняют из монолитного или сборного железобетона, каменной кладки на растворе или мастике, асфальтобетона. Защитные покрытия представляют собой либо уложенные на слой фильтра гладкие или многоступенчатые плиты, взаимоувязанные блоки с заполнением швов битумной мастикой, либо асфальтобетонные плиты, либо засеянные травой и армированные геотекстилем откосы.

Примеры устройства защитных непроницаемых покрытий грунтовых откосов показаны на рисунке 10.23. Размеры плит и их

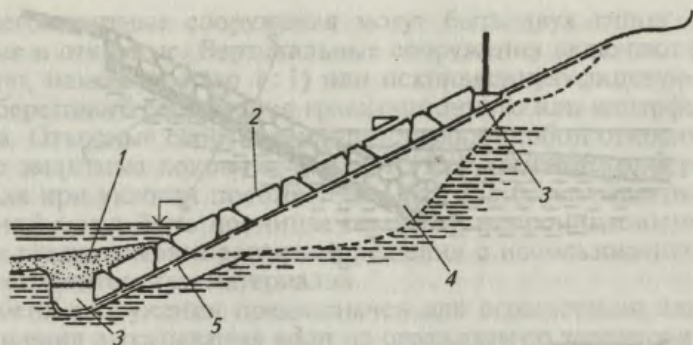


Рис. 10.21. Бетонное крепление из клиновидных блоков:

1 — пляж; 2 — фасонные блоки; 3 — монолитный бетон; 4 — насыпь; 5 — фильтр

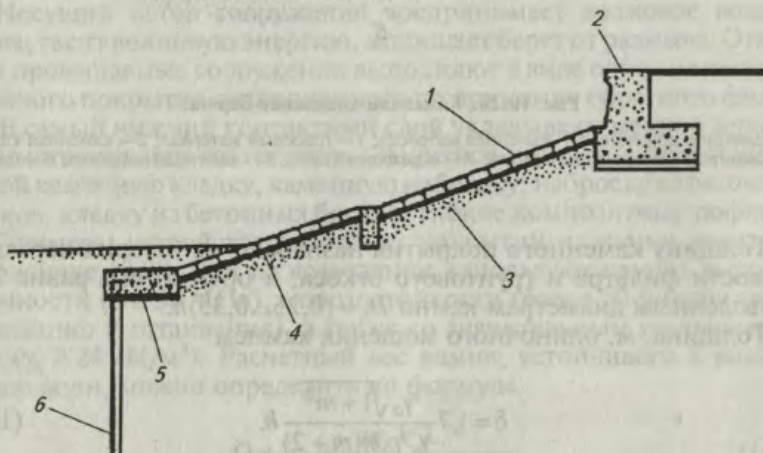


Рис. 10.22. Бетонное крепление из плоских блоков (плит):

1 — бетонные блоки; 2 — волноотбойная стенка; 3 — насыпь; 4 — песчано-гравийная подготовка; 5 — бетонный зуб; 6 — шпунт

армирование определяют расчетом. Расчетная схема — плита на упругом основании, находящаяся под действием динамических нагрузок. При накате и обрушении волн создается волновое давление на плиту P , определяемое высотой волны; при откате волн создается волновое фильтрационное противодействие W_{ϕ} , стремящееся оторвать крепление от поверхности откоса. Своего мак-

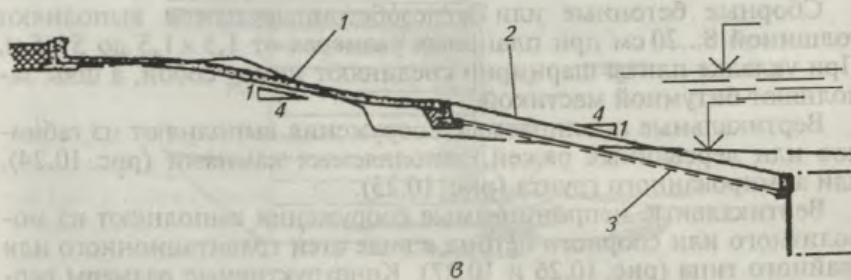
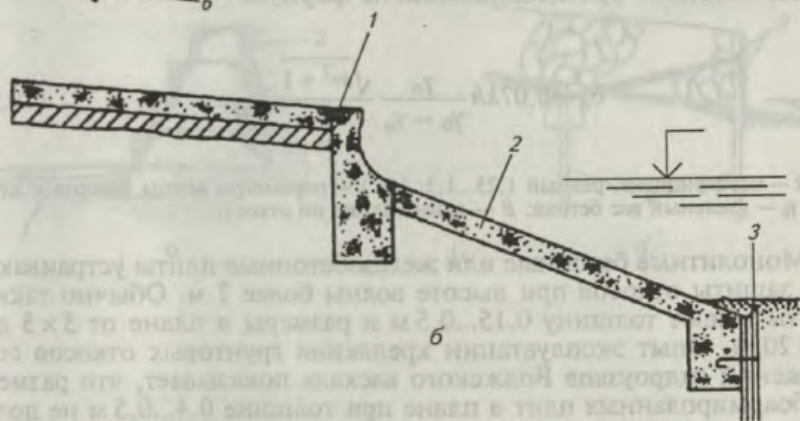
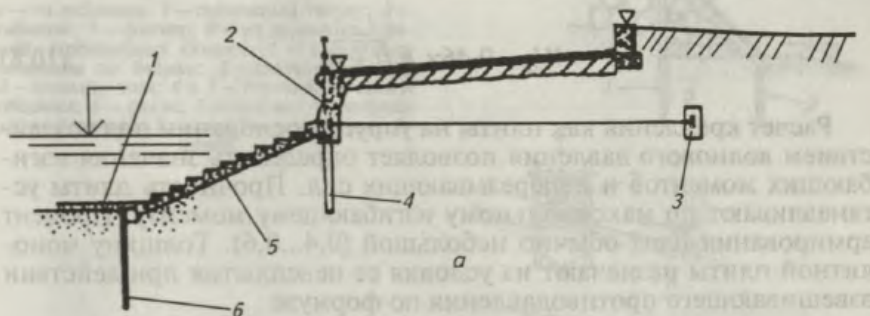


Рис. 10.23. Монолитное бетонное крепление:

a — ступенчатое: 1 — пляж; 2 — волноотбойная стенка; 3 — анкерный блок; 4 — железобетонная свая; 5 — ступенчатый откос; 6 — шпунт; *б* — плоское: 1 — волноотбойная стенка; 2 — бетонная плита; 3 — шпунт; *в* — асфальтобетонное: 1 — асфальтобетон; 2 — асфальт с камнем; 3 — фильтр

симального значения противодействие W_{ϕ} достигает на расстоянии $z = 0,9h/m$ от уровня покоя:

$$W_{\phi} = 0,46\gamma_0 h \sqrt{1+m}. \quad (10.8)$$

Расчет крепления как плиты на упругом основании под воздействием волнового давления позволяет определить значения изгибающих моментов и перерезывающих сил. Прочность плиты устанавливают по максимальному изгибающему моменту. Процент армирования плит обычно небольшой (0,4...0,6). Толщину монолитной плиты назначают из условия ее невсплытия при действии взвешивающего противодействия по формуле

$$\delta_{\pi} = 0,07kh \frac{\gamma_0}{\gamma_6 - \gamma_0} \frac{\sqrt{m^2 + 1}}{m} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{B}}, \quad (10.9)$$

где k — коэффициент, равный 1,25...1,3; h и λ — параметры волны (высота и длина); γ_6 — удельный вес бетона; B — длина плиты по откосе.

Монолитные бетонные или железобетонные плиты устраивают для защиты откосов при высоте волны более 2 м. Обычно такие плиты имеют толщину 0,15...0,5 м и размеры в плане от 5 × 5 до 20 × 20 м. Опыт эксплуатации крепления грунтовых откосов сооружений гидроузлов Волжского каскада показывает, что размер слабоармированных плит в плане при толщине 0,4...0,5 м не должен превышать 10 × 10 м.

Сборные бетонные или железобетонные плиты выполняют толщиной 8...20 см при плановых размерах от 1,5 × 1,5 до 5 × 5 м. При укладке плиты шарнирно соединяют между собой, а швы заполняют битумной мастикой.

Вертикальные проницаемые сооружения выполняют из габионов или деревянных ряжей, заполняемых камнями (рис. 10.24), или армированного грунта (рис. 10.25).

Вертикальные непроницаемые сооружения выполняют из монолитного или сборного бетона в виде стен гравитационного или свайного типа (рис. 10.26 и 10.27). Конструктивные размеры вертикальных берегозащитных сооружений рассчитывают, исходя из общей устойчивости сооружения и грунтового откоса.

Концевое устройство берегозащитного сооружения предназначено для защиты конструкции от подмыва и повышения ее устойчивости на сдвиг или поворот. Как правило, зуб является неотъемлемой частью сооружения, и поэтому выполняют его в виде сталь-

Рис. 10.24. Проницаемые берегозащитные стенки:

a — из габионов: 1 — габионный тюфяк; 2 — габионы; 3 — фильтр; *b* — из деревянных ряжей, заполненных камнем: 1 — деревянное покрытие по балкам; 2 — стальной шпунт; 3 — стальная тяга; 4 и 5 — деревянные сваи и обшивка; 6 — связи; 7 — камень; 8 — наброска из бетонных блоков; 9 — деревянная обшивка

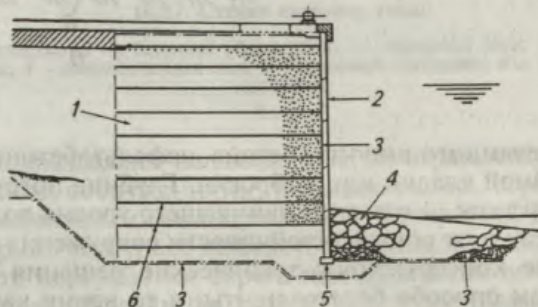
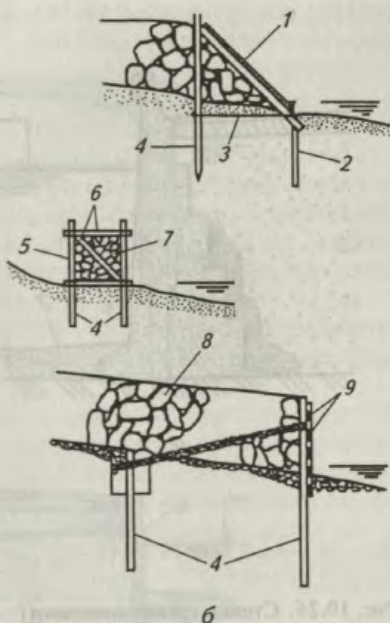
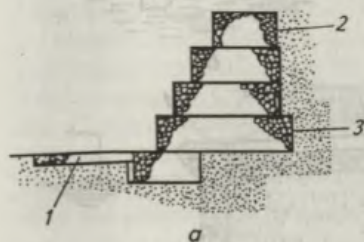


Рис. 10.25. Стенка из армированного грунта:

1 — засыпка грунтом; 2 — бетонные блоки; 3 — фильтр; 4 — каменный откос; 5 — бетонная подготовка; 6 — стальные стержни

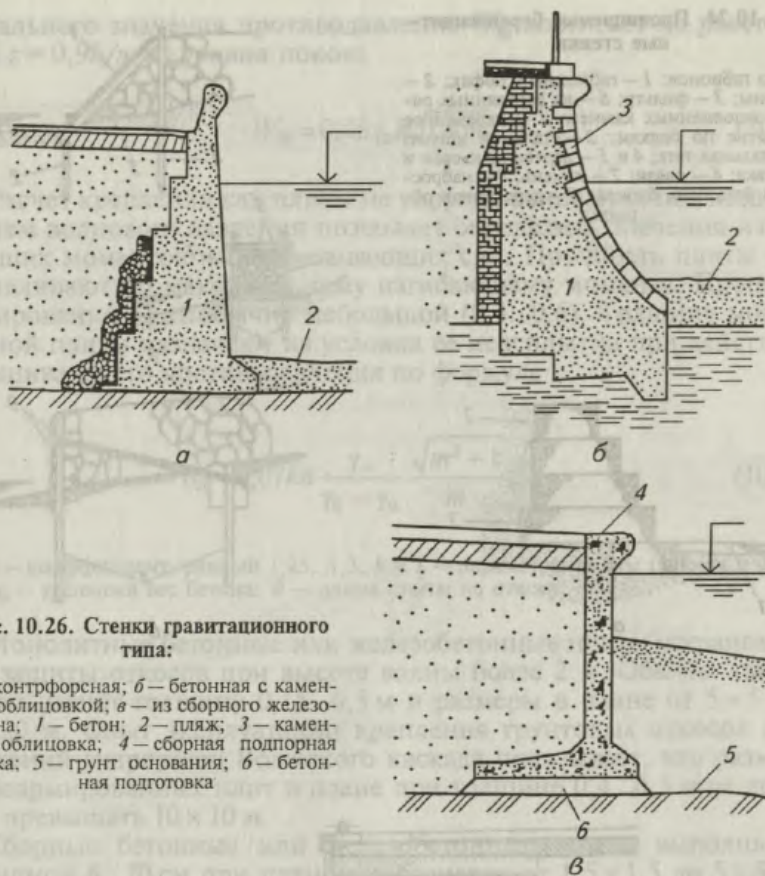
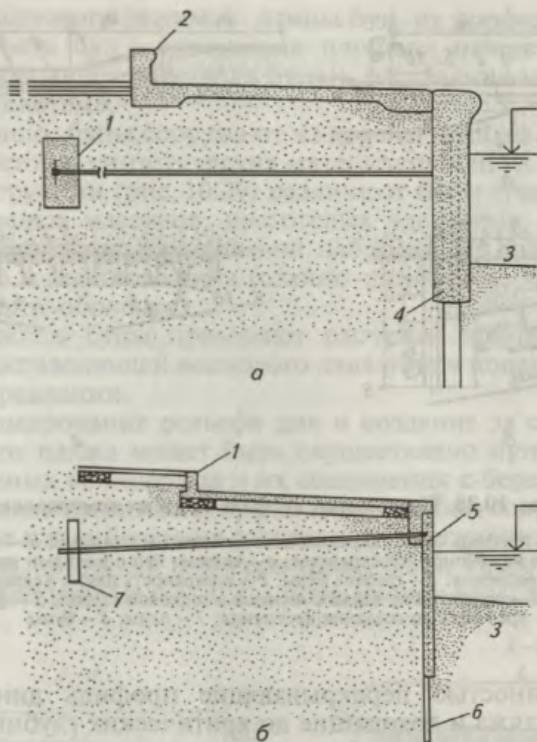


Рис. 10.26. Стенки гравитационного типа:

а — контрфорсная; *б* — бетонная с каменной облицовкой; *в* — из сборного железобетона; 1 — бетон; 2 — пляж; 3 — каменная облицовка; 4 — сборная подпорная стенка; 5 — грунт основания; б — бетонная подготовка

ного или деревянного шпунта, бетона, асфальтобетона, габионов, ряжей, каменной кладки или наброски. Глубина погружения зуба в грунт зависит как от отметки наинизшего уровня воды у подножия откоса, так и от общей устойчивости сооружения и откоса.

Описанные конструктивно-технические решения применяют при пассивном способе берегозащиты, в то время как активный способ берегозащиты предусматривает главным образом сохранение естественных и создание искусственных пляжей. Пляж (пологая береговая отмель) как наиболее простая и надежная конструкция берегозащитного сооружения сохраняется при определенном соотношении параметров волн и качества слагающего берег материала.



10.27. Стенки свайного типа:

a — с бетонной стенкой; *б* — с бетонной облицовкой; 1 — анкерный блок; 2 — волноотбойная стенка; 3 — пляж; 4 — омоноличенная свая; 5 — бетонная облицовка; 6 — шпунт; 7 — анкерная плита

Пляжи подразделяют на свободные, не огражденные наносозадерживающими сооружениями, и защемленные, огражденные буннами или подвижными волноломами с траверсами. Пляжеобразующий материал поступает на береговую отмель в основном за счет естественной переработки берега под действием волн и течений, переформирования рельефа дна, размыва специально заготавливаемого на берегу материала.

Для создания искусственного пляжа в первом случае достаточно построить поперечные бунны. В продольном направлении они состоят из трех частей (рис. 10.28): корневой b_1 , переходной b_2 и головной l_6 . Головы бун располагают на глубинах, примерно равных критической глубине для волны.

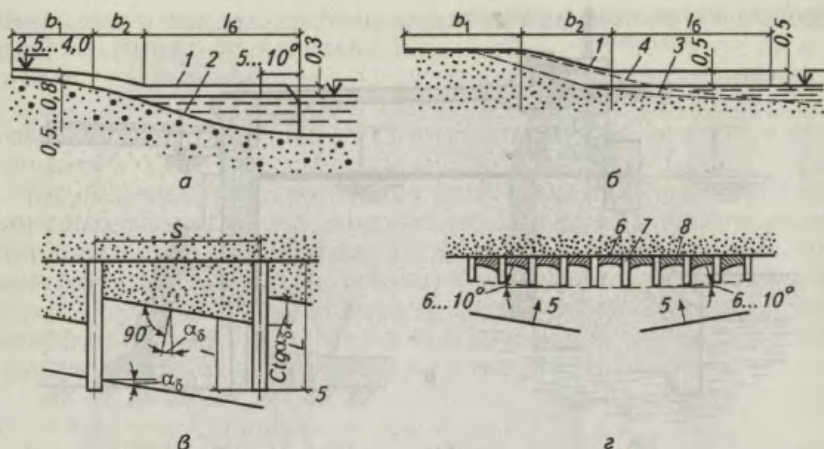


Рис. 10.28. Продольный профиль бун и их компоновка:

a, б — продольный профиль бун с галечниковым и песчаным пляжами; *в* — отложение галечниковых наносов в межбунном пространстве; *г* — система бун с пляжами при двух генеральных направлениях волнения; 1 — гребень буны; 2 — поверхность пляжа в середине межбунного пространства; 3 и 4 — поверхности пляжа с низовой и верховой сторон; 5 — фронт волны; 6 — урез воды до создания крепления; 7 — пляж; 8 — буны

Буны, полностью перекрывающие профиль динамического равновесия пляжа и достигающие до критических глубин, относят к сооружениям полного профиля, не перекрывающие профиль динамического равновесия пляжа называют бунами неполного профиля. Первые применяют на галечниковых пляжах, вторые — на песчаных. Длина буны, м:

$$l_6 = B_{\min} + \frac{S}{2} \operatorname{tg} \alpha + 1, \quad (10.10)$$

где B_{\min} — наименьшая проектная ширина надводной части пляжа между бунами, м; S — расстояние; α — наименьший угол между фронтом расчетной волны и линией берега, град; l — длина морского (ниже уреза уровня воды) отрезка буны, м.

Расстояние между бунами S на песчаных пляжах принимают $(1...3)l_6$, на галечниковых — $(1...1,4)l_6$.

Ряд бун, действующих совместно для защиты участка берега, называют бунным полем или системой бун. Наносоудерживающая способность системы буны и степень ее влияния на вдольбереговую поток наносов зависят от очертания береговой линии, крутизны подпорного склона, состава и крупности наносов, уро-

венного и волнового режимов, длины бун, их профиля и сквозности (сквозность бун — отношение площади отверстий к общей площади продольного профиля буны), расстояния между бунами, числа бун в системе.

Как правило, буны сооружают из дерева, металла, камня, бетона, железобетона, синтетических материалов или их комбинаций.

По конструкции (рис. 10.29) различают буны гравитационного типа (из кладки массивов, пустотелых элементов, заполненных бетоном или песком; из каменной наброски, из наброски бетонных блоков) и свайного типа (свайно-шпунтовые, свайно-стеновые, из колонн-оболочек).

Устойчивость буны проверяют расчетом при максимальном значении составляющей волнового давления в поперечном (вдоль берега) направлении.

Переформирование рельефа дна и создание за счет этого искусственного пляжа может быть осуществлено путем строительства подводных волноломов и их соединения с берегом траверсами. Подводные волноломы представляют собой сооружения, расположенные вдоль берега на расстоянии, достаточном для образования пляжа принятых размеров (рис. 10.30). Гребень волнолома обычно размещают на 0,5...0,8 м ниже уровня воды для возможно-

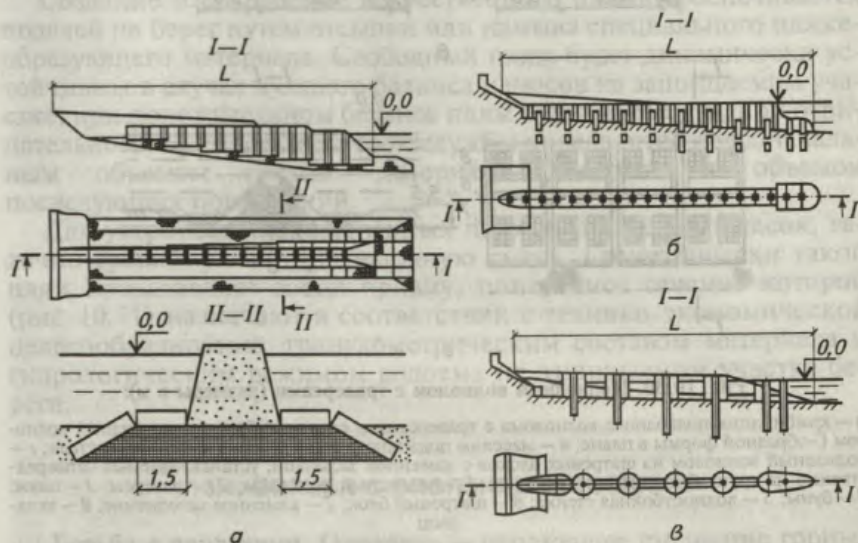


Рис. 10.29. Конструкции бун (размеры в м):

a — из массивов на каменной постели; *б* — из массивов на колоннах-оболочках; *в* — тонкостенная из железобетонных плит между свайными опорами

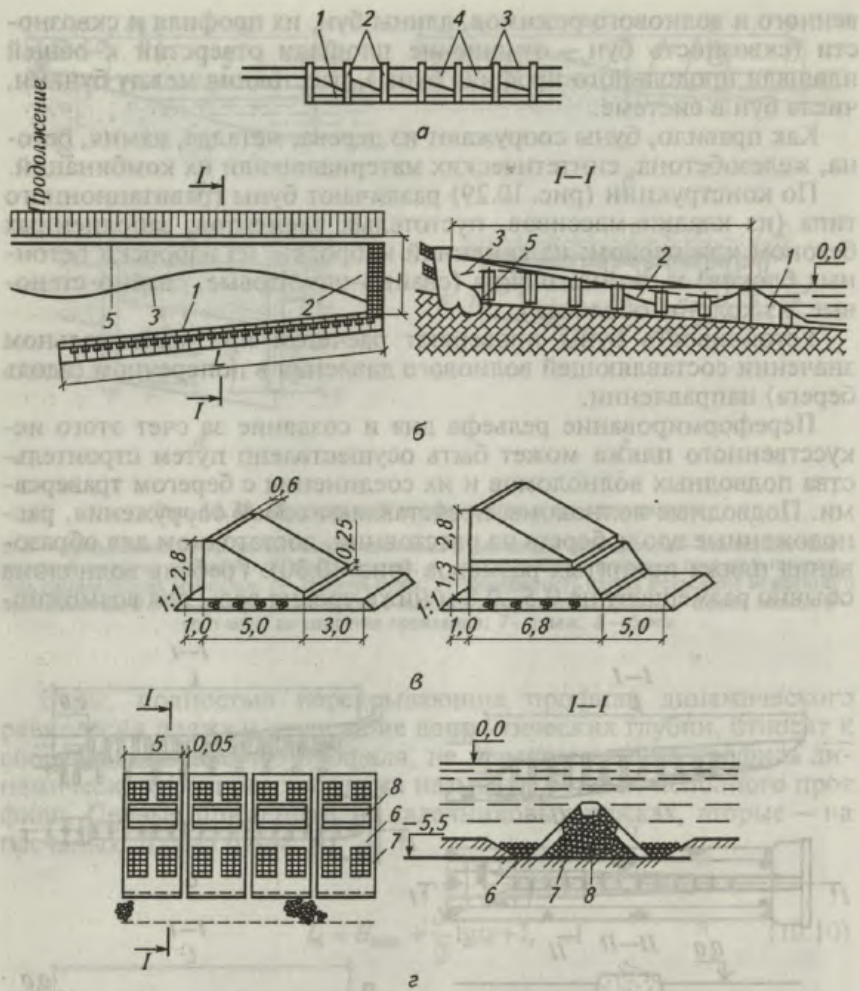
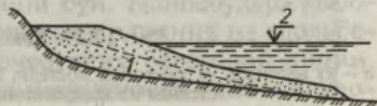


Рис. 10.30. Подводный волнолом с траверсами (размеры в м):

a — комбинация подводного волнолома с траверсами и системой бун; *б* — подводный волнолом Г-образной формы в плане; *в* — массивы подводного волнолома на каменной постели; *г* — подводный волнолом из шатровых блоков с каменной засыпкой, устанавливаемых непосредственно на грунт без каменной постели; 1 — подводный волнолом; 2 — траверсы; 3 — пляж; 4 — бун; 5 — волноотбойная стенка; 6 — шатровый блок; 7 — каменное заполнение; 8 — вкладыш

Рис. 10.31. Профиль искусственного свободного пляжа:

1 — линия возможного размыва пляжа до момента пополнения; 2 — уровень воды



сти переброски волнами наносов через волнолом при их поперечном перемещении. Для повышения эффективности образования пляжа волнолом соединяют с берегом траверсами. Одиночные траверсы располагают в конце волнолома по направлению движения наносов, создавая в плане Г-образную форму сооружения. Обычно это решение применяют в случаях мощного потока галечниковых наносов. На берегах с песчаными наносами волнолом соединяют несколькими траверсами, образуя в плане замкнутые акватории — заволноломные бассейны.

Трассу волнолома назначают прямолинейной, т. е. параллельной берегу. Соотношение размеров акватории между траверсами S , м, урезом воды и волноломом L обычно принимают в пределах $S/L = 1,5...2$. Гребни траверсов возвышаются над расчетным уровнем воды в головной части при песчаных наносах на 0,5 м, при галечниковых — на 0,3 м.

Подводные волноломы конструктивно подразделяют на два типа: гравитационные и свайные. К гравитационному типу относят волноломы из каменной наброски бетонных фасонных блоков. Волноломы свайного типа представляют собой одиночный ряд свай или свай-оболочек либо двухрядную конструкцию с каменным заполнением.

Создание и сохранение искусственного пляжа обеспечивается подачей на берег путем отсыпки или намыва специального пляжеобразующего материала. Свободный пляж будет динамически устойчивым в случае нулевого баланса наносов на защищаемом участке, при положительном балансе пляж будет нарастать, при отрицательном — размываться; срок службы определится первоначальным объемом насыпи материала, частотой и объемом последующих пополнений.

Для устройства искусственных пляжей применяют песок, галечно-гравийную или щебеночную смесь. Геометрически такой пляж представляет собой призму, поперечное сечение которой (рис. 10.31) назначают в соответствии с технико-экономической целесообразностью, гранулометрическим составом материала и гидрологическим режимом водоема на защищаемом участке берега.

10.4. БОРЬБА С ОПОЛЗНЯМИ И СЕЛЯМИ

Борьба с оползнями. Оползень — скользящее смещение горных пород вниз по склону либо под влиянием силы тяжести, либо под воздействием на эти породы дополнительных сил. Оползни занимают промежуточное положение между обвалами (лавинами) и грязевыми потоками (селями). Совокупно все эти явления сегодня

принято именовать лавинообразными потоками, так как все они происходят в основном под действием одних и тех же возмущающих причин, вызывающих потерю статической устойчивости на отдельных участках горных склонов и откосов. Оползни отличаются от лавин и селей лишь перемещаемым материалом, внезапно переходящим из покоя в движение.

Нарушения устойчивости склонов и откосов — следствие природных условий: погодные условия, топографические и геологические особенности склона; инженерно-геологические свойства горных пород, слагающих толщу; режим грунтовых вод; гидрологические особенности поверхностного стока на склоне; сейсмичность района, а также деятельности человека: обводнение пластов при утечках из коммуникаций, подрезка основания склонов при земляных работах, пригрузка вершины склона массивными сооружениями, насыпями, вибрационными воздействиями из-за транспорта, забивки свай, взрывных работ, уничтожение древесно-кустарниковой растительности на склоне и прилегающей площади. Вызвать сползание грунта может быстрая сработка уровней воды в водохранилищах или каналах.

Исследуя формы проявления оползня и зная природную обстановку, можно установить причину возникновения оползня, а затем предусмотреть наиболее эффективные противооползневые мероприятия. В силу своей распространенности по территории России оползневые явления наносят значительный ущерб экономике страны. Широко известны многочисленные случаи возникновения и схода оползней на высоком правобережном склоне р. Волги в Нижнем Новгороде, Ульяновске, Волгограде и других волжских городах. К большим авариям привели оползни на Черноморском побережье, в Краснодарском крае, Ростовской области, на Северном Кавказе.

Профиль и план оползня показаны на рисунке 10.32. Его тело оконтурено сверху стенкой срыва, а по бокам — бровками срыва. В результате подвижки тела оползня на его поверхности образовались оползневые ступени, трещины выпучивания, заколы, деформации основания.

Борьба с оползневыми явлениями во многих случаях оказывается сложной и не всегда себя оправдывает. Приобретает особое значение предварительная оценка степени природной устойчивости склона по тем или иным визуальным признакам. Необходимо оценить по результатам расчетов его фактическое состояние и запас устойчивости, а также наметить профилактические противооползневые мероприятия.

Набор визуальных признаков оценки оползневых явлений можно разделить на общие, присущие всем видам нарушения устойчивости склонов (откосов), и частичные, свойственные от-

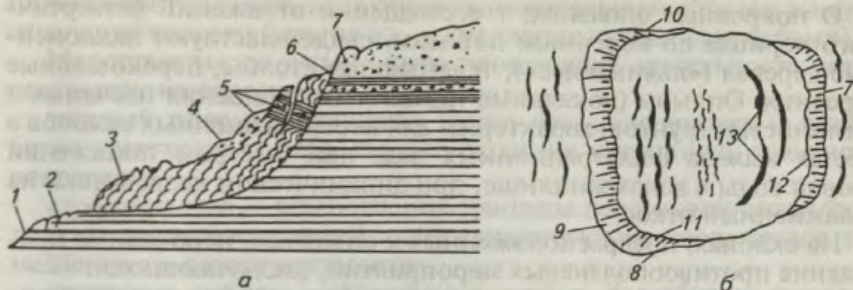


Рис. 10.32. Схема оползня:

a — профиль; *б* — план; 1 — коренной массив; 2 — деформация основания; 3 — трещины выпучивания; 4 — зеркало скольжения; 5 — оползневые ступени; 6 — стенка срыва; 7 — бровка срыва; 8 и 10 — левый и правый борта оползня; 9 и 12 — нижняя и верхняя границы оползня; 11 — трещины скольжения; 13 — заколы

дельным видам склоновых деформаций. К общим визуальным признакам оценки состояния оползневых явлений на склонах (откосах) относят:

значительную крутизну склонового откоса, угол наклона которого приближается или превышает угол внутреннего трения слагающих откос грунтов;

появление и развитие на склоне и его бровке трещин «закола»; характерные подмывы подножия склона со стороны берега; наличие на склоне оползневых «цирков», трещин, срывов, уступов и валов;

искривление линий дорог, троп, заборов в плане;

трещины в зданиях и сооружениях, стоящих вблизи бровки склона;

наличие выхода фильтрационных вод на склоне и образование заболоченных участков в понижениях последних.

Частные визуальные признаки оползневых проявлений обычно бывают характерны для определенных видов нарушений устойчивости.

О будущих обвалах, т. е. внезапных обрушениях откосов и склонов в скальных и полускальных породах, и вывалах, т. е. падении с высоты отдельных камней и блоков породы, как правило, свидетельствуют: значительная выветренность и расчленение пород на блоки; наличие глинистых прослоек и их увлажнение; высота, крутизна и оголенность склона; присутствие навалов камней от прошлых деформаций. На движение осыпей укажет скопление у подножия крутых склонов обломочных продуктов выветривания горных пород.

О покровных оползнях, т. е. смещении отложений четвертичного периода по коренным породам, свидетельствуют наклоненные деревья («пьяный лес»), телеграфные столбы, перекошенные строения. Оплывы (локальные тарельчатые смещения песчаных и суглинистых грунтов) характерны для переувлажненных склонов в местах выхода фильтрационных вод, при быстром понижении уровня воды в водохранилище, при динамическом воздействии на увлажненный откос.

На склонах, предрасположенных к оползням, необходимо проведение противооползневых мероприятий, заключающихся:

в установлении природы возможных форм нарушения устойчивости склона и разработке рациональных расчетных схем;

количественной оценке степени устойчивости склона — определении коэффициента устойчивости (запаса);

выявлении эффективных путей повышения степени устойчивости склона до необходимых пределов;

проектировании откосов с увеличенной степенью устойчивости.

Выбирают наиболее эффективные для конкретного случая противооползневые мероприятия и сооружения, не забывая о преимуществах превентивных предохранительных профилактических методов в борьбе с оползнями.

Развитие оползневого процесса всегда связано с первопричиной, например быстрой сработкой уровня воды, омывающей склон. Но часто повод к развитию оползня для склона, находящегося в критическом состоянии, является лишь «последней каплей» в общем неизбежном процессе нарушения его устойчивости. Поэтому наиболее эффективный метод борьбы с активными формами нарушения устойчивости откосов — воздействие на основную причину, обуславливающую развитие оползня, или чаще — на группу основных причин. При этом защитные мероприятия проводят в такой последовательности.

1. Ликвидация последствий, явившихся непосредственной причиной развития данного оползня (например, засыпка камнем подмытых паводком участков берега).

2. Предотвращение повторения проявления повода, провоцирующего оползень, например путем закрепления подмываемого откоса более прочным покрытием и выправления русла.

3. Повышение степени устойчивости склона путем воздействия на первопричину развития оползня, например уположением или дренированием.

Противооползневые мероприятия подразделяют на активные, способные воздействовать на основную причину оползня путем полного пресечения или некоторого ослабления ее действия (снятие перенапряжения грунтовой толщи за счет разгрузки любого вида), и пассивные, направленные на повышение значимости фак-

торов сопротивления, влияющих положительным образом на степень устойчивости (пригрузка, закрепление любыми способами).

Мероприятия по охране, ограничивающие деятельность человека в районе склона:

зеленый пояс — запрещение рубки леса, корчевания и разработки участков под огороды, уничтожения кустарника, травяного покрова;

строительство — установление границы предельной застройки, типа и массы сооружений, снос существующих сооружений, замедление темпов строительства;

земляные работы — запрещение любых разработок грунта в пассивной зоне — у подножия, загрузки склона в активной зоне — у бровки, увеличение крутизны откоса, вскрытия неустойчивых горизонтов плывучей консистенции;

водное хозяйство — запрещение спуска поверхностных вод и поливов, содержание в порядке водоотводящих и осушительных устройств, водопроводно-канализационных сетей, заделка ям, трещин, установление безопасных уровней и темпов сброски вод, омывающих откосы;

динамические воздействия — запрещение применения взрывных работ, забивки свай, работы транспортных средств.

Берегозащитные мероприятия и сооружения на обустраиваемых водотоках и водоемах у подножия склона включают: отвод и выправление русел; устройство защитных покрытий; возведение лотков, быстротоков, перепадов, стен-набережных.

Водоотводные, осушительные и дренажные мероприятия и устройства делят: на поверхностные устройства и мероприятия (планировка местности, заделка трещин, устройство покрытий, дамб обваловывания, нагорных и осушительных каналов, лотков, каптаж источников); дренажные устройства (продольные и поперечные прорезы и галереи, дренажные шахты, поглощающие скважины и колодцы); изоляционные мероприятия (устройство различных инъекционных завес, глинизация, замораживание грунтов).

Землеустроительные мероприятия направлены: на разгрузочные работы в активной зоне — полный съем оползневых масс, срезка активной части оползня, очистка скальных откосов, терраирование и уположивание склона, общая планировка склона; пригрузку в пассивной зоне — подсыпка и отвалы; покрытие скальных склонов сетками; устройство каменных ловушек.

Механическое крепление склонов заключается в устройстве одиночных анкерирующих элементов в виде свай различного типа, проходящих сквозь оползень в коренные породы, или ряда в виде шпунтовых стенок, инъекционных и мерзлотных завес и др.

Подпорные сооружения возводят в виде шпунтовых стенок (металлических, железобетонных, деревянных), подпорных стен

(каменных, бетонных, железобетонных), стен из свай оболочек большого диаметра, а также в виде упорных валов из грунта, каменной наброски, массивов-гигантов.

Для искусственного уплотнения и закрепления грунтов на склоне проводят различные виды инъекций (цементация, силикатизация, битуминизация, глинизация), замораживание грунтов, уплотнение электроосмосом.

Для повышения безопасности сооружений, возводимых в зоне действия оползня, проводят следующие мероприятия: удаляют неустойчивый массив до коренных пород; закладывают глубокие фундаменты, опирающиеся на коренные породы; устраивают фундаменты и буронабивные сваи; используют каркасные конструкции; применяют железобетонные пояса; устраивают деформационные швы.

Для закрепления поверхности склона от воздействия ливневых и речных вод предназначены покрытия. Их выполняют из песчаных, гравелистых и галечниковых грунтов, каменной наброски, каменного мощения, шлакоглинобетона, асфальта и асфальтобетона, бетона и железобетона. Для крепления береговой зоны часто используют фашинные тюфяки.

Растительность используют для закрепления и осушения склона, для чего сеют травы, сажают влаголюбивые кустарники, проводят облесение склона (вяз, дуб, клен, липа, лиственница).

Борьба с селевыми потоками. Сель — внезапно возникающий поток, представляющий собой смесь из воды, частиц и обломков горных пород, а также глинисто-коллоидных частиц. Наибольшее число случаев схода селевых потоков наблюдают на Северном Кавказе, в Забайкалье, на Камчатке и Сахалине, на Кольском полуострове, на севере Сибири и Дальнего Востока, на Полярном Урале и др. Сели представляют большую опасность для жизни людей и животных, они до основания могут разрушить любое жилье, инженерные объекты, полностью уничтожить посевы на сельскохозяйственных угодьях, а также на долгие годы вывести последние из оборота. Наибольший ущерб сели наносят автомобильным и железным дорогам, расположенным в селеопасных районах.

Селевые потоки имеют следующие особенности: внезапность возникновения, кратковременность действия, огромную разрушительную силу, способность останавливаться в пределах конуса выноса, реологическую неньютоновскую природу. Фронтальная часть селевого потока движется в виде отдельной волны. Селевые потоки подразделяют на два основных вида: структурные (связные) и турбулентные (несвязные).

Структурные селевые потоки представляют собой смесь мелкозернистых глинисто-коллоидных частиц и более крупных включений, вплоть до крупноразмерных камней, а также воды. Твердые

включения составляют до 80 % по массе, в том числе глинисто-коллоидные частицы до 10 %; вода — не более 20 %. Селевая смесь такого состава внешне представляет собой бетонообразную среду, которая во время движения и после остановки не распадается на составные части, а как бы медленно застывает и осанавливается даже на наклонных поверхностях. Плотность этой смеси меняется от 1700 до 2300 кг/м³.

Турбулентные селевые потоки содержат менее 80 % по массе твердой составляющей, менее 5 % глинисто-коллоидных частиц и более чем 20 % воды. При таком соотношении компонентов эти потоки имеют турбулентный режим течения и представляют собой в отличие от структурных селей механическую смесь воды и наносов. При выходе на участки русла с малыми уклонами они распадаются на составляющие части. Плотность турбулентных селей от 1300 до 1700 кг/м³. Если для расчетов таких потоков применяют обычные гидравлические зависимости, то структурные сели подчиняются закономерностям неньютоновских жидкостей, описываемым реологическими уравнениями.

Параметры движения селей прогнозируют с учетом временного и пространственного факторов. Временное прогнозирование предусматривает масштаб прогнозируемого времени; можно выполнить как краткосрочное, так и долгосрочное прогнозирование.

Селеносные речные бассейны обычно сложены легкоразрушающимися осадочными породами — флишами, мергелями, сланцами, известняками, доломитами, песчаниками. Формированию селевых потоков способствуют сильная расчлененность рельефа водосбора, расположение верховьев водотоков выше верхней границы леса, процессы активного выветривания, наличие продуктов разрушения горных пород в эрозионных врезках, различные виды гравитационных процессов (камнепады, обвалы, оползни), сейсмические сдвиги, вулканические извержения, сопровождаемые сильными дождями или интенсивным снеготаянием. Известны многочисленные случаи зарождения селей при прорывах стихийно образовавшихся в русле земляных или каменных запруд — завалов.

Противоселевая защита обеспечивается активными и пассивными мероприятиями.

Активные мероприятия, как правило, являются профилактическими и предусматривают сохранение леса на водосборе реки-селеноса; регулирование вырубки леса; запрещение или ограничение выпаса скота на эрозионно опасных склонах; регулирование стока; замедление таяния снега; спуск ледниковых и подпрудных озер; агромерелиоративные мероприятия и т. п.

Под *пассивными мероприятиями* понимают возведение специальных гидротехнических сооружений, защищающих тот или

иной объект от непосредственного воздействия селя. К этим мероприятиям относят строительство сквозных и сплошных барражей; грунтовых, бетонных и каменно-набросных плотин; селерегулирующих сооружений (селепропускных — селепусков, селеотводов; селенаправляющих — дамб, подпорных стенок; селебросных — порогов, запруд, перепадов; селеотстойных — каналов; селеделительных — полузапруд, бун, шпор); селезадерживающих глухих (селезаградителей, тросовых селерезцов, щелевых запруд); селезадерживающих с отверстиями; селетрансформирующих, т. е. осуществляющих разжижение селя (плотины с отверстиями, площадки с подачей воды через отверстия в горизонтальной плите; трубопроводы для передачи воды из водохранилища в селевой поток).

Селерегулирующие сооружения позволяют пропускать селя в обход защищаемого объекта, над или под ним (под оросительным каналом и пр.), селенаправляющие сооружения устраивают для пропуска селя вдоль защищаемого объекта, селеотстойные сооружения — перед защитными дамбами и подпорными стенками.

Селеделительные сооружения позволяют задерживать крупные и пропускать мелкие фракции селевого потока. Их используют как временные защитные сооружения при строительстве дамб, каналов, мостов и т. д. Делают их из толстых тросов в виде одной или двух сеток, заанкеренных по обеим сторонам реки.

Глухие селезадерживающие сооружения полностью задерживают селевой поток и образуют селеохранилища. Плотины с отверстиями задерживают крупные камни и пропускают остальную массу, превращая селевой поток в менее опасный водный. Как правило, их возводят из железобетона.

Селетрансформирующие сооружения позволяют с помощью подачи потока из водохранилища по каналам или трубопроводам разжижать селя.

Рассмотрим несколько примеров гидротехнических сооружений для борьбы с селевыми потоками. Глухое селезадерживающее сооружение — плотина селеохранилища показана на рисунке 10.33. Водобросом служит туннель, выполненный в скальном береговом массиве в обход плотины. Бытовые расходы (полезные попус-

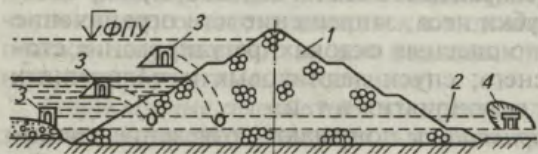


Рис. 10.33. Каменно-набросная плотина и водоброс гидроузла селеохранилища:

1 — каменно-набросная плотина; 2 — галерея водоброса; 3 — входные оголовки водоброса; 4 — концевая часть водоброса; ФПУ — форсированный подпорный уровень

ки) пропускают через туннель. При прохождении селевых потоков с большими расходами уровень в верхнем бьефе селеохранилища повышается и перед плотиной формируется зона подпора, в которой и задерживаются крупнозернистые включения. По мере завала наносами нижней части селеохранилища его наносозадерживающая способность уменьшается. Следующую зону селеохранилища включают в работу, прикрыв нижнюю голову туннеля; в работу вступает входной портал, расположенный выше. При полном заполнении селеохранилища плотину наращивают или строят новое селеохранилище.

Такие сооружения относительно дороги, поэтому для задержания и переформирования селевых потоков могут быть применены сквозные конструкции, например селеуловитель М. С. Гагошидзе, представляющий собой жесткую решетку из железобетонных стоек и ригелей (рис. 10.34, а). Размеры клеток: по глубине потока и ширине — 2...4 м, по длине — 4...8 м. Обычно поток течет между стоек, которые не оказывают существенного сопротивления. При прохождении селея значительная часть элементов сквозной преграды оказывается в потоке и перед сооружением формируется зона подпора, в которой и задерживаются крупные включения селевого потока.

Сквозную конструкцию, показанную на рисунке 10.34, б, собирают из одного типоразмера железобетонных балок, имеющих на концах отверстия. Этими отверстиями балки надевают на трубы. Поскольку на одни и те же трубы надевают балки разных направлений, то вся конструкция получается сквозной.

Обе эти конструкции удовлетворительно задерживают наиболее крупные включения селевых потоков, однако могут быть разрушены быстродвижущимся фронтом связных селевых потоков. Поэтому М. С. Гагошидзе для защиты от связных потоков сквозных сооружений предложил делать тросовые конструкции селезащита и селезаграждения, которые рекомендуются устанавливать перед железобетонными конструкциями.

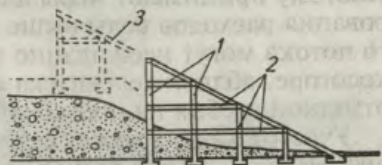
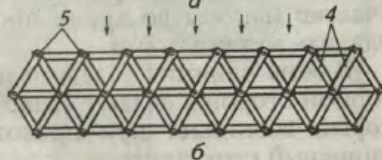


Рис. 10.34. Решетчатые (сквозные) селезадерживающие сооружения:

а — наклонный селеуловитель М. С. Гагошидзе; б — селеуловители конструкции ЗаКНИГМИ (план); 1 — колонны; 2 — горизонтальные ригели; 3 — возможная достройка селеуловителя в перспективе; 4 — унифицированные железобетонные элементы; 5 — стальные трубы



ми. Тросовая конструкция (сетка из тросов) эластична и в значительной мере смягчает первый удар селевого потока. Задержанный между двумя сетками объем камня является как бы буферным сооружением. При подъеме уровня селевой поток теряет скорость в зоне подпора, т. е. на подходе к сооружению. Имеются и другие конструкции селезадерживающих сооружений.

Для защиты от затопления селевым потоком или уже трансформированным в селехранилище потоком применяют селеотвод, располагаемый обычно ниже выхода речки из гор, в пределах конуса выноса. Обычные расходы воды направляют из множества русел по какому-то одному на конусе выноса, а также забирают в канал. На пути потока воды есть ограничивающие сооружения, и как только селевой поток с большими расходами подойдет к району этих сооружений, то ограничения в пропускной способности приведут к подъему уровней, прорыву оставленной грунтовой перемычки и к направлению селевого потока на место запланированной аккумуляции селевой массы. В качестве ограничивающих сооружений применяют специальные защитные дамбы, специальные (ловчие) селевые каналы или комбинацию канала и дамбы, которая при строительстве служит кавальером грунта. Канал рассчитывают из условия недопущения осадения в нем селевых выносов; откос дамбы, в зависимости от скоростей течения и глубины селевого потока, может быть с креплением и без него. Концевой участок селеотводящего тракта делают из условия плавного растекания потока и предотвращения подпора уровня в канале осевшими наносами.

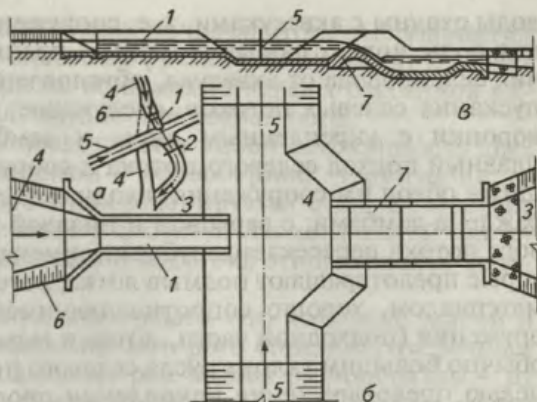
Наиболее сложным селепропуск получается, если отметки уровней воды селевого потока и потока в канале примерно одинаковые. В этом случае на канале сооружают дюкер. Если же канал большой, а селевой поток по расходам соизмерим с расходами в нем, то экономичнее устройство селевпуска (рис. 10.35). Селевой поток впускают в канал, который может быть завален наносами. Поэтому принимают меры для задержания наносов и перерегулирования расходов воды выше селевпуска. Поскольку воды селевого потока могут неожиданно переполнить канал, построенный на косогоре, вблизи селевпуска обязательно устраивают водосброс с отметкой гребня на нормальном (или форсированном) уровне.

Участок канала между селевпуском и водосбросом должен пропустить ожидаемый расход воды без аварии. Отложенные на этом участке наносы во время прохождения селя следует оперативно удалить механизмами.

В зоне влияния селевого потока гребень дамбы канала с подгорной стороны делают выше на размер возможного подпора, который возникает при прохождении селя. Внезапный большойливневый сток приводит к значительному насыщению потока на-

Рис. 10.35. Селевпуск в канал:

a — примерная схема компоновки; *b* — план селевпуска; *в* — разрез по оси селевпуска; 1 — лоток селевпуска; 2 — участок расширения канала; 3 — отводящее русло селевпущей реки; 4 — одиночная мостовая; 5 — оросительный канал; 6 — сопрягающая дамба; 7 — володобрес



носами в горной части реки. При сходе с гор он может затопить сельскохозяйственные угодья и населенные пункты. Эродирующую способность таких потоков в значительной степени снижают строительством руслоукрепительных сооружений. Берега защищают от размыва шпорами, дамбами, защитными одеждами и т. д. Для предотвращения донной эрозии применяют донные пороги-перепады.

Селепропускное сооружение — железобетонный селепровод предназначен для переброски через каналы, дороги и реки селевых потоков (рис. 10.36). В конструктивном отношении селепро-

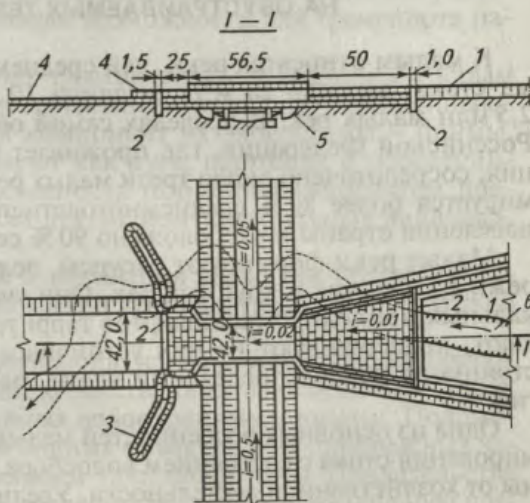


Рис. 10.36. Железобетонный селепровод:

1 — крепление габионами; 2 — шпора; 3 — защитная дамба; 4 — одиночная мостовая; 5 — засыпка; 6 — засыпка русла

воды сходны с акведуками, т. е. сооружениями для пропуска потоков воды поверх любых линейных препятствий. Основные отличия селепровода от акведука, обусловленные особенностями пропуска селевых потоков, следующие: входная часть имеет вид воронки с укрепленным дном и дамбами, обеспечивающими плавный подход селевого потока к сооружению и предотвращающими обход им сооружения; входная часть также укреплена и ограждена дамбами; с верховой и низовой сторон лотка русло селевого потока пересекается зубьями, имеющими глубину до 4 м, которые предотвращают подмыв лотка; лоток обычно облицовывают материалом, хорошо сопротивляющимся истиранию; уклон сооружения (подходной части, лотка и выходной части) принимают обычно большим уклона русла селевого потока (вне сооружения) с целью предотвращения накопления продуктов выноса перед сооружением. Лоток селепровода обычно не перекрывают сверху плитами, чтобы не допускать образования в его пределах селевых заторов. Ось сооружения проектируют прямолинейной.

При проектировании селепроводов особое внимание необходимо обращать на достаточно полную оценку размеров селевого паводкового расхода, что необходимо для обоснования как размеров сооружения, так и запасов по высоте и толщине стенок.

Если канал пересекает очень крупный селевой поток, то целесообразнее построить дюкер для пропуска расхода канала под руслом селевого потока.

10.5. СОДЕРЖАНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ МАЛЫХ РЕК НА ОБУСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

К малым относятся реки, чей среднемноголетний расход (норма стока) меньше $20 \text{ м}^3/\text{с}$, а длина 10...200 км. В России более 2,5 млн малых рек. В пределах самой обжитой части территории Российской Федерации, где проживает более 95 % всего населения, сосредоточено около трети малых рек. На их водосборах формируется более 80 % среднемноголетнего стока, проживает 44 % населения страны и расположено 90 % сельского населения.

Малые реки формируют ресурсы, водный и гидрохимический режимы средних и крупных рек. Они участвуют в создании уникальных природных ландшафтов территорий, по которым протекают, поддерживают на них устойчивое равновесие за счет постоянного перераспределения влаги, переноса веществ и энергии.

Одна из основных особенностей малых рек — тесная связь формирования стока с состоянием водосбора, они чрезвычайно уязвимы от хозяйственной деятельности. Увеличение распаханности зе-

мель, отсутствие профилактических почвозащитных мероприятий и распашка речных пойм вплоть до уреза воды приводят к развитию эрозионных процессов на больших площадях бассейнов малых рек, заилению их русел, прудов и водохранилищ.

Любой малый водоток представляет собой совокупность двух каскадно-связанных элементов — водосборной территории и собственно русла, в котором концентрируется сток. Вследствие сказанного малые реки считают сложной экологической системой, к которой помимо собственно водотока относится весь водосбор.

С экологической точки зрения река — это комплекс живой и неживой природы, возникновение которого определяется речным стоком. Живые организмы малых рек весьма разнообразны — от простейших растительных и животных существ до высших растений и животных. Жизнеобитаемой средой являются вода, поверхность дна и растений, а также толща ила. Помимо этого в водном мире существует много симбиозов, например колонии микроорганизмов на стеблях растений или ракушки, крепящиеся к створкам крупных моллюсков. Огромную роль играют биоценозы русел — высшие растения (рогоз, тростник, кустарник), защищающие берега от размыва и способствующие промыву и углублению русла в паводок. Положительно влияние множества микроорганизмов, обитающих в илистых отложениях. Они разлагают сложные загрязняющие примеси до простейших соединений и тем самым очищают воду. Один моллюск пропускает через себя в сутки 3 л воды, выпуская ее очищенной. Раки, очищая норы, способствуют высачиванию грунтовых вод в русло, а рыбы, добывая корм, взмучивают донные отложения, создавая возможности для транспорта наносов.

Малые реки чрезвычайно чувствительны к различным видам загрязнений, так как имеют сравнительно низкую самоочищающую способность. Важный компонент их экосистемы — поймы, особенно когда их используют как луга, пастбища и нерестилища; биологическая продуктивность пойменных экосистем превышает продуктивность всех других континентальных ландшафтов.

Истощение, загрязнение и деградация малых рек России требуют комплекса мер, для реализации которых требуется достаточно длительное время.

Нормативные документы, используемые при управлении природопользованием, запрещают хозяйственное использование узких прирусловых полос, именуемых водоохранными зонами. Положением о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах, утвержденным постановлением Правительства РФ от 23.11.1996 г. № 1404, предусмотрено, что минимальную ши-

рину водоохраннх зон устанавливают для участков рек в зависимости от их протяженности от истока.

Ширина водоохранной зоны, км	До 10	10...50	50...100	100...200	200...500
Протяженность реки от истока, км	50	100	200	300	400

Минимальную ширину водоохраннх зон для озер и водохранилищ принимают в зависимости от площади акватории: до 2 км² — 300 м, более 2 км² — 500 м. На территории городов и поселков размеры этих зон устанавливают, исходя из конкретных условий планировки и застройки в соответствии с утвержденными генеральными планами. При наличии ливневой канализации и набережной допускается совмещение границы прибрежных защитных полос с парапетом набережной. Для участков рек, заключенных в закрытые коллекторы, водоохраннх зоны не устанавливают.

Ширину водоохраннх зон за пределами территорий населенных пунктов отсчитывают: для рек, стариц и озер — от среднемноголетнего высшего уровня в период открытого русла; для водохранилищ — от среднемноголетнего высшего уровня воды в безледоставный период, но не ниже форсированного подпорного уровня водохранилища; для морей — от максимального уровня прилива; для болот — от их границы (нулевой глубины торфяной залежи).

Минимальную ширину прибрежных защитных полос устанавливают в зависимости от видов угодий и крутизны склонов территории, прилегающих к водному объекту, она колеблется от 15 до 100 м (табл. 10.4). На территории прибрежных полос выполняют водоохраннх противоэрозионные, лесомелиоративные и гидротехнические мероприятия: создание защитных лесных насаждений, выполняющих водорегулирующую и противоэрозионную роль; создание защитного травостоя путем посева многолетних трав; устройство несложных гидротехнических сооружений (водозадерживающие и водоотводящие валы, запруды, засыпка и закрепление оврагов и др.).

Границы прибрежных полос на местности закрепляют специальными знаками. Для водохранилищ, предоставленных в обособленное пользование, это делают водопользователи, а в остальных случаях — бассейновые и другие территориальные органы управления использованием и охраной водного фонда. Минимальные размеры водоохраннх зон и прибрежных защитных полос должны быть нанесены на генеральные планы застройки городов, других поселений, планы землепользования, а также на иные планово-картографические материалы.

10.4. Ширина прибрежной защитной полосы, м, в зависимости от крутизны склонов прилегающих территорий

Виды угодий, прилегающих к водному объекту	Обратный и нулевой уклон	Уклон до 3°	Уклон более 3°
Пашня	15...30	35...55	55...100
Луга, сенокосы	15...25	25...35	35...50
Лес, кустарники	35	35...50	55...100

О границах водоохранных зон и прибрежных защитных полос, а также об особом режиме на указанных территориях должно быть проинформировано население. В пределах водоохранных зон запрещено:

проведение авиационно-химических работ;

применение химических средств борьбы с вредителями, болезнями растений и сорняками, использование навозных стоков для удобрения почв;

размещение складов ядохимикатов, минеральных удобрений и топливно-смазочных материалов; площадок для заправки аппаратуры ядохимикатами, животноводческих комплексов и ферм, мест складирования и захоронения промышленных, бытовых и сельскохозяйственных отходов, кладбищ и скотомогильников, накопителей сточных вод;

складирование навоза и мусора;

заправка топливом, мойка и ремонт автомобилей и других машин и механизмов;

размещение дачных и садово-огородных участков при ширине водоохраной зоны менее 100 м и крутизне склонов прилегающих территорий более 3°;

размещение стоянок транспортных средств, в том числе на территориях дачных и садово-огородных участков;

проведение рубок главного пользования;

проведение без согласования с бассейновыми и другими территориальными органами управления использованием и охраной водного фонда Министерства природных ресурсов РФ строительства и реконструкции зданий, сооружений, коммуникаций и других объектов, а также работ по добыче полезных ископаемых, землеройных и других работ.

На приусадебных, дачных, садово-огородных участках, расположенных в пределах водоохранных зон, должны соблюдаться правила их использования, исключающие загрязнение, засорение и истощение водных объектов.

На территориях водоохранных зон разрешается проведение рубок промежуточного пользования и других лесохозяйственных мероприятий, обеспечивающих охрану водных объектов.

В пределах прибрежных защитных полос помимо указанных ограничений запрещаются: распашка земель, применение удобрений, складирование размываемых грунтов, выпас и организация летних лагерей скота (кроме использования традиционных мест водопоя), устройство купочных ванн, установка сезонных стационарных палаточных городков, размещение дачных и садово-огородных участков и выделение участков под индивидуальное строительство, движение автомобилей и тракторов, кроме автомобилей специального назначения.

Участки земель в пределах прибрежных защитных полос представляются для размещения объектов водоснабжения, рекреации, рыбного и охотничьего хозяйства, водозаборных, портовых и гидротехнических сооружений при наличии лицензий на водопользование, в которых оговорены требования по соблюдению водоохранного режима.

Прибрежные защитные полосы, как правило, должны быть заняты древесно-кустарниковой растительностью или залужены.

Поддержание в надлежащем состоянии водоохраных зон, прибрежных защитных полос и водоохраных знаков возлагают на водопользователей. Собственники земель, землевладельцы и землепользователи, на землях которых находятся водоохраные зоны и прибрежные защитные полосы, обязаны соблюдать установленный режим использования этих зон и полос.

Установление водоохраных зон не влечет изъятия земельных участков у собственников земель, землевладельцев, землепользователей или запрета на совершение сделок с земельными участками, за исключением случаев, предусмотренных законом.

Помимо запрещения хозяйственного использования водоохраных зон на обустраиваемых территориях применяют комплекс водоохраных мероприятий, преследующих две основные цели: предупредить истощение водных объектов по показателям стока; исключить загрязнение вод по показателям содержания нежелательных ингредиентов. Традиционно различают следующие виды водоохраных мероприятий: организационные, агротехнические, лесотехнические, противозерозионные, гидротехнические, естественно-биологические.

К организационным водоохраным мероприятиям относят ограничительные и запретительные. В эти мероприятия входят: охрана поверхностных вод малых рек от попадания нефтепродуктов; охрана водных объектов от загрязнения удобрениями; охрана водных объектов от загрязнения стоками ферм, животноводческих комплексов и птицефабрик; ограничение стока осушительных и осушительно-увлажнительных систем в водные объекты.

К гидротехническим водоохраным мероприятиям относят рабо-

ты, направленные: на расчистку русл; сохранение и восстановление стока; создание новых прудов, водохранилищ и лиманов; исключение вторичного загрязнения поверхностных вод донными отложениями; очистку стока с осушительных и осушительно-увлажнительных систем.

Естественно-биологические водоохранные мероприятия включают в себя создание одно- и многоступенчатых биологических прудов, биоплато, низконапорных гидроузлов с водохранилищами, заселенными высшими водными растениями (камышом, рогозом, тростником, сусаком, осокой, маником, элодеей канадской, урутью мутовчатой, ряской, рдестом, роголистником).

Среди гидротехнических мероприятий особую важность приобрели мероприятия по сохранению и восстановлению стока, т. е. мероприятия, именуемые «*природоприближенная реконструкция рек*».

Термины «природоприближенное обустройство территорий», «природоохранная реконструкция», «ренатурирование» или «ревитализация» очень близки по смыслу. С их помощью инженер-гидротехник пытается описать процесс сохранения или улучшения экологической ситуации на конкретном водном объекте. Этот процесс, как правило, включает в себя комплекс мероприятий, реализация которых имеет своей целью создание некоторого «эталонного» водного объекта, например водотока. В своей прибрежной части и на берегах восстановленный объект должен быть населен типичными для него представителями растительного и животного мира, объединенными в стабильное и динамическое живое сообщество.

Типичные признаки естественных водотоков:
практическое отсутствие на трассе русла прямолинейных в плане участков;

наличие затапливаемых в половодье пойменных участков с экстенсивным ведением на них сельского хозяйства;

присутствие перемежающихся по длине водотока участков, затененных и не затененных древесной растительностью;

изменяющаяся геометрия поперечного сечения русла с переменными по длине последнего глубинами, ширинами и скоростями течения потока;

индивидуальный естественный гидрологический режим стока;

наличие типичных русловых форм: зоны размыва и аккумуляции наносных отложений, побочни (коса, отмель, долгая мель вдоль русла), перекаты, острова, гряды, дюны, рифели и т. д.

Такие типичные для руслового процесса формы, как зоны аккумуляции наносов и размыва, важны, так как в пределах первых образуются пионерные растительные сообщества, а без вторых не может в полной мере развиваться водная фауна. Многие виды насекомых находят на вновь образующихся отложениях, открытых

молодой растительностью, свои источники питания и интенсивно населяют их. В зоне формирующихся из крупных и средних наносов побочной образуются новые места нереста ценных пород рыб.

Очертания и параметры поперечного сечения природоприближенно обустройства водотока должны как можно ближе соответствовать поперечному сечению естественного русла. Любые отклонения поперечного сечения водотока от «эталонного» ведут к нарушению экосистемы последнего.

Для разработки подобного «эталона» тщательно изучают основные характеристики водотоков, либо находящихся в естественном состоянии и имеющих адекватные гидроморфологические параметры, либо располагающихся в соседнем водосборном бассейне. Наилучшим «эталонном» является незарегулированный участок этого же водотока или архивные материалы о его гидрологии и планово-высотном расположении в прошлом. Очевидно, что «эталонный» водоток — понятие несколько идеализированное; однако оно необходимо как образец, на который нужно ориентироваться при составлении проекта реконструкции или обустройства конкретного водотока, при разработке концепции обеспечения долгосрочной экологической чистоты последнего. При этом в рассматриваемое понятие должны входить не только сам водоток, но и его пойма, а также прилегающая к нему площадь бассейна. Необходимо учитывать весь комплекс свойств водных объектов, их морфологические, биологические, ландшафтные, лимнологические и другие особенности.

При проведении на водных объектах работ по строительству, реконструкции или переустройству сооружений необходимы.

1. Всесторонняя проработка проекта для улучшения экологического состояния водотока, а также его гидрологических, биологических, ландшафтных и гидротехнических параметров.

2. Максимально возможное сохранение и защита водотоков или их участков, стариц и пойм в естественном, нетронutom состоянии; невмешательство в естественные водные биотопы; сохранение их как важнейших структур природной среды.

3. При воссоздании природоприближенного состояния водотока необходимо стремиться к сохранению свойственного ему ранее руслового процесса, т. е. воссозданное русло должно обладать примерно тем же многообразием морфологических структур, каким обладал естественный водоток до его деградации. Природоприближенный водоток должен иметь адекватные естественному русловые формы движения донных наносов (рифели, гряды, дюны, косы, острова, осередки, побочни, перекаты и т. д.). Подобными должны быть и планово-высотные макроструктурные образования реки (меандры, повороты и излучины, заливы и затоны, мелководные и глубоководные зоны).

На предварительной стадии должны быть разработаны узловые моменты будущего проекта, установлена действительная потребность в обустройстве или реконструкции объекта, установлены необходимые границы будущего участка строительства. Помимо исполнителя на этой стадии участвуют также ведомства сельского и водного хозяйства, охраны окружающей среды, лесного хозяйства и в большинстве случаев — экологические организации.

На этапе сбора исходных материалов следует учитывать, что основой любой реконструкции являются исследование и оценка как самого объекта, так и имеющихся первичных архивных материалов по нему, по сложившейся на нем ситуации. При этом в первую очередь должны быть установлены и исследованы причины, мешающие естественному развитию русловых процессов, а также намечены мероприятия по их устранению.

На этапе предварительного проектирования, основываясь на анализе ситуации, требованиях землепользователей и природоохранных организаций, определяются пути природоприближенного развития водотока и его пойменных структур. На этой стадии необходимо:

рассмотреть различные варианты возможных решений, позволяющих достигнуть поставленной цели с учетом экологических, сельскохозяйственных, водохозяйственных, лесотехнических, природоохранных и других требований;

разработать прогностическую модель водотока и перспективы его дальнейшего развития. Модель должна быть ориентирована на достижение параметров экологического «эталона» водотока.

На стадии выполнения основного проекта разрабатывают окончательный вариант проекта реконструкции или обустройства водотока. Затем основные положения проекта согласовывают с представителями заинтересованных ведомств, а также граждан, чьи интересы им затронуты. После этого получают разрешение на реализацию проекта и решают вопросы его финансирования. Особенность стадии — в принятии окончательного решения участвуют не только заинтересованные ведомства, но и представители экологических и гражданских организаций.

После завершения проекта и получения разрешения на его реализацию объявляют открытый конкурс (торги, тендер). По итогам этого конкурса заключают договор, в котором оговаривают объем, виды и требования к качеству работ, сроки строительства.

Учитывая то, что при природоприближенном гидротехническом строительстве, как правило, встречаются с отрицательными последствиями хода естественных русловых процессов и прохождения различных паводков (возникновение зон эрозии и ям размыва, подмыва берегов и опор сооружений, затопление территории и строительных котлованов, прорывы дамб и т. д.), в проекте

необходимо предусмотреть отдельную статью расходов на ликвидацию возможных не предвиденных ранее ущербов. В процессе эксплуатации объекта важны работы, которые по каким-то причинам не были предусмотрены в основном проекте. В этом случае их обычно вносят в план эксплуатации возведенного объекта, проводят натурные наблюдения и исследования последнего или его участков. Цель этих наблюдений и исследований — выявление направленности хода русловых процессов на ренатурированном либо обустроенном участке водотока, с тем чтобы проверить правильность результатов ранее составленных прогнозов.

Общие рекомендации по назначению формы и разрезов поперечного сечения природоприближенного водотока следующие.

1. Форма и размеры поперечного сечения прямым образом зависят от типа руслового процесса в рассматриваемом участке водотока. В руслах с сильно выраженными процессами размыва дна и берегов необходимо предусмотреть устройство биологического крепления.

2. При реконструкции водотоков следует демонтировать берегоукрепительные одежды из бетона и железобетона, асфальта, камней, мощеных креплений и других твердых материалов, так как такие крепления не соответствуют требованиям экологии. Демонтируют также конструкции, с помощью которых естественные поверхностные водотоки превращены в закрытые искусственные (туннели, трубы, галереи и т. д.).

3. Гидравлические условия протекания поверхностного стока через русла природоприближенных водотоков должны в максимальной мере соответствовать естественным, т. е. в период прохождения паводка их пойменные части должны периодически затопливаться полой водой. В связи с этим поперечное сечение должно иметь пойменные части, обеспечивающие образование пойменных биотипов. В местах возможного использования культурных ландшафтов предпочтительно устраивать поперечное сечение русла с эрзацпоймой (рис. 10.37).

4. В связи с тем что древесная растительность располагается обычно вдоль берегов и поймы, пропускная способность русла водотока со временем может снизиться. Поэтому при прогностических расчетах пропускной способности следует учитывать, что со временем русло будет затенено 10...20-летней древесной растительностью.

5. Водотоки, имеющие отношение максимального и среднесноголетнего расходов воды не более 20-кратного, можно проектировать с поперечным сечением трапецидальной формы. Если отношение этих расходов существенно превышает 20-кратное, то устраивают так называемое «двойное трапецеидальное или параболическое сечение с бермами».

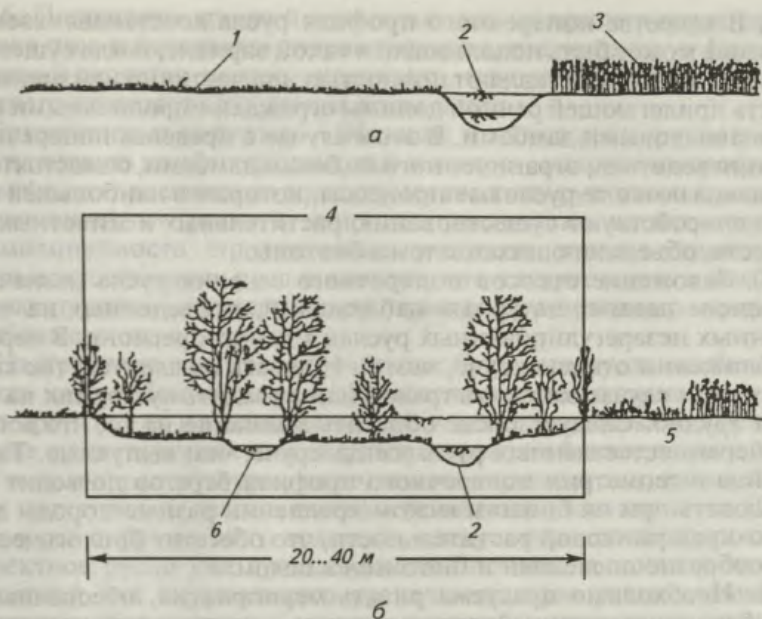


Рис. 10.37. Природоприближенная реконструкция русла малой реки с эрзащпоймой:

a — аграрный ландшафт; *б* — эрзащпойма; 1 — луг; 2 — основное русло; 3 — плантация кукурузы; 4 — территория эрзащпоймы; 5 — буферная зона; 6 — вспомогательное русло (протока)

6. У большей части водотоков названное отношение расходов превышает предел. Поэтому при их реконструкции или обустройстве используют сложные поперечные сечения так называемого «двойного составного профиля», состоящего из основного русла и расположенной над ним пойменной части. При этом среднегодовые расходы протекают преимущественно по основному руслу (см. рис. 10.38), а форсированные и паводковые — по протокам и пойменным частям.

7. Если ширины отвода земель не хватает для размещения пойменных частей, то ограничиваются лишь устройством небольших берм на определенной высоте поперечного сечения. Опыт показывает, что для обеспечения удовлетворительного пропуска паводковых расходов ширина пойменной части должна быть не менее чем в 3 раза больше ширины основного русла по урезу воды.

8. Бермы, расположенные выше средних уровней воды, одновременно используют как эксплуатационные дороги при ширине по урезу основного русла более 10 м; бермы, как правило, делают с обеих сторон. Устройство берм в значительной мере облегчает уход за водотоком и его берегами.

9. В качестве поперечного профиля русла восстанавливаемого водотока может быть использован и такой вариант, когда существующее его сечение оставляют полностью или частично неизменным, а часть прилегающей речной долины ограждают продольными противопаводковыми дамбами. В этом случае в пределах поперечного сечения водотока, ограниченного по бокам дамбами, самостоятельно развиваются те русловые процессы, которые в наибольшей степени способствуют существованию растительных и животных сообществ, объединяющихся затем в биотопы.

10. Заложение откосов поперечного сечения русла назначают на основе данных натуральных наблюдений, проведенных на естественных незарегулированных руслах в данном регионе. В первом приближении откосы круче, чем 1 : 1, делать не следует, так как в противном случае залужить травой или высадить кустарник на них будет трудно. Следует также обратить внимание на то, что вогнутые берега естественных русел всегда круче, чем выпуклые. Такая разница в геометрии поперечного профиля берегов позволит использовать при их биологическом креплении разные породы древесно-кустарниковой растительности, что обогатит биологическое разнообразие последней и биотопов в целом.

11. Необходимо предусматривать мероприятия, обеспечивающие беспрепятственный отвод стока и непрерывный транспорт наносов водным потоком.

12. На криволинейных участках русел водотоков в зоне вогнутых берегов допускается образование размывов, в зоне выпуклых — наносных отложений.

13. Поперечное сечение русла природоприближенно восстанавливаемого водотока должно вписываться в ландшафт окружающей его местности, отвечать требованиям эстетики природного ландшафта, обеспечивать требования растительного и животного сообществ.

14. Необходимую площадь поперечного сечения русла природоприближенного водотока рассчитывают из условий обеспечения его максимальной пропускной способности.

15. В процессе гидравлических расчетов и последующего проектирования поперечные сечения русел природоприближенных водотоков могут видоизменяться в целях размещения как в пределах поперечного сечения, так и вдоль самого русла древесной и кустарниковой растительности, водных растений. Эта растительная флора должна в дальнейшем способствовать произрастанию здесь устойчивых растительных и животных биотопов. В гидравлических расчетах необходимо учитывать состояние и размеры поперечного сечения, исходя из требований гидравлики, после не менее 10-летнего произрастания в нем перечисленных видов растительности.

16. Положение уровней грунтовых вод на прилегающих территориях при выполнении гидравлических, статических и фильтрационных расчетов можно определять, исходя из местоположения среднего многолетнего уровня воды в нем.

Естественные водотоки — большие и малые реки, ручьи имеют как плановую конфигурацию, так и макро-, мезо- и микроформы рельефа дна, адекватные присущему им типу руслового процесса. Прямолинейные русла в природе практически не встречаются; прямолинейность протяженных участков русла — характерная черта искусственных русел и каналов, что следует иметь в виду при проектировании искусственной трассы спрямленного природо-приближенного водотока.

На практике при трассировке оси будущего русла необходимо учесть как особенности рельефа местности, по которому оно должно пройти, так и местоположение и конструктивные особенности уже существующих инженерных сооружений, населенных пунктов и их инфраструктуры, наличие лесопарковых зон, автомобильных магистралей, границ частных земельных участков и т. д. Трассируя ось спрямленного водотока, следует стремиться включить в проектное русло уже существующие биотопы, а также участки с типичной для окружающего русла ландшафта растительностью; существующие старицы, отшнуровавшиеся рукава и протоки, сохранившиеся и ныне эксплуатируемые участки естественного русла (рис. 10.38).

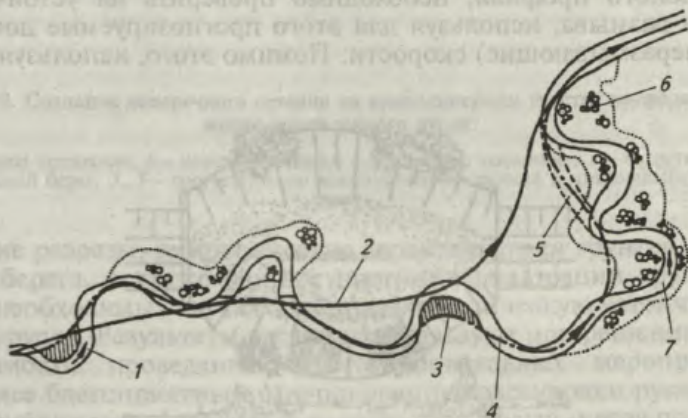


Рис. 10.38. Пример природоприближенного спрямления водотока:

1 — естественное русло; 2 — неприемлемая трасса спрямления; 3 — подводная берма; 4 — природоприближенная трасса; 5 — обводное русло; 6 — древесно-кустарниковая растительность; 7 — подключенная протока

В тех случаях, когда обустраиваемое русло в силу естественных обстоятельств, например малой транспортирующей способности, имеет склонность к заилению, целесообразно, например, устройство отстойника — песколовки в подходящем для этого месте (рис. 10.39). Песколовки устраивают в виде расширения и углубления русла, которое постепенно наполняется наносными отложениями. Очищают песколовки, например, с помощью землесосов; добытый из емкости песколовки песок обычно бывает достаточно высокого качества, и его продают как строительный материал.

Для увеличения пропускной способности русла при пропуске паводков на стесненных участках трассы применяют бифуркацию, т. е. параллельно основному прокладывают дополнительное искусственное русло, отводящее часть паводкового потока. При наличии достаточной площади в зоне природоприближенного водотока, которую можно использовать для полос отвода, обычно учитывают все рекомендации по их трассировке. Пример проектирования поперечного сечения восстанавливаемой реки на повороте русла приведен на рисунке 10.40.

Искусственные водотоки, основное назначение которых — сбор и отвод дренажных вод с мелиорируемых территорий (дренажные коллекторы) и которые иногда подключают к естественным водотокам, можно трассировать без учета требований природоприближенности.

Поперечные сечения водотока, располагающиеся вдоль его продольного профиля, необходимо проверить на устойчивость против размыва, используя для этого прогнозируемые допускаемые (неразмывающие) скорости. Помимо этого, используя геоло-

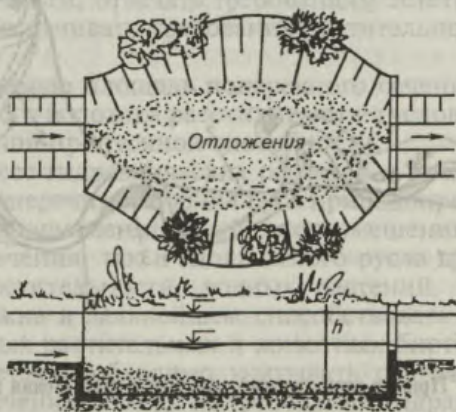


Рис. 10.39. Песколовка на трассе природоприближенно спрямленной реки

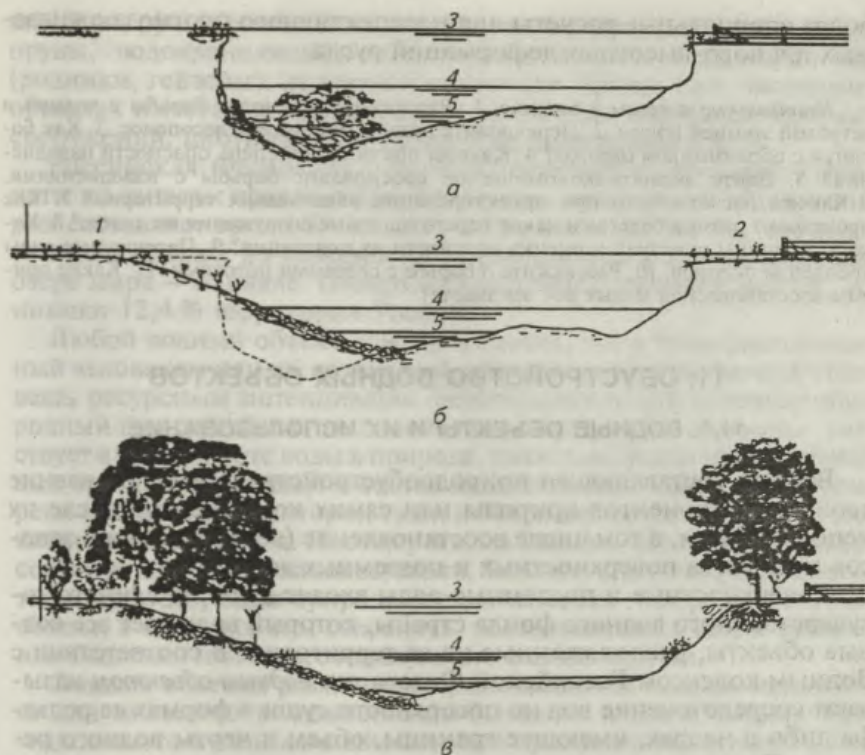


Рис. 10.40. Создание поперечного сечения на криволинейном участке природоприближенно спрямленного русла:

a — исходное состояние; *б* — конструирование; *в* — конечное состояние; 1 — вогнутый берег; 2 — выпуклый берег; 3...5 — соответственно максимальный, средний и минимальный уровни воды

гические разрезы, геотехнические характеристики грунтов, слагающих берега, а также данные прогноза фильтрации грунтовых вод, в необходимых случаях оценивают статическую устойчивость бортов русла. Результаты расчетов используют при решении о необходимости проведения берегоукрепительных мероприятий. Наиболее благоприятным с точки зрения трассировки русла природоприближенного водотока является тот случай, когда по обеим сторонам его створов имеются полосы свободных площадей земли. Они необходимы для того, чтобы русло могло самостоятельно, в соответствии с формирующимся в нем русловым процессом, развивать свои плановые очертания и формы рельефа дна. В том случае, если русловой процесс идет чрезвычайно динамично, про-

водят специальные расчеты для перспективного прогноза ожидаемых планово-высотных деформаций русла.

Контрольные вопросы и задания. 1. Расскажите о методах борьбы с водной и ветровой эрозией почвы. 2. Перечислите виды и назначение лесополос. 3. Как борются с образованием оврагов? 4. Каковы причины и степень опасности наводнений? 5. Дайте эколого-экономическое обоснование борьбы с наводнениями. 6. Каковы расчеты волн при проектировании обвалования территории? 7. Как происходит размыв берегов и какие берегозащитные сооружения вы знаете? 8. Каковы причины оползней и оценка опасности их появления? 9. Перечислите виды крепления склонов. 10. Расскажите о борьбе с селевыми потоками. 11. Какие приемы восстановления малых рек вы знаете?

11. ОБУСТРОЙСТВО ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

11.1. ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Важная составляющая природообустройства — восстановление свойств компонентов природы или самих компонентов после их использования, в том числе восстановление (возобновление) запасов и качества поверхностных и подземных вод.

Поверхностные и подземные воды входят в состав единого государственного водного фонда страны, который включает все водные объекты, расположенные на ее территории. В соответствии с Водным кодексом Российской Федерации *водным объектом* называют сосредоточение вод на поверхности суши в формах ее рельефа либо в недрах, имеющие границы, объем и черты водного режима. При этом поверхностные воды и земли, покрытые ими и сопряженные с ними (дно и берега водного объекта), рассматривают как единый водный объект, а земли — как земли водного фонда. В зависимости от физико-географических, водно-режимных и других признаков водные объекты подразделяют на поверхностные и подземные.

Водные объекты разделяют:

на *природные*, созданные природой и функционирующие по природным законам (моря, реки, ручьи, озера, родники, гейзеры, болота, ледники и т. п.);

квазиприродные — модифицированные человеком (обвалованные, углубленные, спрямленные русла рек, водохранилища или запруды на реке, каптированные или магазинированные подземные воды и т. п.);

артеприродные — искусственные, полностью созданные человеком, слабо взаимодействующие с окружающей средой (наливное водохранилище, плавательный бассейн, пожарный водоем и т. п.).

К поверхностным водным объектам относят: внутренние морские воды и территориальное море страны; поверхностные водото-

ки (реки, ручьи, каналы); поверхностные водоемы (болота, озера, пруды, водохранилища); естественные выходы подземных вод (родники, гейзеры); ледники и снежники. Кроме того, на водных объектах имеется огромное число различных водохозяйственных сооружений: плотины, шлюзы, дамбы, водозаборы и т. д.

Российская Федерация — одно из богатейших государств планеты по запасам пресных природных вод, суммарный объем которых составляет около 60 тыс. км³, в том числе 26 тыс. км³ сосредоточено в озерах, из которых 85 % содержится в самом глубоком озере мира — Байкале. Поверхностные воды, включая болота, занимают 12,4 % территории России.

Любой водный объект, как природный, так и модифицированный человеком или им созданный, обладает полезностью для человека, ресурсным потенциалом. Безотносительно к человеку природный водный объект выполняет свои природные функции: участвует в круговороте воды в природе, является средой обитания живых организмов, входит в состав экологической инфраструктуры; реки связывают территории суши и Мировой океан гидрохимическими потоками и т. п. Поэтому польза водного объекта, его ресурсов очевидна, так же как леса, степи, болота и т. д. Это просто объективно существующая природа. Задача человека — не разрушать этот объект, а охранять его, сохранять, восстанавливать после стихийных бедствий или своего неразумного вмешательства.

Водные объекты различного происхождения человек использует для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, промышленного и сельскохозяйственного производства, здравоохранения и отдыха, выработки электроэнергии, судоходства и лесосплава, рыборазведения, обороны (реки — водные преграды) и безопасности (например, пожарной), приема и размещения различных видов отходов (сточных, сбросных и дренажных вод, тепла от тепловых и атомных электростанций) и т. п. Поэтому в данном случае правильно говорить о *ресурсе (количестве) водного объекта*. Понятие «водный ресурс» менее точно, так как некоторым водным ресурсом обладает и почва в виде доступных для определенных растений влагозапасов, и атмосфера, в которой содержится влага, и толща земной коры.

Ресурс водного объекта — это допустимое изъятие воды или энергии из водного объекта, допустимая антропогенная нагрузка на него, обеспечивающие сохранение объекта, экологическую безопасность для человека и природы. Ресурс водного объекта зависит не только от количества доступной для использования воды, но и от ее качества. Поэтому, например, у реки питьевой ресурс может отсутствовать из-за плохого качества воды, а для промышленного производства он имеется. Ресурс водного объекта зависит еще и от наличия ледостава или ледохода, а также глубины, влия-

ющей на судоходный ресурс; уровня воды в реке (возможность приема дренажных вод с прилегающей к водному объекту осушаемой территории); характера дна и берегов, влияющего на рекреационный ресурс, и т. п.

Разные ресурсы водного объекта человек может использовать одновременно, т. е. иметь несколько ресурсов, часть из которых можно рассматривать как независимые, а часть — взаимозависимые. Например, вода из водного объекта может быть изъята для питьевых целей, сельского хозяйства (орошения) или промышленного производства в разных пропорциях, в принципе это разные ресурсы. Поэтому можно говорить о более полном, *комплексном использовании водных объектов*. Комплексное использование водных ресурсов — выражение не совсем удачное, хотя и часто используемое.

В отличие от других природных ресурсов (угля, нефти, газа, леса) воду реже используют непосредственно для создания продукции с преобразованием в другое вещество и безвозвратным изъятием из природного круговорота: например, хотя вода потребляется растениями для производства биомассы, значительная часть ее расходуется на транспирацию, т. е. возвращается в атмосферу. При использовании водные ресурсы водных объектов либо вообще количественно не меняются (например, в гидроэнергетике, водном транспорте, рыбном хозяйстве, в рекреационных целях и т. п.), либо часть их изымают (забор воды) из водного объекта (для орошения, промышленного и коммунально-бытового водоснабжения, для наполнения наливных водохранилищ). Эта последняя часть составляет безвозвратные потери для данного водоисточника, но общее количество воды не изменяется.

Наиболее доступны для населения и объектов хозяйственного комплекса страны ежегодно возобновляемые водные ресурсы рек, а также подземные воды верхних водоносных горизонтов.

Для обеспечения потребности в воде населения и хозяйства страны, защиты населенных пунктов и объектов экономики от наводнений и других вредных воздействий вод в России создан и функционирует мощный водохозяйственный комплекс. В его состав входит около 65 тыс. водохозяйственных объектов, в том числе около 30 тыс. регулирующих речной сток водохранилищ и прудов общим объемом более 8700 км³, 37 систем межбассейнового перераспределения стока с суммарной протяженностью каналов около 3 тыс. км и объемом перебрасываемого стока более 17 км³ в год.

В современных условиях (по данным на 2003—2004 гг.) забор воды из водных объектов России составляет около 85 км³ в год, в том числе 67 км³ — пресных поверхностных вод, 6 — морских вод и около 12 км³ подземных вод. В целом по России из водных объектов забирают относительно небольшую часть водных ресурсов (около 2 %). Однако в отдельных речных бассейнах отмечается

напряженная водохозяйственная обстановка (р. Дон, Кубань, Терек, Обь, Тобол, Ишим), усугубляющаяся неудовлетворительным качеством воды. Среди субъектов РФ крупнейшими потребителями воды в пересчете на душу населения являются Калмыкия, Дагестан, Чечня и Ингушетия (в 1,5...3 раза больше, чем в среднем по стране), что связано с большими затратами воды на орошение. Забор воды здесь приближается к общему объему водных ресурсов, особенно в маловодные годы.

Водные объекты — это не только поставщики свежей воды, они же и приемники различных видов отходов. В России ежегодно сбрасывают в водные объекты 55 км³ сточных вод, в том числе 20 км³ загрязненных (без очистки и недостаточно очищенных) сточных вод. В результате сброса со сточными водами загрязняющих веществ, поступления загрязнений с рассредоточенным стоком с водосборных территорий, аварийных ситуаций на нефтепроводах, шламонакопителях и очистных сооружениях вода подавляющего большинства поверхностных водных объектов при использовании для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения нуждается в сложной и дорогостоящей очистке, и на практике население вынуждено использовать питьевую воду, не соответствующую санитарно-гигиеническим требованиям.

С методологической точки зрения водные объекты — объекты природоведения (океанология, гидрология, гидрофизика, гидрохимия, гляциология, гидрогеология, гидробиология), прикладных (гидравлика, гидротехника, геотехника, ледотехника) и специальных наук (регулирование стока). Водные объекты являются объектами природопользования (по видам используемого ресурса), а также и природообустройства, цель которого — обеспечить в результате обустройства водного объекта приобретение им нового *качества*, т. е. новой ценностной характеристики функционального единства существенных его свойств, новой внутренней и внешней определенности, относительной устойчивости, отличия его от одних водных объектов и сходства с другими.

Потребность в обустройстве водных объектов (количественный забор и качество воды, изменяющиеся во времени глубины и уровни на водных объектах, состояние береговой линии) определяют исходя из их использования.

На государственном уровне функционирует комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния водных объектов под воздействием природных и антропогенных факторов, т. е. мониторинг водных объектов. Последний включает в себя не только регулярные наблюдения за состоянием водных объектов, оценку и прогнозирование количественных и качественных показателей вод водных объектов, но и сбор, хранение, пополнение и обработку данных мониторинга водных объектов.

11.2. РЕКИ И РЕЧНЫЕ БАСЕЙНЫ КАК ОБЪЕКТЫ ПРИРОДОБУСТРОЙСТВА

Большая часть поверхности Земли покрыта водой, что обеспечивает постоянное поступление влаги в атмосферу. При определенных условиях влага выпадает в виде осадков или аккумулируется на ледниках. На поверхности Земли сформировалась гидрографическая сеть, по которой выпавшие осадки устремляются к понижениям местности, образуя внутренние водоемы (озера, моря), или возвращаются в Мировой океан. Плоские низменности со спокойным рельефом характеризуются относительно слабо развитой речной сетью, а в горных районах суши чем выше, тем гуще речная сеть, что объясняется более благоприятными условиями стока.

Водный режим рек и внутригодовое распределение их стока зависят от преобладания тех или иных источников питания рек (сезонные снега, дожди, озера и болота, подземные воды, вечные снега и ледники) и их региональных особенностей.

Природный объект (природное тело), с которого воды стекают в отдельную реку или речную систему, называют речным бассейном, который включает в себя поверхностный и подземный водосборы. Поверхностный водосбор представляет собой участок земной поверхности, с которого поступают воды в данную речную систему или определенную реку. Подземный водосбор образуют толщи рыхлых отложений, из которых вода поступает в речную сеть. В общем случае границы поверхностного и подземного водосборов могут не совпадать.

Главная природная функция речного бассейна — стокообразующая. Речные бассейны — это объединенные по принципу единства гидрогеохимических потоков, имеющих один объект для своей разгрузки, геосистемы, пространственный базис для природопользования и природообустройства.

Цели обустройства речных бассейнов и их водосборов могут быть разные. Главной можно назвать улучшение качества речного стока в смысле объема стока и расходов воды в реке, желаемого распределения стока во времени, качества речных вод, глубин и уровней воды в русле, состояния дна и берегов, развития биоты. Остальные цели обустройства водосборов рассмотрены в разделе 12.

Влагооборот (о круговороте воды в природе подробнее см. разд. 3.5) в пределах речного бассейна зависит, с одной стороны, от количества влаги, поступающей извне, а с другой — от физико-географических особенностей самого бассейна (географического положения, рельефа, почв, геологических отложений, растительности и др.). Количественные соотношения между отдельными составляющими водообмена в речном бассейне устанавливаются

водным балансом, который для естественных условий имеет вид

$$O_c - W_{\text{ст}} - E + \Delta W_{\text{пз}} + \Delta W_{\text{за}} + \Delta W_{\text{гв}} = s, \quad (11.1)$$

где O_c — осадки, выпавшие на поверхность речного бассейна; $W_{\text{ст}}$ — речной сток; E — суммарное испарение с бассейна; $\Delta W_{\text{пз}}$ — изменение запасов влаги на поверхности бассейна; $\Delta W_{\text{за}}$ — то же в зоне аэрации; $\Delta W_{\text{гв}}$ — изменение запаса грунтовых вод; s — невязка водного баланса.

Соотношение основных элементов водного баланса (осадков, стока и испарения) в среднем по времени примерно постоянно и определяет водоносность рек. Это соотношение на различных территориях земной поверхности суши различно. В распределении водного баланса природных зон и подзон России отчетливо прослеживается широтная зональность.

На территории Российской Федерации в пределах ее европейской части большинство рек несет свои воды на юг в районы недостаточного увлажнения; реки азиатской территории и северо-запада текут на север в районы избыточного увлажнения. Удельная водоносность территорий юга и юго-запада, где проживает большая часть населения страны и размещены орошаемые земли, примерно в 3...10 раз меньше водоносности северных территорий.

Большая часть территории России занята бассейнами рек, в питании которых основную долю составляют сезонные снега. Питание таких рек происходит почти исключительно в период весеннего снеготаяния. За это время насыщаются водой подземные горизонты, обеспечивающие меженный сток. В осенний период такие реки также пополняются дождями. Бассейны рек Дальнего Востока и Кавказа тяготеют преимущественно к дождевому питанию. Большая часть осадков здесь выпадает в летнее время года.

Размер стока влияет на густоту речной сети и водность рек. На большей части России коэффициент стока (соотношение годовых стока и осадков) уменьшается с севера на юг с 0,7 до 0,4. Его значения максимальны в восточной части Чукотского полуострова и на Корякском нагорье (0,9), минимальны — в пустынях и полупустынях Прикаспия (0,02).

Хозяйственное использование водных ресурсов речного бассейна существенно зависит от колебаний речного стока, в основном в течение года.

11.3. РЕЧНОЙ СТОК И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В естественных условиях речной сток формируется под влиянием:

климатических и погодных условий, характеризующихся осадками, температурой и влажностью воздуха и др.;

строения водосборного бассейна (рельефа, почв, геологических условий, растительности и др.);

морфометрических и гидравлических характеристик (размеры и конфигурация водосборной площади и речной сети, уклоны и строение русла и т. д.).

В современных условиях существенно влияние на формирование речного стока хозяйственной деятельности человека.

По предложению И. А. Шикломанова все факторы хозяйственной деятельности, влияющие на элементы водообмена в речном бассейне, можно разделить на три группы:

действующие на обширных площадях речного бассейна и изменяющие соотношения между элементами водного баланса;

в русловой сети и перераспределяющие сток во времени и по территории;

как в руслах, так и на водосборе и обуславливающие перераспределение стока и преобразование элементов водного баланса.

К факторам первой группы относят распашку территорий, орошение и осушение земель на водосборе, сведение и (или) восстановление лесов.

Существенное изменение режима стока может вызвать урбанизация речных бассейнов. При высокой степени урбанизации годовой сток, как правило, на 10 % больше естественного, а максимальный значительно возрастает (иногда в разы).

На водный баланс речного бассейна заметное влияние может оказывать дорожное строительство, вызывающее перераспределение поверхностных вод в пространстве и во времени. В этом случае уменьшение стока обычно связано с дополнительными потерями на испарение и фильтрацию во время аккумуляции талых и дождевых вод перед отверстиями дорожных труб и мостовых переходов.

Речные водохранилища (см. разд. 11.4) отнесены к факторам второй группы, которые действуют в основном в русловой сети и приводят к перераспределению речного стока во времени. Несколькими водохранилищами на одной реке образуют каскад.

Условия формирования стока изменяются также в результате использования подземных вод — фактора, относящегося к третьей группе. Интенсивная эксплуатация подземных горизонтов как с помощью водозаборных скважин, так и шахтного водоотлива или при осушении глубоких карьеров ведет к снижению уровня подземных вод, сокращению подземного питания и потери части руслового стока, что в отдельных случаях приводит к исчезновению малых рек, ручьев и родников, снижению уровня воды в водоемах.

В случае интенсивного развития в пределах речного бассейна хозяйственной деятельности в уравнение (11.1) вводят дополни-

тельные члены, характеризующие антропогенные составляющие влагооборота.

Основой для количественного анализа стока реки являются гидрометрические данные по многолетнему ряду наблюдений за расходами реки на водомерных постах.

Стоком реки называют количество воды, протекающее по реке за определенный отрезок времени (год, сезон, месяц, неделю, сутки и т. д.). Расход реки характеризует интенсивность стока в тот или иной момент времени. Объем стока $W_{ст}$ за период t и средний расход Q за этот же период связаны между собой зависимостью

$$W_{ст} = Q t. \quad (11.2)$$

Модуль стока характеризуется расходом воды, стекающим за одну секунду с единицы площади речного бассейна, и обычно его выражают в литрах за секунду с 1 км^2 площади бассейна.

Расходы и сток, изменяющиеся во времени и по длине реки, возрастают с увеличением водосборной площади и обычно достигают максимума в устье реки.

Важнейшая характеристика водного режима реки — графики внутригодового распределения расходов реки.

Например, график расходов р. Днепр — типичной равнинной реки с большими весенними паводками (половодьями) в результате таяния снега и относительно небольшими расходами в последующий меженный период за ряд лет — показан на рисунке 11.1. Обычно на таких реках за два-три месяца половодья проходит 60...70 % годового стока (рис. 11.2).

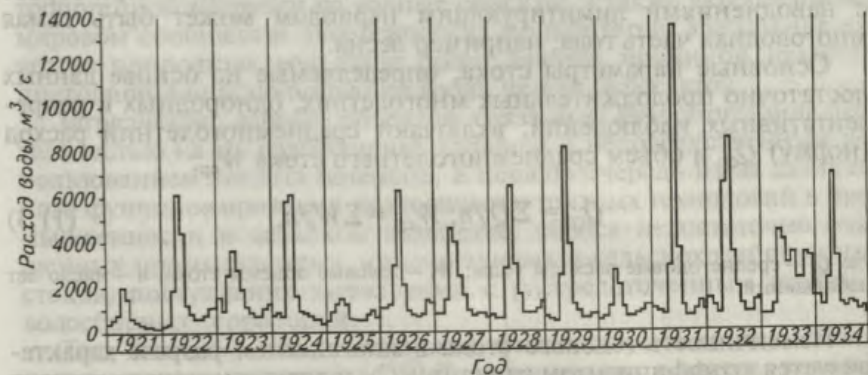


Рис. 11.1. График расходов р. Днепр в створе будущей Кременчугской ГЭС (с охватом многолетних и маловодных периодов)

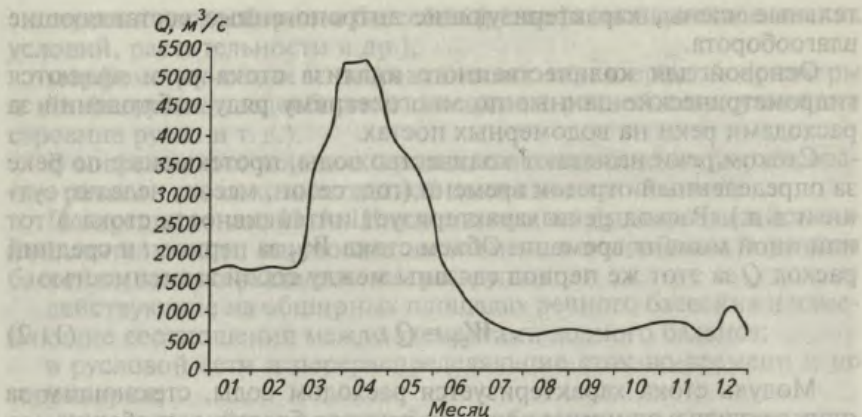


Рис. 11.2. Гидрограф р. Днепр у г. Киева в 1999 г.

Внутригодовое распределение стока рассчитывают по водохозяйственным годам, начинающимся с многоводного периода (например, весеннего половодья), продолжительность которого назначают так, чтобы в принятые его границы входило половодье за все годы наблюдений.

Период года, в котором естественный сток может ограничивать водопотребление, принимают за лимитирующий период. Для рек с весенним половодьем за лимитирующий период назначают два маловодных сезона: лето — осень и зиму. При преобладании водозабора на орошение лимитирующим сезоном является лето — осень, для гидроэнергетики и водоснабжения — зима. При борьбе с наводнениями лимитирующим периодом может быть самая многоводная часть года, например весна.

Основные параметры стока, определяемые на основе данных достаточно продолжительных многолетних, однородных и репрезентативных наблюдений, включают среднемноголетний расход (норму) $Q_{\text{ср}}$ и объем среднемноголетнего стока $W_{\text{ср}}$:

$$Q_{\text{ср}} = \sum Q_i / n; \quad W_{\text{ср}} = \sum W_i / n, \quad (11.3)$$

где Q_i — среднегодовые расходы воды; W_i — годовые объемы стока; n — число лет наблюдений.

Изменчивость годового стока в многолетнем разрезе характеризуется коэффициентом вариации C_v , значение которого зависит от неравномерности стока и представляет отношение среднеквадратичного отклонения годовых значений стока σ к их среднемноголетнему значению.

В случае мало изменяющегося за период наблюдений стока рек, например вытекающих из озер, C_v может составлять 0,15...0,25, а для засушливых районов, когда сток в маловодные и многоводные годы резко отличается, достигает 0,7...1,1.

Большая часть годового стока (92 %) рек России приходится на территории бассейнов Северного Ледовитого и Тихого океанов, т. е. на хозяйственно менее освоенные части страны. На наиболее обжитой территории (Центральный, Центрально-Черноземный, Уральский и Северо-Кавказский экономические районы) среднегодовой сток составляет лишь около 300 км³, или 7...8 % объема стока рек России. Модуль стока изменяется от 50 л/(с · км²) на северных склонах Кавказского хребта до 0,2 л/(с · км²) в Нижнем Поволжье и Калмыкии, в районе Кулундинской и Барабинской степей. Зона низких значений стока [не более 2 л/(с · км²)] занимает около 10 % территории в пределах Приволжского, Северо-Кавказского, Уральского и Западно-Сибирского экономических районов.

В бассейнах Каспийского, Азовского и Черного морей, где проживает 2/3 населения России, формируется менее 10 % стока. При этом именно здесь развито орошаемое земледелие — крупнейший потребитель воды в водохозяйственном комплексе страны.

Под влиянием многофакторного антропогенного воздействия речной сток изменяется не только количественно, но и качественно, в первую очередь вследствие эвтрофирования, загрязнения (механического, т. е. засорения, химического, биологического, радиационного и др.) и токсификации.

Проблемы качества воды стали актуальными в последние 40...50 лет, что вызвано в первую очередь резким возрастанием антропогенной нагрузки на водные объекты, а также укреплением в мировом сообществе экологических приоритетов. Ухудшение качества природных вод стало более важной причиной нехватки пригодной для использования воды, чем ее недостаток.

Загрязнение водных объектов связано с антропогенной деятельностью на их водосборной площади и непосредственным использованием водных объектов, в первую очередь из-за длительного функционирования экологически грязных технологий в промышленности и сельском хозяйстве, сброса недостаточно очищенных промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных стоков, поступления загрязнений с рассредоточенным стоком с водосборных территорий.

Так, бытовые стоки содержат физиологические выделения, причем в них находится до 60 % органических веществ, которые могут быть источниками инфекций. Сточные воды с содовых, серно-кислотных заводов, обогатительных фабрик содержат кислоты, щелочи, ионы тяжелых металлов. В сбросных водах нефтеперера-

батывающих и коксохимических заводов имеются фенолы, смолы, аммиак, нефтепродукты, вызывающие окислительные процессы и уменьшение содержания кислорода в воде. Пестициды, содержащиеся в дренажных водах с полей орошения, попадая в воду, скапливаются в планктоне, бентосе, рыбе и по пищевой цепи попадают в организмы птиц, зверей и человека.

Вода большинства водных объектов загрязнена нефтепродуктами, фенолами, органическими веществами, радионуклидами, соединениями меди, цинка, железа. На качество воды поверхностных водных объектов также значительно влияют загрязнение донных отложений, зарастание берегов водоемов и водотоков; истощены и загрязнены многие малые реки.

Наиболее чувствительны к качественному изменению состояния водных объектов живые организмы, включая человека, поэтому они устанавливают физико-химические и биологические показатели, определяющие качество воды.

Качество воды оценивают, используя водохозяйственный и экологический подходы.

Водохозяйственное понимание качества воды основано на определении пригодности воды для конкретных видов использования. Понятие «качество воды» в этом случае является социально-экономической характеристикой, которую приобретает вода при вовлечении в хозяйственный оборот в процессе деятельности человека. Качество природных вод напрямую связывают с превышением или непревышением концентраций веществ, содержащихся в них, для чего устанавливают предельно допустимые концентрации этих веществ (ПДК). ПДК установлены более чем для 1000 вредных веществ, загрязняющих водную среду, а в Международный регистр потенциально опасных химических веществ внесено уже более 35 тыс. наименований.

Поскольку виды использования водных объектов могут быть различными (культурно-бытовое, питьевое, рекреационное, промышленное, сельскохозяйственное, рыбохозяйственное и пр.), то должно быть и несколько систем ПДК, регламентирующих отдельные виды водопользования. Разработаны ПДК только для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового использования и для водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей (более строгие к качеству воды).

Кроме ПДК установлены и другие лимитирующие показатели вредных веществ (например, для сточных вод): содержание взвешенных веществ, наличие плавающей примеси, запахов и привкусов, окраски, температура, реакция (кислая, щелочная, нейтральная по pH), минеральный состав, содержание растворимого кислорода, биологическое потребление кислорода (БПК) и др.

Интенсивность биохимических процессов в конкретных водных объектах зависит от их глубины, скорости течения, расхода воды и фоновой (естественной) концентрации примесей. На практике используют другой лимитирующий показатель — предельно допустимый сброс (ПДС) загрязнений, по которому определяют допустимую массу сбрасываемых в водный объект загрязнений, чтобы не превысить соответствующие ПДК в фиксированных точках (створах).

Нормируемое посредством ПДС качество воды должно соответствовать нормативным требованиям в так называемом «контрольном створе», расположенном на реках на расстоянии 1 км выше ближайшего по течению пункта водопользования, а на водоемах — в 1 км по обе стороны от него.

Оценка качества природных вод по критериям ПДК на практике выявила целый ряд недостатков водохозяйственного подхода (игнорирование географических, гидрологических, климатических и других особенностей формирования качества природных вод), так как системы ПДК являются общегосударственными нормативами. Кроме того, ПДК не учитывают многообразие форм вредных веществ (растворенные, сорбированные и пр.), а концентрации веществ в природных водах (природный гидрохимический фон), сформированных под влиянием химического состава компонентов водосборов, часто превышают нормативы ПДК.

При водохозяйственном подходе в качестве водопользователей рассматривают только «внешних» по отношению к водному объекту потребителей (промышленность, сельское хозяйство, рекреация), забывая о «внутренних» — гидробионтах водной экосистемы. Поэтому нередко «внешний» потребитель качество воды признает достаточно высоким, хотя в действительности в водном объекте идут негативные процессы, направленные на деградацию биоты («внутреннего» потребителя). Поэтому в последние годы из-за взаимосвязи качества воды с водной экосистемой стали широко применять экологический подход, основанный на использовании биологических методов оценки качества — биотестирования и биоиндикации.

При оценке качества поверхностных пресных, сточных и грунтовых вод применяются различные методы биотестирования: определение токсичности воды по жизнедеятельности тест-объектов (беспозвоночных, например дафний, рыб) и ингибированию темпа роста водорослей, а также по ферментативной активности бактерий.

Качество воды основных поверхностных водных объектов России не соответствует нормативным требованиям, предъявляемым к воде водоемов рыбохозяйственного назначения. На отдельных

участках рр. Невы, Томи, Оки ниже впадения рр. Москвы, Урала и других вода непригодна для питьевого и хозяйственно-бытового использования. Обогащение вод биогенными и органическими веществами, которое стало характерным для всей центральной европейской части России, привело к эвтрофикации водных объектов с последующим изменением фауны комплексов водных экосистем. Резко интенсифицировались неблагоприятные внутриводоемные процессы, в результате которых загрязнения трансформируются и накапливаются донные отложения, содержащие опасные вещества. В хозяйственно освоенных районах России накоплены сотни миллионов тонн донных отложений, которые представляют значительную экологическую опасность. Вторичное загрязнение вод, вызываемое донными отложениями, является причиной деградации экосистем рек, озер и водохранилищ.

11.4. РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА ВОДОХРАНИЛИЩАМИ

Наряду с природоохранными, мелиоративными, противостийными и инженерно-экологическими системами к системам природообустройства относят инженерные системы регулирования поверхностного стока, необходимые при комплексном использовании водных объектов. Регулирование речного стока с помощью водохранилищ — самый радикальный и наиболее распространенный способ преобразования естественного водного режима рек в интересах человека.

Водохранилища сооружают в долинах рек путем возведения плотины или в крупных естественных депрессиях — чашах, куда воду подают, как правило, по каналам. Иногда водохранилища образуют путем создания выемки — наливные водохранилища, копани.

В естественных условиях реки характеризуются крайне неравномерным многолетним, годовым и сезонным распределением стока.

В тех случаях, когда естественный режим стока не отвечает потребностям, его трансформируют с помощью речных гидроузлов, образующих водохранилища многолетнего (для выравнивания между годами) или сезонного (для приведения в соответствие режимов стока и водопотребления) регулирования.

При регулировании стока водохранилищами для целей гидроэнергетики встречаются недельный (для увеличения выработки электроэнергии в рабочие дни за счет сокращения в нерабочие дни) и суточный (для увеличения расхода воды через турбины гидроэлектростанции в часы пиковой энергонагрузки) виды регулирования.

С морфогенетической точки зрения выделяют следующие группы речных водохранилищ: русловые и долинные (пойменно-долинные и котловинно-долинные). К русловым водохранилищам относят зарегулированные участки речного русла, называемые на судоходных реках шлюзованными участками. Малые по своей емкости и сильно проточные русловые водохранилища, емкость которых слишком мала для регулирования речного стока, создают не только как водоемы судоходного назначения, но и как источники водоснабжения, из которых забирают воду в оросительные каналы, системы водоснабжения коммунально-бытового хозяйства, на ТЭС, АЭС и, как правило, деривационные ГЭС.

Для регулирования речного стока предназначены гидроузлы с большим долинным водохранилищем (вместимость обычно более 10 млн м³), которые коренным образом преобразуют водный режим регулируемой реки в пределах своего верхнего и нижнего бьефов. Ложем долинного водохранилища служит отрезок речной долины. Поэтому им свойствен продольный уклон дна и увеличение глубин от верховий в сторону подпорного сооружения гидроузла (плотины). Длина таких водохранилищ в 5...10 раз и более превышает их ширину. Дном и берегами водохранилищ становятся поверхности пойменных и надпойменных террас, коренные берега речных долин.

Среди 327 больших водохранилищ России долинные водоемы составляют 82 %, среди водохранилищ гидроэнергетического назначения — 87 %, а среди водохранилищ, предназначенных для водоснабжения, — 94 %. Долинные водохранилища как по числу, так и по накопленным в них водным и биологическим ресурсам доминируют не только в России, но и в большинстве стран мира.

Для водохранилищ (рис. 11.3) установлены три основных объема:

мертвый объем $V_{\text{МО}}$ (постоянная геометрическая часть объема водохранилища, которая в нормальных условиях эксплуатации не сбрасывается и в регулировании стока не участвует), соответствующий

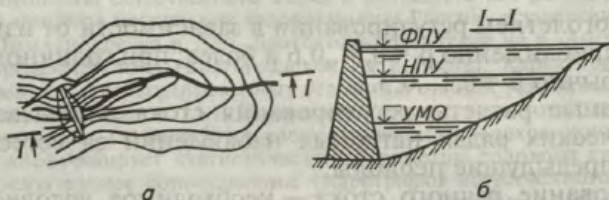


Рис. 11.3. План (а) и продольный профиль (б) водохранилища

ющий уровню мертвого объема (УМО); при его расчете учитывают следующие условия: заилиение водохранилища наносами за проектный срок, санитарно-технические требования, обеспечение необходимого качества воды, условия для судоходства, рыбного хозяйства, мелиорации, гидроэнергетики и др.;

полный объем $V_{\text{нпу}}$ — соответствует нормальному подпорному уровню (НПУ), т. е. наивысшему проектному уровню верхнего бьефа, который поддерживается в нормальных условиях эксплуатации гидроузла;

полезный объем $V_{\text{плз}}$ — основная рабочая часть объема водохранилища, предназначенная для регулирования стока и определяемая водохозяйственными и технико-экономическими расчетами; зависит от назначения водохранилища и вида регулирования стока:

$$V_{\text{плз}} = V_{\text{нпу}} - V_{\text{мо}}, \quad (11.4)$$

где $V_{\text{мо}}$ — мертвый объем.

Акваторию водохранилища выше створа гидроузла называют его верхним бьефом, хотя нередко под этим термином понимают лишь приплотинную наиболее глубоководную часть (или плес) долинного водохранилища. Участок реки, расположенный ниже гидроузла, где гидрологический режим определяют попуски воды из водохранилища, называют нижним бьефом.

Методы водохозяйственных расчетов водохранилищ разделяют на балансовые, основанные на использовании длительных наблюдений за стоком, и обобщенные, опирающиеся на математическую статистику и теорию вероятностей.

Степень регулирования стока зависит от соотношения полезного объема водохранилища $V_{\text{плз}}$ к объему среднегоголетнего стока $W_{\text{ср}}$ и неравномерности стока во времени (коэффициенты вариации C_v и асимметрии C_s).

Коэффициент объема регулирования водохранилища, приближенно характеризующий степень регулирования:

$$\beta = V_{\text{плз}} / W_{\text{ср}}. \quad (11.5)$$

При многолетнем регулировании в зависимости от изменчивости стока приближенно $\beta = 0,3 \dots 0,6$ и более; при годичном регулировании обычно $\beta = 0,1 \dots 0,3$.

Прогнозные расчеты регулирования стока основываются на хронологических рядах натуральных наблюдений за естественным стоком за предыдущие периоды.

Регулирование речного стока — необходимое условие рационального использования стока рек, и осуществляют его с помо-

щью водохранилищ, перераспределяя во времени объем естественного стока в соответствии с требованиями водопотребителей и водопользователей.

Важная характеристика водопотребления — его обеспеченность, которая показывает, в течение какого числа лет по отношению ко всему хронологическому ряду при данном полезном объеме водохранилища обеспечивается установленное водопотребление.

Обеспеченность водопотребления P можно вычислить по приближенной формуле

$$P = m \cdot 100 / (n + 1) \text{ или } P = (m - 0,3) / (n + 0,4) 100, \quad (11.6)$$

где m — число лет, в течение которых удовлетворяется установленное водопотребление (порядковый номер члена в убывающем ряду наблюдений); n — число членов ряда.

Расчетную обеспеченность устанавливают технико-экономическими расчетами, в которых сравниваются эффект от регулирования стока водохранилищами и все затраты на его создание, включая компенсацию негативного влияния на окружающую среду. Расчетная обеспеченность водопотребления обычно составляет для коммунально-бытового водоснабжения $P = 95\%$, для гидроэнергетики — 90% , для орошения — $75\text{--}80\%$.

Регулирование стока увеличивает стационарные запасы воды в водных объектах, возможности изъятия вод, сокращая тем самым речной сток. Стационарные с водохозяйственной точки зрения запасы воды накапливаются при заполнении водохранилищ до уровня сработки, а также вследствие насыщения водой грунтов ложа и бортов водохранилищ. Возможности регулирования стока рек возрастают в условиях каскада водохранилищ.

Работа водохранилищ, безусловно, искажает естественный режим речного стока, в первую очередь за счет изъятия и потерь воды из-за дополнительного испарения с поверхности водохранилищ, а также регулирования их режима.

Трансформацию естественного стока в результате его регулирования рассмотрим на примере нескольких водохранилищ России, осуществляющих многолетнее (Цимлянское на р. Дон, Братское и Иркутское на р. Ангаре) и сезонное регулирование стока (Волгоградское на р. Волге). Характеристики стока для естественных и зарегулированных условий в створах указанных водохранилищ приведены в таблице 11.1. Не только сезонное, но и многолетнее регулирование (не очень глубокое) на рассматриваемых водохранилищах несущественно трансформирует статистические параметры годового стока C_v и C_s . Гораздо показательнее сопоставление гидрографов естественного и зарегулированного стоков за характерные годы, например близкие к 50% -й обеспеченности (рис. 11.4).

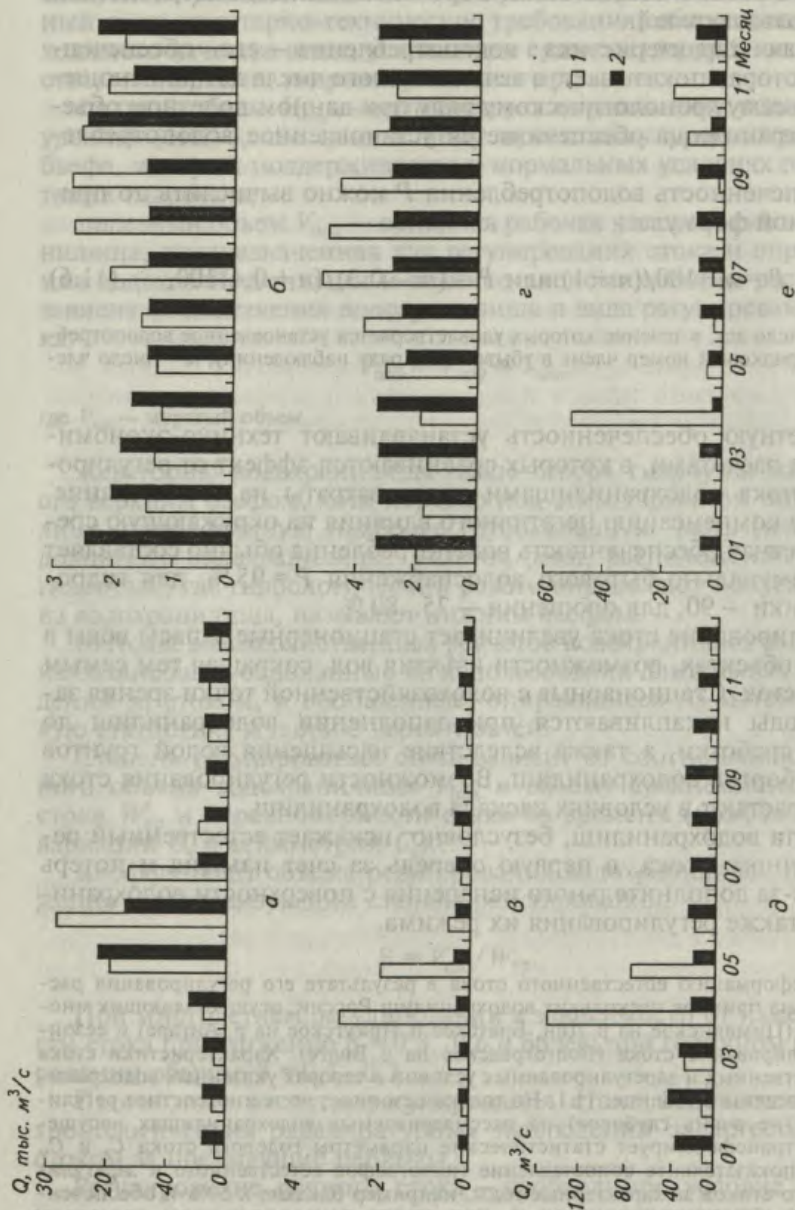


Рис. 11.4. Гидрографы лет со стоком 50%-й обеспеченности в естественном режиме стока (1) и в зарегулированном (2): а — р. Волга (Волгоград); б — р. Дон (Цимлянское водохранилище); в — р. Урал (Иртышское водохранилище); г — р. Ангара (Братское водохранилище); д — р. Ангара (Иркутское водохранилище); е — р. Москва (Можайское водохранилище)

11.1 Характеристики режима годового стока рек в створах водохранилищ

Водохранилище	Питание реки	Площадь водосбора, тыс. км ²	Регулирование стока	$\beta = \frac{V_{\text{нп}}}{W_{\text{ср}}}$	Среднеголетний расход, м ³ /с		Коэффициент вариации расхода	
					естественный	зарегулированный	естественный	зарегулированный
Волгоградское	Снеговое	1350	Сезонное	0,03 (0,32)	7910	7120	0,20	0,22
Цимлянское	»	249	Многолетнее	0,52	697	537	0,36	0,43
Иркутское	Озерное	571	То же	0,75	1970	1960	0,15	0,15
Братское	»	736	»	0,52 (1,00)	2960	2900	0,12	0,10
Можайское	Снегодождевое	1,38	»	0,73	9,4	9,2	0,29	0,24

Примечание. В скобках — для всего каскада.

В результате регулирования норма стока на Ангарских водохранилищах практически не меняется, что свойственно водохранилищам транспортно-энергетического назначения; снижение нормы отражает масштаб изъятия вод, а не изменение их режима. Увеличение изъятий сопровождается ростом изменчивости стока.

Волжско-Камские водохранилища в целом осуществляют лишь сезонное регулирование стока в интересах широкого круга потребителей: гидроэнергетики (увеличение меженного, особенно зимнего стока), водного транспорта (повышение летне-осенних расходов воды). При этом лимитируют сокращение половодных расходов воды в целях поддержания условий нереста, затопления земельных угодий Волго-Ахтубинской поймы и в дельте р. Волги.

На Нижнем Дону половодье формируется двумя волнами: тальми водами нижней части бассейна, затем верхней. Если эти волны совпадают, наблюдается высокое и относительно короткое половодье, если нет — растянутое, иногда с двумя максимумами. Если ограничиться периодом, когда обычно идет большая вода, к половодью можно отнести апрель — май (см. рис. 11.4). В этом случае на половодье в естественных условиях приходится около 80 % годового стока. В зарегулированных условиях норма стока сокращается на четверть. Цимлянское водохранилище при коэффициенте емкости $\beta = 0,52$ осуществляет ограниченное многолетнее регулирование стока. Задачи трансформации стока при эксплуатации Цимлянского водохранилища следующие: ведущими отраслями-водопотребителями стали водный транспорт, что заставляет увеличивать водность реки в летне-осеннюю межень, и орошаемое земледелие, требующее воду в вегетационный период. На сокращение половодного стока р. Дон кроме изъятий воды влияет увеличение водности в летне-осенние месяцы примерно на 40 %.

11.5. ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЙ КОМПЛЕКС: ВОДОХРАНИЛИЩЕ — РЕЧНОЙ БАССЕЙН

Создание водохранилищ — наиболее активная форма регулирования во времени речного стока в интересах различных водопотребителей и водопользователей. Основное назначение водо-

хранилищ — перевод речного стока в нужный для потребителей режим (межгодовой, внутригодовой, сезонный, недельный, внутрисуточный). Водохранилища являются квазиприродными водоемами. На территории России располагается более 1000 крупных водохранилищ общим объемом около 1000 км³, а полезным, используемым для регулирования стока, — около 500 км³.

Природно-техногенный комплекс (ПТК) «водохранилище — речной бассейн» представляет собой систему, в пределах которой водообмен формируется в результате сложного совместного взаимодействия антропогенного объекта (водохранилища) и природного объекта (речного бассейна), масштаб которого зависит от их размеров, географического положения, типа водохранилища и места его расположения в гидрографической сети.

Запасы воды в водохранилище, с одной стороны, формируются за счет естественных факторов, определяющих объем притока, а с другой — за счет водозабора и искусственного регулирования сброса воды через подпорное сооружение. В крупных озерных водохранилищах, создаваемых путем подпора озер, преобладают статические (медленно возобновляемые) запасы воды. Для речных и наливных водохранилищ основной источник водных ресурсов — динамические запасы воды в руслах рек, т. е. речной сток.

Как водный объект в составе природно-техногенного комплекса водохранилище возникает сравнительно быстро (с точки зрения истории гидросферы). Даже крупнейшие водохранилища объемом более 1 км³ заполняются, как правило, в течение короткого (два-три года) периода. Этим водохранилища существенно отличаются от озер (исключая завальные озера), которые формируются в течение десятков и сотен тысяч лет, приобретая характерные черты гидрологического режима, наилучшим образом соответствующего природным условиям окружающего ландшафта.

Водоохранилища как новые антропогенные водные объекты, не пройдя длительного периода эволюционного развития в составе единого природного комплекса речного бассейна, вступают в интенсивное взаимодействие с окружающей их природной средой.

Водоохранилища существенно воздействуют на гидрологические и гидрогеологические условия прилегающей территории. Они увеличивают озерность речного бассейна, т. е. площадь, занятую водной поверхностью. Для крупных озерных водохранилищ доля площади водной поверхности в общей площади бассейна может составлять 4...10 %. Так, после создания Иркутского водохранилища площадь оз. Байкал увеличилась на 1465 км², т. е. на 5 %. Такой же порядок цифр характерен для крупных озерных водохранилищ северо-запада европейской части России (Верхне-Свирское водохра-

нилище — оз. Онежское, Юшкозерское водохранилище — оз. Юшк-озеро, Имандровское водохранилище — оз. Имандра).

Создание водохранилищ приводит к затоплению больших площадей суши, подтоплению прибрежных земель и подъему базиса эрозии, пополнению запасов подземных вод в береговой зоне и другим явлениям и процессам, которые вызывают изменения водных ресурсов речного бассейна и гидрологического режима водотока. С другой стороны, гидрологический режим самого водохранилища тесно связан с гидрометеорологическими условиями окружающей его территории, которые определяют основные водно-балансовые соотношения, свойственные водохранилищу.

Повышенное испарение с акватории водохранилища, а также накопление массы воды в нем, обладающей гораздо большей теплоемкостью и существенно меньшей шероховатостью поверхности по сравнению с прежним почвенно-растительным покровом речной долины, вызывают изменение микроклимата в прибрежных районах речного бассейна, причем тем существеннее, чем больше площадь водного зеркала и глубина водохранилища. Так, после создания водохранилища заметно изменяется режим ветра на прибрежных территориях: усиливается скорость ветра; существенно увеличивается число случаев, когда ветры дуют с водохранилища (бризы) и при пологих безлесных склонах долины проникают на сушу до 2...3 км; сокращается в 2...3 раза число дней со штилем (С. Л. Вендров). Эти изменения ветрового режима способствуют улучшению воздушной среды в промышленных зонах и жилых микрорайонах городов, расположенных вблизи водохранилищ.

После возведения водохранилища создаются условия для увеличения влажности и изменения температуры воздуха на побережье: ход температур становится более плавным, суточная температура воздуха снижается; как правило, уменьшается континентальность климата.

Ширина зоны микроклиматического влияния водохранилища переменна и зависит от размеров водохранилища и его географического положения, направления и скорости ветра, крутизны и высоты берегов долины, степени их расчлененности балками, оврагами и долинами притоков. Считают, что суммарная площадь суши, попадающая под климатическое влияние водохранилищ, соизмерима с площадью их акваторий. В Евразии в направлении с юга на север ширина полосы активного влияния водохранилищ на климат увеличивается и составляет для крупного водохранилища от 1...3 км на юге до 10...15 км на севере, а для малого водохранилища — соответственно от 20...30 км до 250...300 м.

Регулирование стока водохранилищем отражает его водный баланс, составляемый на год, месяц, декаду. Водный баланс характе-

ризует соотношение составляющих приходной и расходной частей зарегулированного стока за расчетный период, учитывая, что для каждого вида регулирования характерны свои периоды и объемы наполнения и сработки.

Водный баланс водохранилища записывают в следующем виде:

$$I_{\text{п}} + Oc - W_{\text{сб}} - E_{\text{в}} + \Delta W_{\text{п}} \pm \Delta W_{\text{г}} = s, \quad (11.7)$$

где $I_{\text{п}}$ — поверхностный приток по основному руслу и боковая приточность за счет рек, впадающих в водохранилище; Oc — осадки, выпавшие на поверхность водоема; $W_{\text{сб}}$ — сброс (сток) из водохранилища; $E_{\text{в}}$ — испарение с водной поверхности; $\Delta W_{\text{п}}$ — изменение объема воды в водоеме за расчетный интервал времени; $\pm \Delta W_{\text{г}}$ — подземный водообмен между водохранилищем и его береговой зоной; s — невязка водного баланса.

Водный баланс крупнейших водохранилищ России, расположенных в различных климатических зонах, приведен в таблице 11.2, из которой видно, что в расходной части баланса потери на испарение существенно изменяются в зависимости от климатических условий и параметров водохранилища. Так, в аридных регионах испарение значительно превышает осадки.

В большинстве случаев именно крупные водохранилища служат основой, определяющей возможность комплексного использования водных объектов. При этом устраняются или смягчаются существующие между водопотребителями противоречия, но возникают новые в связи с изменившейся водохозяйственной обстановкой, в основе которых лежат более разнообразные возможности использования воды и появление новых водопотребителей.

11.2. Средний многолетний годовой водный баланс водохранилищ России с полным объемом более 1 км³

Водохранилище	Приход		Расход		Расчетный период (годы)
	Поверхностный приток, км ³ /год	Осадки, км ³ (мм)	Сток, км ³	Испарение, км ³ (мм)	
Братское	91,30	1,62(325)	90,98	1,94(390)	1962—1980
Вилуйское	18,13	0,60(302)	17,95	0,78(392)	1974—1980
Волгоградское	237,16	1,16(384)	236,05	2,27(751)	1959—1980
Воткинское	53,66	0,58(580)	53,77	0,47(470)	1966—1980
Горьковское	46,62	1,01(658)	47,76	0,87(566)	1957—1980
Иваньковское	9,20	0,19(613)	9,23	0,16(516)	1952—1980
Иркутское	62,30	12,20(377)	61,30	13,20(408)	1962—1980
Камское	52,78	0,93(628)	52,95	0,76(513)	1956—1980
Куйбышевское	235,72	2,72(507)	234,86	3,58(668)	1957—1980
Нижнекамское	87,74	0,62(458)	87,66	0,70(514)	1980—1989
Новосибирское	55,21	0,35(359)	54,97	0,59(606)	1960—1980
Рыбинское	30,07	2,13(578)	30,11	2,09(567)	1948—1980
Саратовское	230,98	0,79(420)	230,57	1,20(640)	1969—1980

Водохранилище	Приход		Расход		Расчетный период (годы)
	Поверхностный приток, км ³ /год	Осадки, км ³ (мм)	Сток, км ³	Испарение, км ³ (мм)	
Саяно-Шушенское	46,70	0,31(500)	46,70	0,31(500)	—
Угличское	10,95	0,14(617)	10,96	0,13(573)	1952—1980
Усть-Илимское	100,44	0,76(417)	100,60	0,60(329)	1977—1980
Хантайское	16,11	2,12(1000)	17,70	0,53(250)	—
Цимлянское	18,79	1,09(484)	17,57	2,31(1025)	1953—1980
Шекснинское	4,56	0,93(571)	4,79	0,70(430)	1964—1980
Юшкозерское	3,12	0,21(452)	3,18	0,15(327)	1957—1980

Многие крупные водохранилища комплексного назначения могут осуществлять многолетнее и сезонное регулирование речного стока. В США из 75 водохранилищ объемом более 1 км³ 55 водохранилищ с $\beta \geq 0,5$ осуществляют многолетнее регулирование стока; в странах СНГ из 66 водохранилищ объемом более 1 км³ 24 водохранилища многолетнего регулирования.

Резко возрастают возможности регулирования стока рек в условиях каскада водохранилищ. При этом верхние водохранилища влияют на все нижерасположенные, обеспечивая их зарегулированным стоком и повышая гарантированную отдачу. Однако при таком размещении регулирующих водохранилищ в объеме речного стока, используемом при регулировании в верхнем течении реки, не участвует сток притоков на нижерасположенном участке.

При размещении регулирующих водохранилищ в нижней части каскада за счет притоков увеличивается объем стока, который можно использовать при регулировании на нижерасположенных ступенях. Оптимальное размещение регулирующих водохранилищ в каскаде определяют технико-экономическим сопоставлением вариантов с учетом природных условий, влияния на природную и социальную среду.

Так, на Волжском каскаде гидроузлов основными регулируемыми водохранилищами являются Рыбинское и Волжское (Куйбышевское) с полезным объемом соответственно 16,7 и 34,6 км³, а остальные гидроузлы волжских ГЭС работают в основном на расходах, поступающих из этих водохранилищ.

Для регулирования водного режима поймы и русла с целью получения наибольшей рыбохозяйственной и фитопродуктивной полезности водотока на реках степной зоны России создают природно-техногенные комплексы, включающие пойменные наливные водохранилища-копаны (во избежание затоплений ценных пойменных земель), заливные луга, пастбища и нерестилища.

Несмотря на комплексное использование большинства водохранилищ, как правило, всегда есть приоритетный водопотребитель.

тель. В южных засушливых районах — это, как правило, орошение и водоснабжение, в горных и предгорных областях — гидроэнергетика и орошение, в зоне избыточного увлажнения — гидроэнергетика и водный транспорт, в плотнонаселенных индустриальных районах — водоснабжение и рекреация.

Для эффективного регулирования стока и режима работы водохранилищ в процессе эксплуатации в интересах участников водохозяйственного комплекса используют специальные диспетчерские правила, которые должны обеспечить гарантированную водоотдачу, смягчить перебои в водоотдаче в маловодные периоды, превышающие расчетную обеспеченность. В диспетчерских правилах, которые основываются на результатах анализа работы водохранилищ или их каскада по календарному ряду наблюдений прошлых лет, дают рекомендации по режимам работы водохранилищ с помощью управляющих компьютерных программ.

Для количественной оценки использования водных ресурсов водных объектов, а также планирования и принятия решений по вопросам использования и охраны водных объектов предназначены водохозяйственные балансы (ВХБ). В отличие от водного баланса, который служит для анализа природных и антропогенных изменений в круговороте воды, ВХБ позволяет выявить взаимные связи и установить водообеспеченность потребителей и территорий, определить влияние хозяйственной деятельности на количественные и качественные характеристики водных ресурсов.

ВХБ представляют собой расчетные материалы количественного сопоставления потребностей водопользователей (участников водохозяйственного комплекса) в воде с имеющимися на данной территории водными ресурсами (с учетом регулирования стока). ВХБ составляют, как правило, за определенный период для конкретных территорий: речных бассейнов (или их участков), административных и экономических районов, физико-географических регионов и более крупных агломераций.

Содержание и сложность ВХБ определяются природно-климатическими условиями, объемом существующего и планируемого водопотребления, противоречивостью требований водопотребителей, переплетением хозяйственных связей участников водохозяйственного комплекса, детальностью исходной информации и другими показателями.

На практике выделяют три основных вида ВХБ: современные (отчетные и оперативные), среднесрочные (плановые — составляют на 5...10 лет), долгосрочные (перспективные — на 10...20 лет и более).

Разработка ВХБ — многофакторная задача с большим числом исходных данных; для ее правильного и быстрого решения необходимо использовать ЭВМ и соответствующую методику расчета.

Любая методика расчета ВХБ касается трех составных частей водохозяйственного баланса: оценки располагаемых водных ресурсов; оценки водопотребления; процедуры сопоставления или собственно расчетов и анализа ВХБ.

В современной водохозяйственной практике при разработке ВХБ в основном используют три методических подхода:

расчет по репрезентативным вероятностным характеристикам стока и потребления воды за короткий период (год, сезон, месяц и т. д.), например путем сравнения гидрографа годового стока заданной обеспеченности с соответствующими этой водности потребностями в воде;

расчет ВХБ календарным методом осуществляется путем использования календарных гидрологических рядов и синхронных с ними данных наблюдений за параметрами гидрометеорологического режима, определяющими потребность в воде, например для орошения и потерь на испарение;

расчет ВХБ обобщенными методами предполагает либо составление баланса в форме дифференциального уравнения, стохастические переменные которого (речной сток, требования водопотребителей, отдача водохранилища и др.) заданы законами распределения вероятностей, а также известна их связь друг с другом во времени и пространстве, либо составляющие баланса моделируют методом Монте-Карло, т. е. с помощью смоделированных и увязанных в пространстве и во времени гидрологических рядов требуемой длины и соответствующей системой рядов переменного водопотребления. Расчет ВХБ обобщенным методом позволяет оценить состояние водохозяйственной системы в разнообразных ситуациях, что наиболее важно при глубоком многолетнем регулировании стока и большой степени освоения водных ресурсов рассматриваемого речного бассейна. Методами математического моделирования составляют ВХБ для сложных и развитых водохозяйственных систем. При этом в общую систему моделей ВХБ входят модели различного генезиса — природные, экономические, социальные, технологические и назначения (имитационные, оптимизационные и оптимизационно-имитационные).

При составлении ВХБ его статьи группируют в приходную и расходную части. Приходная часть ($W_{\text{прих}}$) — это тот объем воды, которой располагает рассматриваемая территория в каждый расчетный интервал времени.

Для участка (территории) речного бассейна при совместном рассмотрении поверхностных и подземных вод

$$W_{\text{прих}} = W_{i-1} + W_i + W^+ + W_{\text{подз}} + W_{\text{вв}} \pm W_{\text{ангр}} + \Delta V_{\text{ср}}, \quad (11.8)$$

где W_{i-1} — объем стока со смежной территории (например, вышерасположенного

участка реки); W_1 — естественный сток, формирующийся на рассматриваемой территории; W^* — объем стока, поступающего из других бассейнов; $W_{\text{подз}}$ — эксплуатационные запасы подземных вод, гидравлически не связанных с речным стоком; $W_{\text{вв}}$ — объем возвратных вод от всех водопотребителей, сточные воды которых возвращаются на рассматриваемую территорию; $W_{\text{антр}}$ — изменение стока на рассматриваемом участке под влиянием антропогенной деятельности; $\Delta V_{\text{ср}}$ — объем сбросов в водохранилища, расположенного на этой территории за расчетный период.

Расходная часть ВХБ ($W_{\text{расх}}$) состоит из требования (фактического, заявленного, прогнозируемого) участников водохозяйственного комплекса (водопотребителей и водопользователей) к водным ресурсам рассматриваемой территории в том же расчетном интервале времени:

$$W_{\text{расх}} = W_{\text{водп}} + W_{\text{поп}} + W_{\text{разб}} + W_{\text{пот}} + W_{\text{подз}} + \Delta V_{\text{нап}}, \quad (11.9)$$

где $W_{\text{водп}}$ — объем водопотребления всеми участниками водохозяйственного комплекса; $W_{\text{поп}}$ — объем попусков из водохранилища на нижележащий участок; $W_{\text{разб}}$ — объем, необходимый для разбавления возвратных вод; $W_{\text{пот}}$ — объем потерь; $W_{\text{подз}}$ — уменьшение стока за счет отбора подземных вод, гидравлически связанных с ним; $\Delta V_{\text{нап}}$ — объем, необходимый для наполнения водохранилища.

В общем виде уравнение ВХБ имеет вид

$$\Delta W = W_{\text{прих}} - W_{\text{расх}}. \quad (11.10)$$

ΔW может быть:

положительным, когда располагаемые водные ресурсы (возможные для целевого использования запасы воды в водном объекте) рассматриваемой территории не только обеспечивают (с требуемой гарантией) потребности в воде участников водохозяйственного комплекса, но и имеется их избыток;

отрицательным, когда водные ресурсы (возможные для целевого использования запасы воды в водном объекте) недостаточны для удовлетворения потребностей в воде с необходимой обеспеченностью, т. е. имеется дефицит водных ресурсов;

увязанным (нулевым), когда водные ресурсы полностью удовлетворяют заявленную потребность в воде с требуемой гарантией.

Положительный ВХБ позволяет осваивать новые виды водопользования на рассматриваемой территории, увеличивать водозабор для существующих потребностей или, если это возможно, удовлетворять потребности других менее водообеспеченных территорий. Отрицательный ВХБ означает, что удовлетворение заявленных потребностей в воде требует принятия соответствующих мер либо в области увеличения водных ресурсов, либо в области сокращения или ограничения водопотребления, в том числе вве-

дением технических и организационных методов управления водными ресурсами в условиях их дефицита.

На практике используют следующие основные методы, позволяющие преодолеть дефицит водных ресурсов: совершенствование технологии водопотребления и водораспределения (регулирование водного режима орошаемых земель, строгий учет водопотребления и водоотведения, экономия непроезводительных затрат воды участниками водохозяйственного комплекса, борьба с испарением и фильтрацией); использование очищенных сточных вод и внедрение оборотных и безводных технологий (например, в промышленности, орошаемом земледелии, животноводстве, энергетике); временное перераспределение стока путем создания водохранилищ (регулирование стока); пространственное перераспределение стока путем подвода воды из других бассейнов (территориальное перераспределение стока); использование и выполнение подземных вод; опреснение коллекторных, грунтовых, шахтных и морских вод; стимулирование осадков; инженерное обустройство водосборов в целях регулирования стока (например, создание лиманов и водохранилищ на местном стоке).

Рассмотрим результаты составления ВХБ на примере оценки водообеспеченности участников Нижнедонского водохозяйственного комплекса (ВХК) на р. Дон при различных правилах управления Донской водохозяйственной системой. В современных условиях территория Нижнего Дона характеризуется исключительной напряженностью водохозяйственного баланса. Основной источник покрытия потребностей в воде участников ВХК — Цимлянское водохранилище, осуществляющее многолетнее регулирование стока.

Только для поддержания нормируемых судоходных глубин Нижнедонской ВХК использует ежегодно до $7,1 \text{ км}^3$ воды (40 % зарегулированного стока); на нужды других участников ВХК (в основном орошаемого земледелия) безвозвратно расходуется до 3 км^3 водных ресурсов водохранилища; гарантированный санитарный расход — $100 \text{ м}^3/\text{с}$.

По результатам расчетов, выполненных с использованием имитационных компьютерных моделей ВХБ р. Дон по 68-летнему гидрологическому ряду для шести ключевых створов, на современном и перспективном (2010—2015 гг.) уровнях развития водопотребления обеспеченность потребителей первой группы (водоснабжение) составляет более 95 % по числу бесперебойных лет и 98 % — по объему водоподдачи. Для водопотребителей второй группы (орошение и товарное рыбоводство) — в основном более 75 %. Показатели обеспеченности высокими ($14,2 \text{ км}^3$) рыбохозяйственных попусков составляют 25...30 %, $12,2 \text{ км}^3$ — 32...40 и $10,6 \text{ км}^3$ — 50...60 %, что на 15...20 % ниже заявленной. При наступлении маловодных периодов, подобных 1933—1939 гг. и 1969—1978 гг., рыбохозяйственные попуски объемами $12,2$ и $14,2 \text{ км}^3$ не обеспечиваются до десяти лет подряд. Обеспеченность нормальных судоходных попусков составляет 70...75 %, а гарантированных — 87...95 %. Обеспеченность нормального санитарного расхода составляет 75 %, сниженного — 95 %. Расчетную среднюю многолетнюю остаточную приточность по р. Дон в Азовское море при современном фактическом уровне водопотребления в бассейне оценивают в $21,6 \text{ км}^3$.

Результаты расчетов ВХБ по р. Дон указывают на невозможность удовлетворения требований водного транспорта, орошаемого земледелия и рыбного хозяйства

на Нижнем Дону с нормативными показателями обеспеченности. По всей видимости, рыбохозяйственные (нерестовые) попуски на р. Дон и воду для распределения Таганрогского залива подаются в недостаточном количестве. Поэтому очевидна необходимость переработки правил управления Донской водохозяйственной системой, в том числе и диспетчерских графиков Цимлянского водохранилища.

Схемы комплексного использования и охраны водных объектов (в существующих документах — водных ресурсов, о неудачности этого термина было сказано в начале главы) разрабатывают в целях определения водохозяйственных и иных мероприятий для удовлетворения перспективных потребностей общества в водных ресурсах, обеспечения рационального использования и охраны водных объектов, а также для предотвращения и ликвидации вредного воздействия вод. Они вместе с данными водохозяйственных балансов и водного кадастра служат основой для разработки федеральных, в том числе бассейновых, и территориальных государственных программ планирования и рационального использования, восстановления и охраны водных объектов.

Эти программы разрабатывают органы государственной власти на долгосрочный период и их уточняют при составлении прогнозов социально-экономического развития.

Схемы используют для установления лимитов водопотребления, водоотведения, экологических попусков. Они обязательны для руководства при планировании водохозяйственной и водоохранной деятельности на уровне субъектов хозяйственной деятельности, на муниципальном и территориальном. Схемы являются основой для согласования на бассейновом уровне территориальных программ использования и охраны водных объектов, развития водохозяйственного комплекса субъектов РФ.

11.6. ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА РЕЧНЫЕ БАССЕЙНЫ

Водоохранилища вызывают радикальные изменения природной среды, имеющие многообразные экологические и социальные последствия. Влияние водохранилища на прилегающие территории следует рассматривать в пределах шести характерных зон:

постоянного затопления — вся акватория водохранилища при НПУ у плотины и кривой подпора, соответствующей приточному расходу по главной впадающей реке Q 10%-й обеспеченности;

мелководная зона — часть водохранилища глубиной до 2...2,5 м при НПУ;

зона временного затопления — участок береговой полосы между НПУ и находящимся выше него форсированным проектным уровнем (ФПУ), который соответствует подпорному уровню воды

в паводки 1%-й обеспеченности для населенных пунктов и 5%-й обеспеченности для сельскохозяйственных угодий; между НПУ и ФПУ расположена резервная (противопаводковая) емкость водохранилища, предназначенная для обеспечения безопасности эксплуатации гидроузла, в том числе для предотвращения прорыва подпорного сооружения гидроузла (плотины) при непредсказуемо высоком расходе воды, притекающей к гидроузлу;

берегоразрушения (переформирования берегов) — зона смещения бровки берегового уступа вглубь прибрежной территории в результате абразии, эрозии, обвалов, оползней и осыпей;

подтопления — участок береговой полосы, расположенный выше НПУ там, где уровень грунтовых вод в пределах населенных пунктов выше фоновых отметок, а их зеркало приближается к земной поверхности на расстояние менее 2 м (если грунты глинистые и суглинистые) и 1 м (если песчаные и супесчаные);

влияния водохранилища в нижнем бьефе регулирующего гидроузла — неоднородная по характеру и масштабам изменения гидрологического режима и экологических условий.

В отличие от озер водохранилищам присущи более нестабильные уровни воды; больший размах внутригодовых колебаний, достигающих десятков метров, на порядок превосходящих величину многолетних колебаний среднегодового уровня. Большинству водохранилищ при этом свойствен многофазный режим внутригодовых колебаний уровня, при котором фазы наполнения и частичной сработки полезного объема многократно чередуются на фоне подъема уровня в половодье и его понижения в межень. Эти колебания уровня определяют непрерывное изменение размеров верхнего бьефа гидроузла, перемещение границ мелководной зоны водоема вверх и вниз по склонам долины и по поверхности поймы в верховьях водохранилища, эпизодичность явлений абразии и подтопления побережья. Например, площадь акватории котловинно-долинного Рыбинского водохранилища при сработке призма полезного объема на 5 м сокращается с 4550 (при НПУ) до 2350 км², а площадь акватории небольшого Можайского водохранилища при сработке на 7 м сокращается с 31 (при НПУ) до 17 км².

Водоохранилища вследствие замедления водообмена и богатства флоры и фауны обеспечивают самоочищение речных водных масс от загрязняющих веществ и восстановление природных питьевых качеств воды.

При создании водохранилищ больше изменяются земельные ресурсы речных бассейнов, оказавшиеся в зонах затопления, подтопления и переработки берегов, а также расположенные в нижних бьефах гидроузлов.

Структура земельного фонда, занятого 83 крупными водохра-

нищами гидроузлов, имеющими в своем составе ГЭС, из которых 71 расположено на европейской территории России, а 12 — на азиатской территории России, приведена в таблице 11.3. Общая площадь затопленных этими водохранилищами земель равна 4,6 млн га, или 0,27 % территории страны. Среди затопленных земель сельскохозяйственные угодья, преимущественно луга, занимали 45 % в европейской части страны и 23 % — в азиатской. В странах с более развитым водным хозяйством, например Канаде и США, доля затопленных водохранилищами земель в 2,2...3 раза больше, чем в России.

11.3. Отводы земель, млн га, под водохранилища гидроэлектростанций
(по К. К. Эдельштейну)

Угодья	Европейская территория РФ	Азиатская территория РФ	Россия в целом
Лесные	1,16	1,02	2,18
Сельскохозяйственные	1,28	0,40	1,68
В том числе пашня	0,33	0,15	0,48
Прочие земли	0,41	0,34	0,75
Итого	2,85	1,76	4,61

В бывшем СССР наибольшие отводы земель под крупные водохранилища были в 1950—1960 гг., когда развернулось строительство крупных гидроузлов на равнинных реках европейской части страны, а в последующее десятилетие — в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. В 1985—2000 гг. изымали земли в основном при строительстве водохранилищ Курейской, Бурейской, Богучанской и Вилюйской ГЭС-3 в восточных районах России, в которых земли для сельского хозяйства практически не используются.

Половину затопленных земель раньше покрывали леса, росшие на террасах и склонах речных долин. С их исчезновением лесной фонд России, равный 771 млн га, сократился на 0,28 %. При создании водохранилищ в лесных районах были отмечены случаи, когда лес до наполнения водохранилищ по разным причинам не был убран (Рыбинское водохранилище) или убран только частично (Братское водохранилище и др.).

Все населенные пункты, предприятия, сооружения, транспортные и инженерные коммуникации, ЛЭП, расположенные в зоне затопления, переносят либо устраивают инженерную защиту. Также должна быть обеспечена эффективная инженерная защита ценных земель, крупных массивов мелководий, объектов природно-заповедного фонда.

Площадь земель, попадающих в зоны временного затопления, невелика, так как оно происходит в верховье водохранилищ. Временно затопляются в основном сенокосные угодья, влияя преимущественно положительно, за исключением случаев, когда затопле-

ние происходит не весной, а в другие периоды года. В зоне периодического затопления формируются болотные и торфяно-глеевые почвы с высокой степенью заторфованности и большим содержанием закисных форм железа.

При заполнении водохранилищ подтопляются территории, в том числе сельскохозяйственные земли, населенные пункты и др. В горных и предгорных районах с крутыми берегами подтопление, как правило, отсутствует или незначительно. Особенно значительно влияние подтопления на природные комплексы прибрежных территорий в условиях равнинных водохранилищ с низкими и пологими берегами.

Подтопление земель, обусловленное подъемом уровня грунтовых вод до корнеобитаемого горизонта, может быть как отрицательным, так и положительным в зависимости от степени подтопления и природно-географических особенностей района водохранилища. Зону подтопления вокруг водохранилищ подразделяют на подзоны — сильное, умеренное и слабое подтопление.

В зоне умеренного подтопления с глубинами грунтовых вод 1...2 м доминируют процессы изменения подзолистых почв: повышается содержание гумуса, азота, фосфора, кальция и соединений железа, уменьшается кислотность в нижнем слое, а черноземы могут засолиться. В зоне слабого подтопления с глубинами 2...4 м увеличивается подвижность гумусовых веществ и соединений железа.

Подтопленные территории, прилегающие к водохранилищам, как правило, нельзя использовать в прежних целях, их обычно превращают в луга. Умеренное и слабое подтопление иногда благотворно влияет на водный режим почв, особенно в аридных районах, и нередко приводит к увеличению продуктивности лугов. В районах избыточного увлажнения основное отрицательное влияние подтопления выражается в заболачивании местности. В аридных районах подтопление вызывает опасность засоления почв.

Площади подтопленных водохранилищами земель в России оценивают от 0,3 млн га (по данным А. Ш. Резниковского) до 1,6 млн га (по данным В. С. Вуглинского). Площадь подтопленных земель на различных водохранилищах составляет 3...15 % площади затопления. Так, на Братском водохранилище (с площадью водного зеркала при НПУ 5470 км²) подтоплено около 20 тыс. га земель, в том числе 1,6 тыс. га пашни, а площадь подтопления земель в зоне влияния крупных водохранилищ Волжско-Камского каскада составляет 11 % площади зеркала водохранилищ. Способы борьбы с подтоплением земель, в том числе населенных пунктов, рассмотрены в разделе 8.

В площадь отвода земель под водохранилища включают также зону переформирования берегов. На крупных водохранилищах в

равнинных районах переработка обычно охватывает 50...70 % протяженности береговой линии, при этом ширина полосы переработки достигает 200...300 м. Процесс разрушения берегов длительный и растягивается на несколько десятилетий при наибольшей активности в первые 1...3 года.

Процесс переформирования берегов более характерен для крупных равнинных водохранилищ и менее — для водохранилищ на горных реках. Наиболее интенсивно разрушаются крутые берега, сложенные рыхлыми песками или лёссами. Решающую роль также играют ветровое волнение, вдольбереговые течения, положение депрессионной кривой грунтовых вод, режим колебания уровней воды в водохранилище. Существенное влияние на процессы переработки берегов могут оказывать техногенные факторы, такие, как подрезка склонов, отвалы, застройка и искусственное обводнение склонов, берегоукрепительные мероприятия.

На Куйбышевском водохранилище, по многолетним наблюдениям, переработка песчаного берегового уступа на одном из его участков составила 600 м³/год в период наполнения водохранилища, в период действия водохранилища в разные годы уменьшалась с 10...15 до 82...165 м³/год на 1 м берега.

Для защиты от переработки прибрежной зоны населенных пунктов, промышленных объектов, транспортных коммуникаций, сельскохозяйственных земель и лесных угодий, рекреационных зон широко используют различные типы креплений (железобетонные, из камня, биопозитивные — посадка быстрорастущих берегоукрепляющих растений, подпорные стенки, буны, волноломы). В ряде случаев для защиты от переработки применяют комплексный метод: намыв песчаного грунта с пляжным пологим откосом и биологическим креплением к береговому склону (см. разд. 10).

Сооружение водохранилища приводит также к образованию обширного земноводного пространства (мелководно-осушенной зоны) переменной ширины и площади, которое в фазы наполнения затапливается водой водохранилища, а в фазы сработки превращается в территорию побережья.

В пределах мелководной зоны поселяется высшая водная растительность (макрофиты), которая имеет важное значение для водной экосистемы и во многом определяет биологическую продуктивность и самоочистительную способность водоема, а также процессы вторичного загрязнения воды. Для рыбохозяйственных целей и активизации процесса самоочищения оптимальная доля площади мелководья составляет 10...15 % на малых водохранилищах и 5...10 % — на крупных. При меньшей доле не хватает площадей для нереста и нагула многих видов рыбы. При большей доле в зимний период, когда отмирают макрофиты, создаются заморные условия для рыб.

Мелководная зона водохранилища может быть использована в различных хозяйственных целях: для развития кормопроизводства и рисоводства (в южных районах), разведения растительноядных рыб (толстолобик, белый амур) и водоплавающей птицы, ондатры и нутрии.

Особенно обширны такие мелководные пространства на равнинных водохранилищах России, где они составляют существенную долю площади акватории при НПУ, %: 60 — на Рыбинском водохранилище, более 80 — на Иваньковском, 70 — на Угличском, 50 — на Можайском водохранилище.

Для предотвращения загрязнения, засорения и истощения вод в зоне влияния водохранилища устанавливают водоохранные зоны и прибрежные полосы. Соблюдение специального режима на территории водоохранных зон — составная часть комплекса природоохранных мер по улучшению гидрологического, гидрохимического, гидробиологического, санитарного и экологического состояния водных объектов и благоустройству их прибрежных территорий (см. разд. 10).

Зону влияния водохранилища в нижнем бьефе регулирующего гидроузла различают на верхнюю подзону, где сказывается суточное и недельное регулирование стока, и нижнюю подзону, где проявляется лишь сезонное и многолетнее регулирование. Внутрисуточные колебания уровня воды в русле реки ниже гидроузла по мере удаления от плотины быстро уменьшаются; на крупных реках эти колебания прослеживаются на расстоянии в среднем до 50...100 км, а на Красноярском гидроузле на р. Енисей — до 300 км. Если нижний бьеф находится в подпоре от нижерасположенного водохранилища, то дальность распространения суточных волн сокращается. Резкие суточные колебания уровня воды беспокоят рыбу, активизируют процессы обрушения берегов, снижают судоходный и питьевой ресурсы реки ниже водохранилища. Поэтому иногда прибегают к перерегулированию стока в нижнем бьефе основного гидроузла, устраивая водохранилища небольшой вместимости — контррегуляторы. Подобные функции, например, выполняет Майнское водохранилище на р. Енисей в нижнем бьефе Саяно-Шушенского гидроузла.

Создание водохранилищ влечет за собой эколого-гидрологические последствия для участка реки в нижнем бьефе гидроузла: несколько возрастает минерализация воды; уменьшается поступление биогенных веществ (фосфора, азота, железа, серы) из водохранилища; снижается мутность воды и сток взвешенных наносов. Максимум весеннего половодья наступает в более ранние сроки: для сельского хозяйства это, как правило, имеет положительное значение, так как пойма заливается до начала вегетации, а для рыбного хозяйства — отрицательное, так как при затоплении пой-

мы температура воды, поступающей из водохранилища, для рыб еще неблагоприятная. В зимний период в нижнем бьефе водохранилища сохраняется открытый участок водной поверхности (полынья), размер которого тем больше, чем крупнее и глубже водохранилище. Наличие полыньи активизирует процессы зажоро- и туманообразования на участке реки ниже водохранилища.

Контрольные вопросы и задания. 1. Что такое водный объект? 2. Какие статьи составляют водный баланс речного бассейна? 3. Как влияет хозяйственная деятельность на речной сток? 4. Назовите основные параметры стока и его изменчивости. 5. По каким лимитирующим показателям, кроме ПДК, устанавливают наличие вредных веществ? 6. Перечислите виды водохранилищ. 7. Перечислите подходы к разработке водохозяйственного баланса. 8. Как водохранилища влияют на речные бассейны?

12. КОМПЛЕКСНОЕ ОБУСТРОЙСТВО (МЕЛИОРАЦИЯ) ВОДОСБОРОВ

12.1. ВОДОСБОРЫ И ЛАНДШАФТЫ

При обустройстве ландшафтов затрагивают земли разного назначения, находящиеся в собственности различных субъектов. Это усложняет организационно-правовые аспекты, финансирование и проведение работ не только в период первичного обустройства (создание инженерных систем, выполнение различных мелиоративных, рекультивационных и природоохранных мероприятий), но и в длительный (десятки лет) период их «штатного» функционирования, ремонта, реконструкции. Поэтому эти вопросы должны прежде всего регулироваться законодательными актами. В действующих кодексах и законах комплексное обустройство ландшафтов пока не рассматривают. Обустройство ландшафтов, учитывая его важность для всего населения страны или субъекта Федерации, а также для уязвки порой взаимоисключающих или противоречивых интересов землевладельцев и землепользователей, должно инициировать государство, его федеральные и региональные органы власти. Такие работы зачастую предполагают трансформацию земельных угодий с целью оптимизации структуры ландшафта, повышения его экологической устойчивости, например поиск оптимального сочетания площади пашни, лугов, леса, мелиорированных земель, выделение природоохранных зон, организацию заповедников и т. п.

В отличие от мелиорации земель конкретного назначения, составляющих обычно часть ландшафтов, создание культурных ландшафтов предполагает мероприятия, затрагивающие весь ландшафт или их совокупность. Поэтому методически важно опреде-

лить способ членения обустройства территории. Ландшафтоведение предлагает наиболее объективное, по сумме всех свойств, членение территорий на ландшафтные зоны, страны, области, провинции, округа, ландшафты и их части: местности, урочища и фации. Это членение имеет не только научное, природоведческое значение, но и практическое, его отчетливо видно на специальных ландшафтных картах.

Помимо такого членения есть и частные: климатическое; геоботаническое с указанием биоценозов; почвенное с обозначением типов, подтипов почв, их разновидностей; геологическое с указанием размещения горных пород разного генезиса и возраста (карта четвертичных отложений или каменноугольных и др.); гидрогеологическое, при котором обозначены бассейны безнапорных, напорных, термальных, лечебных подземных вод; геоморфологическое с указанием размеров и форм элементов земной поверхности; топографическое с изображением земной поверхности и другой ситуации: водотоков, угодий, населенных пунктов и т. п. Все эти членения субъективны, так как они отражают только часть совокупных свойств природных объектов, хотя существенны для науки и практики.

Среди таких членений — выделение речных бассейнов, под которыми понимают природный объект (природное тело), с которого воды стекают в отдельную реку или речную систему. Бассейн каждой реки включает в себя поверхностный и подземный водосборы. Поверхностный водосбор представляет собой участок земной поверхности, с которого поступают воды в данную речную систему или определенную реку. Подземный водосбор образуют толщи рыхлых отложений, из которых вода поступает в речную сеть. В общем случае границы поверхностного и подземного водосборов не совпадают. Выделяют бассейны и для отдельных притоков, и для отдельных створов реки.

Главная природная функция речного бассейна — стокообразующая, и в этом принципиальная важность такого членения территории. Помимо этого речные бассейны — это особым образом объединенные геосистемы (принцип объединения здесь — единство гидрогеохимических потоков, имеющих один объект для своей разгрузки), выполняющие важные средообразующие или экологические функции. Наконец, речные бассейны — это пространственный базис для природопользования (размещения земель разного назначения, в том числе населенных пунктов, объектов промышленности, транспорта, размещения отходов) и природообустройства. В этом заключается *триединство* функций речного бассейна. Эти функции определяют научную и практическую целесообразность членения территории на водосборы разных размеров, в рамках которых открывается возможность комплексной

оценки состояния территории и водных объектов, выработки единой программы их улучшения, учитывающей интересы не только отдельных земле- и водопользователей, но и интересы всех людей, на ней проживающих, и, что сейчас очень актуально, восстановление и сохранение природы.

Рассмотрим связь речных бассейнов с ландшафтами. Наложение карты водотоков на ландшафтную показывает, что границы ландшафтов и их совокупностей пересекают трассы водотоков, что свидетельствует о несовпадении границ ландшафтов и речных бассейнов (рис. 12.1). Эти территории можно представить как пересекающиеся множества по-разному выделенных природных объектов, что существенно усложняет сравнительный анализ при их изучении, затрудняет решение практических задач природообустройства и природопользования. Речные бассейны объективно по-другому организованы для выполнения своей главной

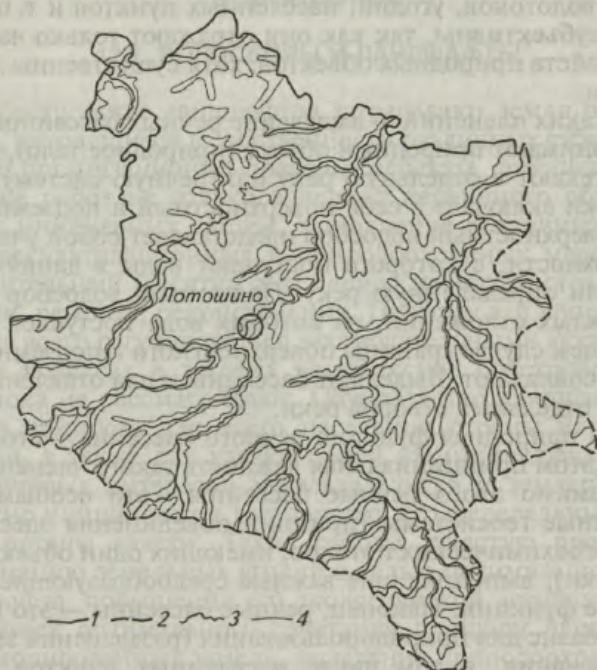


Рис. 12.1. Западный ландшафтный район Верхневолжской физико-географической провинции в пределах Московской области:

1 — административная граница; 2 — граница района; 3 — гидрографическая сеть; 4 — морфо-изографы (линии перегиба уклона на склонах)

функции — стокообразующей и состоят из других геосистемных групп, в данном случае — фаций и катен.

Открытость фаций предопределяет их взаимосвязь и образование более сложных ландшафтно-геохимических систем. Серия фаций, сменяющих друг друга от местного водораздела к местной депрессии рельефа (к местному постоянному или временному водотoku) и связанных латерально направленными гидрохимическими потоками, образует *ландшафтно-геохимическую катену* — простейшую каскадную ландшафтно-геохимическую систему в пределах каждого ландшафта и неделимую часть речного бассейна.

Совокупность ландшафтно-геохимических катен, составляющих общий водосборный, а соответственно, и солесборный бассейн, называют ландшафтно-геохимическими *аренами*. Надо иметь в виду, что в пределах одного водосбора могут располагаться арены, принадлежащие разным ландшафтам. В зависимости от размера водосборной площади выделяют мега-, макро-, мезо- и микроарены. Гидрогеохимическая структура и потоки усложняются по мере увеличения размеров арен.

Мега- и макроарены, охватывающие бассейны рек первого порядка (Волги, Оби, Лены, Енисея, Днепра, Дона и их главных притоков), включают ряд ландшафтных зон, областей и имеют сложную почвенную, геоботаническую, гидро- и геохимическую структуру и контрастную геохимическую обстановку. Мезоарены охватывают территории бассейнов более низкого порядка, лежащие обычно в пределах одной ландшафтной зоны и области; их структура менее сложная. Микроарены, образующие малые первичные водосборы, часто представлены одним типом ландшафтно-геохимической катены (совокупности сопряженных фаций) и наиболее просты. Ландшафтно-геохимические арены водосборов равнинных рек чаще всего являются системами концентрации водного и гидрохимического стока, но имеют место также каскадные системы рассеяния, в которых от верхних по течению к нижним звеньям каскада водный и гидрохимический стоки рассеиваются: средние течения рек аридной зоны, подгорные конуса выноса, внутриконтинентальные и приморские дельты (рр. Амударья, Сырдарья, Терек, Кура, Или, Ганг и др.).

При таком членении речного бассейна он уже представляется как целочисленное конечное множество ландшафтно-геохимических катен, принадлежащих разным ландшафтам. Оно важно для схематизации природных условий при разработке моделей функционирования бассейна. Первичные модели, представляющие линейный каскад сопряженных фаций и образующих ландшафтно-геохимическую катену, должны быть как минимум двумерными, учитывающими как вертикальные, так и горизонтальные в сторо-

ну водотока потоки вещества. Необходимо учитывать разное высотное положение фаций, образующих катену, учитывать поверхностные и подземные потоки и их взаимодействие (впитывание, напорное питание подземных вод).

С помощью таких моделей можно рассчитывать слой годового, паводкового и меженного слоя стока с единицы площади водосбора (с одной катены) в рамках одного ландшафта или группы однотипных ландшафтов, объединенных в ландшафтные районы, провинции; оценивать влияние хозяйственной деятельности и природоохранных мероприятий на количество и качество стока. Модели арен должны быть на порядок сложнее, чем модели катен, в них нужно учитывать все виды хозяйственной деятельности на водосборе, гидрохимическую миграцию на поверхности и в теле речного бассейна, а также в руслах водотоков (время добегания, аккумулирующую и очищающую роль русла и т. п.). Именно такие модели позволяют отследить динамику расходов воды в водотоках и влияние на них хозяйственной и обустройственной деятельности.

Для таких расчетов необходимо иметь полную информацию о ландшафтах и водосборах: многолетние данные о погодных условиях; геоморфологическую с количественными показателями пластики рельефа: горизонтальной и вертикальной расчлененности, о форме склонов; карты: водотоков, геологическую и гидрогеологическую, почвенную, геоботаническую и земельную угодий. Совмещение такой информации, ее увязка и схематизация природных условий возможны с применением ГИС-технологий.

12.2. ЦЕЛИ И ПРОГРАММЫ ОБУСТРОЙСТВА ВОДОСБОРОВ

Функции водосборов определяют цели их обустройства:

улучшение качества речного стока в смысле его объема и расходов воды в реке, желаемого распределения стока во времени, качества речных вод, глубин воды в русле;

повышение продуктивности (полезности) земель путем их мелиорации и рекультивации для нужд конкретных землепользователей;

природоохранное обустройство водосбора, поддержание, восстановление, воссоздание экологической инфраструктуры на нем.

Различные цели преобразования водосборов неизбежно вызывают конфликты интересов, например при строительстве гидроузлов и создании водохранилищ на равнинных реках и связанного с ним затоплением самых плодородных пойменных земель; при изменении направления использования земель — распашке или залесении, при строительстве, при увеличении площади мелиориру-

емых земель. Поэтому неизбежны оптимизация целей обустройства водосборов, многовариантность намечаемых мероприятий.

Так, можно привести примеры комплексного обустройства земель в США, где с 1872 г. осуществляют Государственную программу освоения засушливых степей и полупустынь на основе орошения, борьбы с наводнениями, гидроэнергетического и транспортного строительства, обводнения земель, лесоразведения, травосеяния. В последующем она была дополнена борьбой с эрозией, экологизацией земледелия и др. (Мелиоративная энциклопедия. Т. 3).

Программа В. В. Докучаева. В России после катастрофической засухи 1891 г., охватившей центральную, южную и юго-восточную части страны с населением 25 млн чел., правительством была создана «Особая экспедиция по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России» Лесного департамента Министерства земледелия и государственных имуществ, которую предложил и возглавил выдающийся русский ученый Василий Васильевич Докучаев (1846—1903), родоначальник генетического почвоведения и науки о мелиорации земель. Еще в то время, предвосхитив появление ландшафтоведения как науки, он отмечал, что при взаимодействии с природой надо учитывать «всю единую, цельную и нераздельную природу, а не отдельные части», надо знать «теснейшее взаимодействие и полное содружество мира органического и мира неорганического».

Он пришел к заключению, что причиной участвовавших засух стала деградация территории, вызванная вырубками лесов и экологически опасными методами ведения сельского хозяйства, поставил вопрос о государственном регулировании природопользования. Фактически он предложил программу исследований целостных техноприродных систем и на их основе оптимизацию систем хозяйствования. Это должно было реализоваться в новой структуре ландшафтов, которая позволила бы повысить плодородие почв и обеспечить устойчивое сельскохозяйственное производство.

Предлагалось создание сплошной сети широких лесополос, расчленяющих безлесую степь на изолированные поля. Лесополосы обеспечивали бы улучшение микроклимата и существенное увеличение влажности почвы в сухие периоды по сравнению с открытой степью. Помимо этого в рамках водосборов он считал необходимым:

- регулирование рек путем расчистки и спрямления русел, строительства водохранилищ для регулирования стока и уменьшения весенних разливов, закрепление берегов рек древесной растительностью;

- прекращение роста оврагов закреплением их устьев, устройством плетней и живых изгородей для прекращения размыва их дна и берегов и превращения их в луговые уголья, перекрытием плотинами верховьев оврагов для орошения склонов тальми и дождевыми водами, обсадкой деревьями верховьев оврагов и балок на крутых склонах;

- регулирование водного и твердого стока на водораздельных пространствах путем снегозадержания, увеличения впитывания талых и дождевых вод, накопления влаги в почве, регулирования влажности воздуха; сооружение с этой целью прудов на естественных ложбинах и в блюдцах с обсадкой деревьями, залесение песков;

- обводнение территории строительством колодцев и каптажем родников (каптаж — устройства для отбора подземных вод в месте их выхода на дневную поверхность в виде родников);

выбор оптимального соотношения между пашней, лугом, лесом и водными объектами в зависимости от местных условий;

выбор системы обработки почвы для наилучшего использования влаги, недопущения эрозии; подбор сортов культурных растений, приспособленных к местным условиям.

Перечисленные в разделе 4 мероприятия по созданию культурных ландшафтов почти дословно повторяют предложения В. В. Докучаева.

При жизни В. В. Докучаева в Каменной Степи (ныне Воронежская обл.) в первые 7 лет были созданы 58 лесных полос общей площадью 103 га, начато строительство прудов. К 100-летию экспедиции в Каменной Степи было создано 900 га защитных лесных насаждений, построено 35 прудов и водоемов с площадью зеркала 386 га и запасом воды около 9 млн м³, 10 водорегулирующих валов, 15 га террас, проведены работы по укреплению оврагов, организовано выборочное орошение на местном стоке на площади около 600 га, организованы заповедные участки степи в виде косимых и некосимых залежей, так как к тому времени целинных земель в этом регионе уже не осталось.

На опытных участках, заложенных В. В. Докучаевым и его сотрудником — выдающимся русским лесоводом Г. Ф. Морозовым, были созданы лесополосы разной ширины — от 10 до 100 м. При среднем размере одного поля около 30 га залесенность изменялась от 3 до 30 %. Эти дубово-кленово-липовые насаждения живы, имеют высоту свыше 20 м, дают ежегодный прирост древесины 3...4 м³/га. Очень важный научный факт: авторы этого многолетнего эксперимента позволили потомкам установить оптимальную для данной территории степень залесенности — не более 18 %, в противном случае лесонасаждения вместе с прудами и водоемами изменяют структуру водного баланса в нежелательном направлении, появляется переувлажнение пониженных фаций. В последующем на других опытных участках 25...30-летние лесополосы шириной 10...22 м и высотой 12 м также благоприятно сказались на состоянии и продуктивности ландшафтов. Так, среднедолголетняя прибавка урожая зерновых составила 20 %, картофеля — 30, сахарной свеклы — 27 %. Лесополосы положительно повлияли на запасы воды в снеге, на весенние запасы влаги в почве, несколько снизили температуру воздуха и скорость ветра летом, что особенно важно при появлении в этой зоне суховеев — ветров юго-восточного направления.

Помимо роста плодородия почв имелись и другие природоохранные эффекты: были остановлены рост оврагов, эрозия почв, уменьшены пагубные последствия пыльных бурь, сохранены малые реки от обмеления. На обустроенной таким образом территории увеличилось биологическое разнообразие в системе поле — лес, установилось равновесие между полезной и вредной фауной и микроорганизмами, что привело к подавлению очагов массового размножения вредителей и возбудителей болезней посевов сельскохозяйственных культур, лесов и животных. Следствие этого — уменьшение токсической нагрузки на экосистемы из-за сокращения применения гербицидов, инсектицидов и т. п.

Программа 1948 г. В жесточайшую засуху послевоенного 1946 г. урожай в Каменной Степи был в 3...4 раза выше, чем в соседних необустроенных районах. Это обстоятельство послужило толчком для принятия в октябре 1948 г. Постановления СМ СССР и ЦК ВКП(б) «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР». Этим планом предусматривалось создание в течение 1950—1965 гг. крупных государственных лесных защитных полос общим протяжением 5320 км, с площадью лесопосадок 118 тыс. га. Полосы были намечены:

по обоим берегам р. Волги от Саратова до Астрахани — две полосы шириной по 100 м и протяженностью 900 км;

водоразделу рр. Хопра и Медведицы, Калитвы и Березовой в направлении

Пенза — Екатериновка — Каменск (на р. Северский Донец) — три полосы шириной по 60 м, с расстоянием между полосами 300 м и протяженностью 600 км;

водоразделу рр. Иловли и Волги в направлении Камышин — Сталинград (Волгоград) — три полосы шириной по 60 м, с расстоянием между полосами 300 м и протяженностью 170 км;

левобережью р. Волги от Чапаевска до Владимировки — четыре полосы шириной по 60 м, с расстоянием между полосами 300 м и протяженностью 580 км;

от Сталинграда (Волгограда) к югу на Степной — Черкасск — четыре полосы шириной по 60 м, с расстоянием между полосами 300 м и протяженностью 570 км;

берегам р. Урал в направлении гора Вишневая — Чкалов — Уральск — Каспийское море — шесть полос (три по правому и три по левому берегу) шириной по 60 м, с расстоянием между полосами 200 м и протяженностью 1080 км;

обоим берегам р. Дон от Воронежа до Ростова — две полосы шириной по 60 м и протяженностью 920 км;

обоим берегам р. Северский Донец от Белгорода до р. Дон — две полосы шириной по 30 м и протяженностью 500 км.

Наряду с созданием крупных государственных лесных полос было предусмотрено создание позахватных лесонасаждений на полях колхозов и совхозов на общей площади 5709 тыс. га. Одновременно на полях колхозов и совхозов ввели травопольные севообороты, обеспечивающие восстановление плодородия почв, и было предусмотрено строительство 44 тыс. прудов и водоемов.

Одна из основных задач этого плана — преобразование и улучшение водного режима почв на обширной территории степной зоны путем изменения условий стекания талых и дождевых вод, а также путем уменьшения испарения с поверхности сельскохозяйственных полей. Имелось в виду, что лесные полосы, создавая дополнительную шероховатость, уменьшают скорость ветра и способствуют более равномерному распределению снега и увеличению его запасов на открытых пространствах.

Весной в период снеготаяния, а в отдельных случаях и летом во время дождей лесные полосы будут задерживать поверхностный сток и переводить его во внутрипочвенный сток, способствующий пополнению грунтовых вод и повышению их уровня. Уменьшение скоростей ветра, а также комковатая структура почв будут способствовать уменьшению непродуктивного испарения с поверхности почвы. В итоге водный режим сельскохозяйственных полей должен улучшиться, повысится продуктивное испарение и, как следствие, урожайность.

Изменение условий стекания и испарения со склонов и с поверхности сельскохозяйственных полей неизбежно повлечет за собой изменение водного режима рек:

весеннее половодье в реках будет более растянутым за счет замедления стока талых вод лесными полосами; увеличится длительность половодья, снизятся размеры максимальных расходов и уменьшится объем стока талых вод;

увеличится грунтовое питание рек и соответственно повысится водность их в межень;

резко понизится водная эрозия и вред, приносимый ею; уменьшится плоскостной смыв почв и прекратится овражная эрозия;

уменьшится вынос химически растворенных веществ.

Общий речной сток при осуществлении намеченных мероприятий должен немного уменьшиться из-за повышенного испарения, основные изменения стока будут во внутригодовом его распределении.

Этот план был выполнен не полностью, к 1967 г. площадь государственных лесных полос составила 89 тыс. га при плане 118 тыс. га; всего защитных лесонасаждений стало более 2 млн га.

Программа мелиорации земель в СССР. В период бурного развития мелиоративных работ за 1967—1985 гг. на территории бывшего СССР площадь орошаемых земель возросла с 9,8 до 19,9 млн га, а осушаемых — с 7,5 до 15,5 млн га. При этом

большое внимание уделяли социально-экономическому обустройству территорий: строительству населенных пунктов, объектов социально-культурного назначения, дорог, систем водоснабжения и канализации, перерабатывающей промышленности и т. п. Все это значительно улучшило жизнь людей, в том числе и обеспеченность продовольствием. Одновременно проводили и природоохранное обустройство территорий: борьбу с эрозией, развитие оврагов, лесонасаждение. Улучшались кислые, засоленные, осолонцованные, каменистые, переуплотненные почвы вне границ мелиоративных систем. Но следует отметить, что весь комплекс работ, предложенный В. В. Докучаевым, по разным причинам не был выполнен. Особенно это касалось антропогенной нагрузки на ландшафты или водосборы. Сиюминутные экономические интересы не позволяли оптимально сочетать площади пашни, лугов и лесных насаждений, в некоторых районах мелиоративная нагрузка была чрезмерной, особенно в районах хлопководства и рисосеяния.

Один из недостатков этой программы — недостаточный учет влияния мелиорации на окружающую природу при проектировании и функционировании мелиоративных систем; мелиоративная нагрузка во многих регионах, особенно в азиатских республиках, была чрезмерной. В Поволжье не уделяли должного внимания сложному мелкокомплексному почвенному покрову. В Нечерноземье бесперспективной была борьба с мелкоконтурностью, желание вписать в сложные природные объекты большие поля прямоугольной формы, чтобы «его величеству трактору» было удобно работать, приводило к разрушению установившихся биогеоценозов, гидрохимических потоков. Недостаточно качественной была технология мелиораций.

Влияние мелиораций на водосборы и ландшафты. Рассмотрим на примере ландшафтов низовьев Сырдарьи, как чрезмерная техногенная нагрузка превратила их из среднеизмененных в неустойчивые сильноизмененные и даже привела к экологическому кризису в обширном районе, затрагивающем два государства — Республику Узбекистан и Республику Казахстан.

Об экологической проблеме этого региона, включающей и катастрофическое обмеление Аральского моря, уже было сказано ранее. Низовья Сырдарьи расположены в пределах Кызылординской области Республики Казахстан, где проживает более 600 тыс. чел. Негативные последствия кризиса проявляются здесь в резком ухудшении экологических условий — рост заболеваемости населения и сильное снижение продуктивности сельскохозяйственных культур как на орошаемых, так и на неорошаемых богарных землях.

Одна из основных причин наступившего экологического кризиса в регионе — игнорирование взаимодействия и функционирования ландшафтов при проектировании крупных орошаемых массивов, недостаточный учет факторов, формирующих гидрогеохимические потоки, и возможные изменения их параметров под воздействием интенсивного орошения. Низовья Сырдарьи — зона разгрузки гидрогеохимических потоков, и поэтому они характеризуются тяжелыми почвенно-мелиоративными и гидрогеологическими условиями, что сопряжено с необходимостью применения сложных, комплексных мелиоративных мероприятий.

В современных условиях ситуацию здесь осложняют сильный солепывлевой вынос с обнажившегося дна Аральского моря и высокое (1,5...2 г/л) содержание солей и вредных химических веществ, ядохимикатов и пестицидов в речной воде. Решение этой проблемы возможно на региональном уровне с использованием ландшафтнo-географического подхода.

В низовьях р. Сырдарьи преобладают туранские пустынные ландшафты. Рассмотрим три представительных ландшафта, отражающих особенности природных условий верхней, средней и нижней по течению частей региона, на территории которых размещено около половины всех орошаемых площадей.

В *верхней* части — это 34-й ландшафт, расположенный на левом берегу реки, представляет собой аккумулятивную аллювиально-пролювиальную плоскую с эрозионным расчленением равнину, сложенную песками, супесями и суглинками

с биоргуновой, кейреуковой и серопольной закустаренной растительностью на аллювиально-луговых и такыровидных солонцеватых почвах, площадь ландшафта 1400 км².

В *средней* части — 18-й ландшафт площадью 1980 км², на котором в основном разместились земли Кызылординского левобережного орошаемого массива, представляет собой аккумулятивную вогнутую расчлененную равнину, сложенную песками, супесями, суглинками и глинами, с тamarисково-полянно-солянковой растительностью на солончаках и с тростниковыми, клубнекамышевыми лугами на аллювиально-луговых и лугово-болотных почвах.

В *нижней* части недалеко от Аральского моря расположен 24-й ландшафт — аккумулятивная аллювиальная плоская равнина, осложненная такыровидными поверхностями, с аллювиально-луговыми тугайными и такыровидными почвами, площадь ландшафта 1550 км², до 1965 г. здесь было много озер, часть из которых имела связь с морем.

Проанализируем состояние указанных ландшафтов на два момента времени: на 1965 г., когда нагрузка на них была небольшой, орошаемые земли составляли около 3% и общая экологическая ситуация в бассейне р. Сырдарьи была несложной, и на 1995 г., когда резко, более чем в 7 раз увеличились площади под орошение, главным образом для выращивания риса, требующего очень много поливной воды, к тому же резко (до 1,4...1,6 г/л) возросло содержание солей в речной воде.

Водный и солевой балансы на указанные моменты времени приведены в таблицах 12.1 и 12.2. Анализ водного и солевого балансов ландшафтов в 1965 г. показал, что они в то время имели вполне удовлетворительные мелиоративное и экологическое состояние. Это объясняется следующими причинами:

грунтовые воды в тот период залегали преимущественно на глубине 3...3,5 м вблизи русла и на глубине 7...10 м — вдали от него, т. е. имел место значительный отток подземных вод в Кызылординскую котловину, вместимость которой была еще значительной, обеспечивающей прием поступивших в ландшафты низовьев поверхностных и подземных вод;

12.1. Водные балансы ландшафтов низовьев Сырдарьи в 1965 и 1995 гг., млн м³ (по С. И. Кошкарову)

Элемент водного баланса	34-й ландшафт		18-й ландшафт		24-й ландшафт	
	1965 г.	1995 г.	1965 г.	1995 г.	1965 г.	1995 г.
Приход:						
оросительные воды	75,6	413,8	241,5	810,8	179,8	375,6
атмосферные осадки	229,6	165,2	215,8	245,5	192,2	172,1
поверхностный приток	—	—	59,4	—	300,7	—
подземный приток	42,0	28	59,4	—	15,5	—
Всего	347,2	607	576,1	1056,3	688,2	547,7
Расход:						
суммарное испарение	319,2	511	457,4	794	513,1	554,9
поверхностный сток	—	—	—	—	105,4	—
подземный отток	57,4	78,4	69,3	94,6	74,4	—
подземный отток вод	—	—	41,6	—	—	—
поверхностного притока	—	—	—	—	—	—
дренажный сток	—	25,2	—	126,4	—	25,5
Всего	376,6	614,6	568,3	1015	692,9	580,4
Разность (приход — расход)	-29,4	7,6	7,8	41,3	-4,7	-32,7

12.2. Солевые балансы ландшафтов низовьев Сырдарьи в 1965 и 1995 гг., т/км²
(по С. И. Кошкарову)

Элемент водного баланса	34-й ландшафт		18-й ландшафт		24-й ландшафт	
	1965 г.	1995 г.	1965 г.	1995 г.	1965 г.	1995 г.
Приход солей						
С оросительными водами	16,2	420	48,8	635	63,8	393
С атмосферными осадками	7,4	18	4,9	18	5,6	16
Привнесенных ветром	—	—	—	20	—	50
С притоком поверхностных вод	—	—	12,0	—	106,7	—
С притоком подземных вод	36,0	50	45,0	—	15,0	—
Всего	59,6	488	110,7	673	191,1	459
Расход солей						
С поверхностным стоком	—	—	—	—	91,8	—
С подземным оттоком	58,4	112	108,5	119	96,0	—
С дренажным стоком	—	63	—	224	—	66
Всего	58,4	175	108,5	343	187,8	66
Разница (приход — расход)	1,2	313	2,2	330	3,3	393

минерализация речной воды в рассматриваемое время была 0,35...0,55 г/л, химический состав солей благоприятный, содержание солей в паводковых водах — 0,3...0,4 г/л, паводковые разливы улучшали водный режим ландшафтов, повышали продуктивность естественной растительности и обеспечивали вымыв солей из почвы, накопления солей практически не было;

поступление солей с атмосферными осадками было незначительным, содержание солей в дождевой воде не превышало 0,045 г/л;

поддержанию благоприятного эколого-мелиоративного режима ландшафтов способствовала незначительная мелиоративная нагрузка, на трех выделенных ландшафтах орошаемые земли составляли около 3 % общей площади.

Положение стало резко меняться после интенсивного развития орошения как в данной местности, так и во всем бассейне Сырдарьи. Резко, почти в 4 раза увеличилась подача поливной воды на ландшафты, из-за понижения уровня воды в Сырдарье прекратилось затопление земель при паводках, исчез и подземный приток речных вод, а самое главное — из-за сброса в реку минерализованных дренажных вод содержание солей в речной воде увеличилось до 1,4...1,6 г/л. Понижение уровня Аральского моря и обнажение его дна привело к солепылевым бурям, появилась дополнительная приходная статья в солевом балансе ландшафтов, расположенных недалеко от моря, по этой же причине увеличилось количество солей, растворенных в атмосферных осадках. Все это резко изменило солевой баланс ландшафтов, он перестал быть скомпенсированным, началось интенсивное накопление солей, измеряемое сотнями тысяч тонн на один ландшафт.

Орошение земель хотя и привело к росту испарения, но большие фильтрационные потери, особенно с рисовых систем, вызвали подъем уровня грунтовых вод практически на всей площади ландшафтов, так как геологически рассматриваемая территория представляет замкнутую бессточную котловину, увеличилась минерализация грунтовых вод. Это привело к засолению как орошаемых земель, так и прилегающих земель с естественной растительностью, что вызвало смену почвенного покрова и появление в больших количествах солеустойчивых, но ме-

нее продуктивных растений. Это негативно отразилось на урожайности неорошаемых земель, которые использовали как пастбища.

Большие затраты на строительство оросительных систем не дали ожидаемого эффекта, так как, хотя урожайность и общий сбор риса и других культур в начале массового орошения и существенно повысились, но затем, по мере ухудшения обстановки, стали снижаться, и к 1995 г. урожайность уменьшилась более чем в два раза.

Из всего этого можно сделать вывод, что если до массового развития орошения ландшафты низовьев Сырдарьи хотя и были среднеизмененными в результате хозяйственной деятельности, но оставались устойчивыми, во всяком случае могли быть таковыми еще на протяжении многих десятков лет. Увеличение орошаемых площадей, причем не только на рассматриваемой территории, но и выше по течению, проведенное без должного анализа возможных изменений ландшафтов, т. е. с нарушением многих указанных выше принципов природообустройства, превратило рассматриваемые ландшафты в сильноизмененные с элементами экологической катастрофы.

На этих ландшафтах произошло необратимое изменение практически всей структуры, за исключением только геологического фундамента. Прежде всего изменился растительный покров, трансформировались почвы, изменились состав и режим подземных и поверхностных вод, подверглись изменению даже свойства воздушных масс, т. е. изменился местный климат.

Необратимость этих изменений вытекает из того, что если полностью прекратить на данной территории хозяйственную деятельность или хотя бы орошение (для этих пустынных территорий это практически равнозначно), то из-за сильно-го соленакпления и заполнения Кызылординской котловины фильтрационными водами не могут восстановиться прежний режим грунтовых вод, прежние количества солей, прежние процессы почвообразования и прежняя растительность.

Поэтому необходимы:

согласование подачи воды с «экологической емкостью» ландшафтов, т. е. всемерное сокращение оросительных норм сельскохозяйственных культур в целях уменьшения количества поступающих на орошаемые земли солей и вредных химических веществ, а также улучшение мелиоративных условий и экологической обстановки;

установление оптимальной площади орошаемых земель;

пересмотр состава выращиваемых культур — уменьшение посевов риса, требующего больших оросительных норм, увеличение посевов многолетних трав, восстановление продуктивности неорошаемых пастбищ.

12.3. ЭТАПЫ ОБУСТРОЙСТВА ВОДОСБОРОВ

Рациональное сочетание угодий на водосборах. На функционирование водосборов наиболее существенно влияет трансформация земельных угодий (сведение лесов, распашка), осуществляемая человеком для решения экономических задач: увеличение запасов продовольствия, добыча полезных ископаемых, строительство. Распашка земель ухудшает структуру водного баланса почв (см. разд. 3.4 и 3.5), питание подземных вод и рек, изменяет радиационный баланс, приводит к эрозии почв; обработка полей механизмами уплотняет ее. В этом смысле лесонасаждения и луга предпочтительней, но они не решают многих экономических задач.

Нахождение оптимального сочетания угодий — сложная комплексная задача, ее решение должно основываться на количественном описании взаимосвязанных природных процессов, антропогенных воздействий и оптимизироваться с учетом социально-экономических и природосохраняющих показателей.

В первом приближении можно использовать такие обобщенные показатели, как коэффициент экологической устойчивости (стабильности) техноприродных или квазиприродных систем на водосборах или коэффициент экологической устойчивости (стабильности) М. А. Глазовской:

$$K_c = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^n f_i K_{1,i} K_{2,i}, \quad (12.1)$$

где F — площадь водосбора; f_i — площадь i -го угодья; K_{1i} — коэффициент стабильности, равный:

Леса:	
широколиственные	1,00
смешанные	0,63
хвойные	0,38
Болота, водотоки и водоемы	0,79
Сады, лесные культуры, лесополосы	0,43
Пашни в среднем	0,14
Урбанизированные территории (населенные пункты, промышленные зоны и т. п.)	-1,00 (резко уменьшают экологическую стабильность, поэтому K_c принимает отрицательное значение)

$K_{2,i}$ — коэффициент, учитывающий геолого-морфологическую устойчивость рельефа, зависит от площади оврагов, крутых склонов, оползней, незакрепленных песков и т. п. и изменяется от 1 для стабильного рельефа до 0,7 для нестабильного.

Эколого-геохимическую устойчивость, т. е. чувствительность почв к токсическим воздействиям, оценивают по таблице 12.3.

12.3. Уровни эколого-геохимической устойчивости (по М. А. Глазовской)

Типы почвы	Эколого-геохимическая устойчивость	
	к кислотным воздействиям	к загрязнению тяжелыми металлами
Подзолистая	Очень низкий	Низкий
Дерново-подзолистая	Ниже среднего	Средний
Серая лесная, чернозем выщелоченный, бурый пустынно-степной	Средний	»
Чернозем обыкновенный, чернозем типичный, южный, каштановый	Выше среднего	Выше среднего, высокий
Каштановые солонцеватые, бурые пустынно-степные солонцеватые	Высокий	Средний

Из данных таблицы видна важность борьбы с кислотностью почв на водосборах гумидной зоны, а также с кислотными дождями из-за выбросов в атмосферу. Мелиорации в силу модификации почвообразовательных процессов приближают северные, равно как и иссушенные южные, почвы к наиболее устойчивым черноземам.

Устойчивость природных и техноприродных систем (водосборов) оценивают по следующей шкале:

K_c	$\leq 0,33$	0,34...0,5	0,51...0,66	0,67...1
Устойчивость	Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая

Наибольшую устойчивость в России имела лесостепная зона широколиственных лесов вместе с хорошо развитым многолетним травостоем, для нее $K_c = 0,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 0,62 = 0,81$. Распашка 60 % площади земель в этой зоне снизила устойчивость до $K_c = 0,2 \cdot 1 + 0,2 \cdot 0,62 + 0,6 \cdot 0,14 = 0,41$, т. е. устойчивость водосборов стала низкой, и это еще без учета другой нагрузки (загрязнение и т. п.).

Водосборы Центрального Черноземного района (ЦЧР) распашаны на 63,2 %, мелиорированной пашни здесь только 2 % площади водосборов; лугов, сенокосов и пастбищ — 21,8, лесов — 12, водоемов — 2, урбанизированных и нарушенных земель — 2 %. В целом устойчивость водосборов ЦЧР не превышает 0,33, т. е. является очень низкой, что подтверждается невысокими урожаями, продолжающейся деградацией почв и местной речной сети. Если же довести площадь лесов до 24 %, лугов и пастбищ — до 30, площадь водоемов — до 2 %, сократить площадь загрязненных и других нарушенных земель до 1 %, площадь пашни до 43 %, т. е. в 1,47 (63,2/43) раза и половину оставшейся пашни орошать, то устойчивость водосборов можно повысить до 0,51 или довести ее до средней. Этот пример показывает, как легко самые устойчивые водосборы России можно превратить в деградирующие и как трудно сделать их затем приемлемо устойчивыми.

Экологическая инфраструктура. После установления оптимального сочетания угодий на водосборе необходима разработка его *экологической инфраструктуры*, т. е. совокупности природоохраняющих природных и антропогенных элементов, повышающих биотическую и абиотическую устойчивость водосбора, улучшающих качество окружающей среды. Схематично ее можно представить в виде экологического каркаса территории, состоящего из трех взаимосвязанных звеньев: биоцентров, или природно-географических окон, биокоридоров и буферных зон. Биоцентры формируются с целью сохранения на части территории естественных биогеоценозов, их роль выполняют особоохраняемые природные

территории (заповедники, заказники, природные и национальные парки). Биокоридоры формируются вдоль линейных форм рельефа (речных долин, овражно-балочных комплексов), а водоохранные зоны, полосы отчуждения — вдоль дорог, лесных полос. Буферные зоны располагают вокруг мест активного природопользования (карьеров, шахт, промышленных площадок, населенных пунктов), а также вокруг особо ценных в природоохранном отношении территорий. В буферных зонах необходимо вести экстенсивную хозяйственную деятельность, размещать сенокосы, многолетние насаждения, зоны отдыха населенных пунктов. В экологическую структуру включают колочные и байрачные леса, нагорные дубравы, сосновые боры, приречные уремы, кустарниково-степные останцово-водораздельные массивы, естественные луга и т. д.

Как уже отмечалось, для обустройства водосборов большое значение имеют улучшение, восстановление и облагораживание местной гидрографической сети: восстановление малых рек, создание водоемов, регулирование поверхностного и подземного стока, улучшение качества поверхностных и подземных вод.

Малые реки играют важную роль в функционировании ландшафтов, непосредственно влияют на условия жизни и деятельности людей. Малой принято считать или реку длиной менее 100 км, или имеющую водосборную площадь не более 2000 км². Эта площадь соизмерима с площадью физико-географического района, т. е. суммы индивидуальных ландшафтов. Водосбор малой реки можно представить в виде микроарены с одним типом ландшафтно-геохимической катены. На территории бывшего СССР малые реки составляли около 99 % общего числа рек, или 92 % общей протяженности всех рек.

Именно в малых реках начинает формироваться речной сток, от состояния водосбора и первичной реки зависит количество и качество речного стока (см. разд. 10 и 11). С момента поселения людей малые реки были путями сообщения, особенно в лесистых районах, водяные мельницы являлись важным источником энергии. Небольшие запруды реки для мельниц регулировали меженный сток, в падающем потоке вода аэрировалась, обогащалась кислородом, что способствовало ее самоочищению, развитию рыб. Сохранности малых рек в послевоенное время способствовало строительство малых ГЭС для электрификации сел, только в 1945—1947 гг. было построено около 3600 таких гидроэлектростанций. По мере развития магистральных электрических сетей эти природосохраняющие, по сути, гидроузлы были заброшены.

Малые реки очень ранимы, их существование слабо контролируется государственными органами. Коллективизация землепользования в СССР отстранила крестьян не только от заботы о земле,

но и от сохранения природы в целом, от заботы о малых реках. Землепользование в этот период стало безразличным. В результате многие реки засорились человеком, становились сточными канавами, в которые сливались неочищенные стоки малых городов и поселков, стоки животноводческих ферм. Так, в Донбассе естественный меженный сток малых рек соизмерим с объемом соленых шахтных вод. Судьба малых рек особенно печальна в крупных городах, например в Москве, где протекало более 50 малых рек, многие из них загрязнены и засорены. Мероприятия по восстановлению и охране малых рек рассмотрены в разделе 10.5.

На водосборе должен быть выполнен комплекс работ по *борьбе с оврагами*: прекращение их роста, закрепление дна и берегов, создание в ложе закрепленных оврагов прудов и водоемов, залесение, в том числе и в рекреационных целях, для поселения фауны. Необходимы специальные проекты обустройства водосборов с целью прекращения водной и ветровой эрозии (см. разд. 10.1). Создание полевых защитных лесополос рассматривают в учебниках по агролесомелиорации.

Природосберегающее земледелие. Состояние водосборов зависит не только от площади сельскохозяйственных земель, но и от способов ведения сельского хозяйства, от системы земледелия, которая включает комплекс взаимосвязанных агротехнических, почвозащитных, мелиоративных, организационно-экономических мероприятий, направленных на эффективное использование земли и агроклиматических ресурсов, повышение плодородия почвы, защиту ее от эрозии, повышение экологической стабильности водосбора в целом. С этой целью разрабатывают экологически более совершенные ландшафтно-адаптивные системы земледелия применительно к конкретным природным условиям, в которые входят:

— структура посевных площадей, включающая набор культур, наиболее приспособленных к местным агроклиматическим и почвенным условиям и не требующих по возможности коренных преобразований природных условий, т. е. необходимо соблюдение принципа сбалансированности хозяйственной деятельности с ресурсными и экологическими возможностями природных систем (см. принципы природопользования и природообустройства, разд. 1.3);

— севообороты с оптимальным насыщением интенсивных и почвосберегающих культур, применение совмещенных посевов (попелкультура);

— почвозащитные приемы обработки почвы, обеспечивающие влагонакопление и сбережение в засушливых регионах; отвод избыточных вод из почвы — в гумидных, борьбу с эрозией; минимизацию обработки почвы для сохранения ее структуры; уменьшение уплотнения;

экологически безопасная система удобрений и способов их внесения, преимущественное применение органических удобрений, создание соответствующего водного режима, сокращающего вымыв элементов питания растений; на состояние водосборов и малых рек негативно влияют временное складирование удобрений на полях и смыв их, особенно в период снеготаяния;

биологизация земледелия путем отказа от химических приемов борьбы с вредителями и болезнями растений, стимулированием развития полезной микрофлоры и фауны;

адаптивная, т. е. приспособленная к конкретным рельефным и почвенным условиям, к элементам экологической инфраструктуры, организация территории: размеры и форма полей, их размещение на соответствующих элементах рельефа, учет по возможности экспозиции склонов и т. п.

Хозяйственная деятельность на водосборе в сочетании с различными мелиорациями земель приводит к дополнительной нежелательной нагрузке на водотоки и водоемы (реки, озера, водохранилища), что вызывает их загрязнение токсичными элементами (тяжелыми металлами, нефтепродуктами, пестицидами, биогенами и др.) (см. разд. 9.4). Эти изменения надо оценивать при обустройстве водосборов. Водные объекты могут загрязняться в результате концентрированного сброса недостаточно очищенных сточных вод, площадного или диффузного — распределенного по площади водосбора.

Диффузное загрязнение в основном происходит в результате сельскохозяйственной деятельности, главные загрязнители при этом — биогены (элементы питания N, P, K) и ядохимикаты. Биогены в водном объекте вызывают более интенсивное развитие отдельных водных организмов (эвтрофикация, приводящая к «цветению» воды, размножению сине-зеленых водорослей), нарушаются сложившиеся трофические (питательные) цепи, соотношение между отдельными видами живых организмов, появляется избыток некоторых из них. Последние, разлагаясь, вторично загрязняют водный объект, при этом уменьшается количество кислорода в воде, что влияет на ее самоочищение, вызывает замор рыб и др.

С целинных водосборов в водные объекты поступает незначительное количество биогенов: фосфора около $0,03...0,09$ кг/км² в год, азота общего (в форме органических соединений и в ионной форме: аммония NH₄, нитратов NO₃, нитритов NO₂) — $0,8...1,8$ кг/км² в год, а с сельскохозяйственных земель соответственно увеличивается — $15...34$ и $200...3000$ кг/км² в год.

Биогены в водные объекты поступают с поверхностным стоком в растворенном и нерастворенном виде (труднорастворимые соединения фосфора и калия, сорбированный почвенными частица-

ми катион аммоний) — примерно 60 % общего выноса и с подземным стоком, когда биогены вымываются из почвы и поступают в грунтовые воды, — 40 % выноса.

Вынос биогенов с поверхностным стоком сильно зависит от распашки и способа внесения удобрений, так, их концентрация в воде, мг/л, при внесении 1 кг д. в/га удобрений составляет:

Способ внесения удобрений	Азот	Фосфор
Осенью:		
под вспашку	0,010	0,0013
поверхностно	0,085	0,0310
на мерзлую почву	0,216	0,0510
Весной по талому снегу	0,866	0,5940

Много фосфора смывается при водной эрозии почв, в среднем с каждой тонной смытой почвы выносятся 1 кг. Концентрация соединений азота и фосфора в водах ливневого стока приведена в таблице 12.4.

12.4. Концентрация NH_4 и P_2O_5 в водах ливневого стока

Доза удобрений, кг д. в/га		Концентрация NH_4 и P_2O_5 , мг/л					
		Пропашные культуры		Озимые зерновые		Многолетние травы	
Азот	Фосфор	NH_4	P_2O_5	NH_4	P_2O_5	NH_4	P_2O_5
40...60	40...60	2,8	0,4	1,0(5,4)	0,3(5,4)	(3,8)	(1,0)
60...80	60...80	3,9	0,5	2,2	0,4	(4,5)	(1,4)
80...100	80...100	4,2	0,7	3,1	0,6	(5,0)	(1,8)
100...150	100...150	5,8	0,9	3,8	0,8	(5,2)	(2,5)
150...200	150...200	5,2	1,2	4,6	1,0	(7,4)	(3,2)

Примечание. В скобках приведены концентрации при поверхностном внесении удобрений.

Вымыв биогенов из почвы при промывном типе водного режима прежде всего зависит от его интенсивности. Водные мелиорации как оросительные, так и осушительные интенсифицируют промываемость почв, поэтому их сокращение — это не только экономия воды при орошении или затрат на осушение, но и важное природоохранное мероприятие. На неорошаемых дерново-подзолистых и серых лесных почвах (в лесной и лесостепной зонах) в год с 1 га вымывается азота в форме NO_3 — 10...30 кг, фосфора в форме P_2O_5 — 0,4...1,0, калия — 10...20, кальция — 140...180 кг, последний существенно влияет на образование структуры почвы, регулирует ее кислотность. Сократить этот вымыв можно агротехническими мерами: многократным внесением удобрений малыми дозами в период их наибольшего потребления, применением слаборастворимых соединений, сорбируемых почвой катио-

нов. При промежуточных и пожнивных посевах вымыв биогенов уменьшается.

12.4. МЕЛИОРАЦИЯ И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ НА ВОДОСБОРЕ

Существенное значение в обустройстве водосборов принадлежит мелиорации и рекультивации земель. Для достижения надлежащего эффекта необходимо совместное применение всех необходимых и доступных видов и способов мелиорации и рекультивации на всех элементах водосбора, несмотря на различное их хозяйственное использование разными землепользователями, т. е. комплексная мелиорация и рекультивация. Совместное применение агро-мелиоративных, агролесомелиоративных, культуртехнических мероприятий, водных (водосбережение, искусственное увлажнение, орошение, осушение) мелиораций, раскисления, рассоления, рассолонцевания, улучшения теплового режима почв и микроклимата, улучшения физико-механических свойств почв должно дать гораздо больший эффект, чем их разрозненное применение.

При обустройстве водосборов необходимы мелиорация и рекультивация земель разного назначения — не только сельскохозяйственных, но и лесного и водного фондов, земель поселений, промышленности, рекреационных и др., строительство природоохранных сооружений (см. разд. 8 и 9).

Эти мероприятия должны быть тесно увязаны между собой в рамках гидрогеохимических катен и арен, что позволяет отследить влияние мелиоративных или рекультивационных мероприятий на прилегающие земли, подземные воды и водные объекты.

Количественно оценить влияние орошения и осушения на изменение водного режима, продуктивности сельскохозяйственных культур и вымыв биогенов можно, моделируя совместное передвижение влаги и растворенных в ней веществ, т. е. численно решая систему дифференциальных уравнений для влаги — (3.59), для несорбируемых анионов — (3.60), для сорбируемых катионов — (3.63), для соединений азота, претерпевающего существенные трансформации в виде аммонификации, нитрификации, денитрификации — уравнения (3.69) и (3.70).

Мелиорация и рекультивация земель (водная, химическая, тепловая, геотехническая) должны повышать экологическую стабильность водосбора, так как они в первую очередь оптимизируют тепло- и влагообеспеченность, что повышает биологическую продуктивность земель, устраняют кислотность, засоленность, осолонцованность, загрязненность почв и, следовательно, повышают их плодородие; восстанавливают нарушенный почвенный и расти-

тельный покров. Это в свою очередь повышает устойчивость к негативным воздействиям, самоочищаемость и самовосстановление водосборов. Но этого достигают только при строго дозированных мелиоративных воздействиях, соблюдении требуемых для данной зоны показателей мелиоративного или рекультивационного режимов (см. разд. 7.1 и 9.2.1). На эффективность мелиораций сильно влияют технологии. Так, в орошении использование «туземных» приемов орошения (полив затоплением, по бороздам) на фоне каналов в земляном русле ведет к сильной промываемости почв, подъему уровня грунтовых вод на орошаемых и сопредельных площадях, вторичному засолению, развитию эрозии, растрате водных ресурсов. Естественно, что при таком орошении экологическая значимость орошаемых земель снижается. При современных технологиях: малоинтенсивном дождевании, капельном орошении, внутрипочвенном увлажнении их значимость существенно повышается по сравнению с неполиваемой пашней (богарой):

$$K_{мп} = \eta K_{п}, \quad (12.2)$$

где $K_{мп}$ — коэффициент стабильности для мелиорированной пашни; $K_{п}$ — то же для богары; η — коэффициент, зависящий от изменения структуры водного баланса в результате водных мелиораций: по предложению И. П. Айдарова

$$\eta = \frac{(c+g)_{п} Y_{мп}}{(c+g)_{мп} Y_{п}}, \quad (12.3)$$

где $(c+g)_{п}$ и $(c+g)_{мп}$ — поверхностный сток и влагообмен между почвенными и грунтовыми водами на немелиорированных и мелиорированных землях, мм; $Y_{мп}$ и $Y_{п}$ — урожайность сельскохозяйственных культур на немелиорированных и мелиорированных землях.

Например, в сухостепной зоне при выровненном рельефе и отсутствии поверхностного стока летом на богаре промываемость почвы не превышает 15...20 мм, а при поливах по бороздам большими нормами она возрастает до 80...100 мм, урожайность при этом увеличивается в 3...3,5 раза. Для средних значений имеем $\eta = 17,5/90 \cdot 3,25 = 0,63$, т. е. стабильность поливных земель ухудшается. Если же применить малоинтенсивное дождевание, строго соблюдать уровень предполивной влажности, промываемость почвы можно понизить до 30...40 мм и при той же урожайности $\eta = 17,5/35 \cdot 3,25 = 1,63$, т. е. коэффициент стабильности орошаемой пашни в 1,63 раза выше по сравнению с богарой. Согласно данным И. П. Айдарова экологическая значимость орошаемых земель в России составляет 0,09...0,15, т. е. существующие оросительные системы нуждаются в реконструкции, требуются новые технологии полива.

При нормированном осушении и поддержании в период вегетации скомпенсированного водообмена, т. е. когда суммы восходящих токов влаги и нисходящих примерно равны, рост продуктивности осушенной пашни повышает коэффициент стабильности до 0,5...0,7 вместо среднего для пашни 0,14, т. е. в 3...5 раз.

Утилизация дренажных и сточных вод на водосборе. Поступившие в дренажный сток биогены, ядохимикаты, тяжелые металлы, входящие в состав минеральных удобрений, можно частично перехватить, повторно используя дренажные воды для орошения, т. е. применяя водооборотные системы по аналогии с водооборотом на промышленных предприятиях. Оставшаяся часть загрязнений должна извлекаться из дренажных вод специальными мероприятиями и сооружениями. Биогены могут быть использованы водной растительностью в осушительных каналах. Требования очистки каналов от растительности для снижения шероховатости не всегда обоснованы, можно пойти на расширение каналов в угоду защиты природы. Помимо этого стали применяться в устье каналов биоплаты (расширенный по дну канал с медленным течением и с культивируемыми в нем специальными водными растениями-очистителями) и фильтры-сорбенты в виде сменных пакетов, заполненных сорбентами для извлечения пестицидов и тяжелых металлов. По мере насыщения их сорбционной емкости они отправляются на рекуперацию.

При внесении удобрений, особенно навоза, надо выполнять требования по охране природы. Нельзя навоз на поля завозить зимой, хотя это легче сделать. При таянии снега и стоке полей вод он почти полностью смывается и очень загрязняет реки.

При наличии крупных животноводческих ферм образующиеся стоки нужно обязательно очищать перед сбросом их в водные объекты, что на селе сейчас сделать практически невозможно. Эти стоки содержат полезные вещества: азот, фосфор, калий; в них содержатся микроэлементы: бор, медь, цинк, марганец, молибден, которые необходимы растениям, а также кальций и магний, улучшающие свойства почв. Поэтому эти стоки после соответствующей подготовки уже давно используют для удобрения почвы, добавляя их в поливную воду. Для этого строят специальные оросительные системы, которые отличаются от обычных прежде всего повышенными требованиями к санитарной безопасности, к размещению, к режиму орошения, наличием дополнительных сооружений и устройств. Эти системы называют «Ирригационные поля утилизации животноводческих стоков» (ИПУ). Такое использование сточных вод надо прежде всего рассматривать как природоохранное мероприятие, защищающее компоненты природы, в том числе и водные объекты, от загрязнения. Кроме природоохранного значения полив сельскохозяйственных культур животноводчес-

кими стоками снижает затраты на приобретение минеральных удобрений: доставка животноводческих стоков на поля вместе с поливной водой по сравнению с обычной технологией внесения органических удобрений экономичней из-за уменьшения затрат на погрузку и выгрузку, на транспорт. Стоки как удобрения равномерней распределяются по площади и дают большую прибавку урожая.

Воздействие систем утилизации сточных вод на природную среду нужно оценивать, используя наиболее полный и объективный геосистемный или ландшафтный подход, в частности, рассматривая проблему очистки сточных вод, т.е. задержание и трансформацию содержащихся в них веществ, с позиций геохимических барьеров. Самый действенный барьер на пути биогенов — растительный покров, так как многие растения способны усваивать большое их количество, многолетние злаковые травы — 200...500 кг чистого азота, фосфора — 60...120, калия — 300...600 кг с 1 га посевов в год в зависимости от климатической зоны. Почва тоже выступает как мощный барьер на пути биогенов, связывая их процессами сорбции, переводя в неподвижную, нерастворимую форму, почвенные микроорганизмы также участвуют в усвоении и превращении биогенов.

Подстилающие почву слабопроницаемые грунты, особенно мелкоземы с высокой сорбционной способностью, также выступают в качестве барьера, сорбируя биогены в виде катионов, а для анионов — замедляя вертикальные потоки влаги. При определенных гидрогеологических условиях может иметь место латеральный барьер, если поток грунтовых вод разгружается по своему пути в виде восходящих потоков влаги, подпитывающих почвенный слой на прилегающей пониженной фации. Эта ситуация реализуется в месте примыкания супераквальных фаций к элювиальным.

Наконец, необходимо организовывать барьеры на пути возможного поверхностного стока части поливных вод во избежание распространения стоков на соседние территории планировкой поверхности, применением соответствующей техники полива, не допускающей стока поливных вод, ограждением участков валиками.

При поливе сточными водами дождевальными машинами, особенно дальнеструйными, нужно иметь барьер против переноса грязных поливных вод ветром на соседние участки, особенно на населенные пункты. Поэтому необходимо правильно выбрать расположение ИПУ с учетом розы ветров, а также организовать посадку лесных полос по границам орошаемого участка.

В этом случае утилизация сточных вод и экологическая ее безопасность сводятся к использованию, созданию и управлению геохимическими барьерами на пути загрязняющих веществ. На осно-

вании вышеизложенного можно наметить конкретные правила создания ирригационных полей утилизации животноводческих стоков и выбора места их расположения.

Во-первых, на участке надо выращивать кормовые культуры, потребляющие большое количество азота и дающие большую зеленую массу при орошении; как правило, это районированные в данной местности многолетние злаковые травосмеси.

Во-вторых, на участке должны быть достаточно плодородные почвы, обеспечивающие высокую продуктивность выращиваемых культур, выступающих в качестве главного барьера на пути биогенов. По гранулометрическому составу почвы должны быть суглинистыми или тяжелосуглинистыми с большим количеством мелких фракций и, следовательно, с большой сорбционной емкостью. На легких песчаных почвах размещать такие участки нельзя.

В-третьих, подстилающие почвенный слой грунты должны содержать достаточно много мелкозема с высокой сорбционной емкостью для перехвата потока биогенов, например лёссовидные суглинки. Грунтовые воды должны располагаться на глубине не менее 5...7 м, естественный отток грунтовых вод должен быть достаточным, чтобы не происходил их подъем в результате орошения. В противном случае при их подъеме и строительстве искусственного дренажа будут провоцироваться большие нисходящие потоки влаги и недопустимое загрязнение подземных вод, а также возникнет проблема сброса загрязненных дренажных вод.

В-четвертых, режим орошения должен гарантировать минимальные нисходящие потоки влаги в почве, что достигается небольшими поливными нормами, достаточно низкой предполивной влажностью, использованием техники полива, равномерно распределяющей поливную воду по полю; все это диктует необходимость применения дождевания с невысокой интенсивностью, а также хорошей планировки поверхности. Полив затоплением или по бороздам здесь не подходит из-за вынужденно больших поливных норм и неравномерности увлажнения.

В-пятых, желательно располагать ИПУ вблизи с пониженными элементами рельефа, на которых можно организовать восходящие токи влаги в почву для перехвата горизонтального потока частично загрязненных подземных вод, использования потерянного азота и снижения загрязнения поверхностных источников, куда разгружается поток грунтовых вод, формирующийся под ИПУ.

В-шестых, ИПУ надо располагать на сравнительно выровненных землях со спокойным рельефом и с уклонами не более 0,005. По границам участка устраивают валики для недопущения поверхностного стока поливных вод, а также лесополосы шириной 10 м со стороны дорог и 15 м — со стороны населенных пунктов. При применении средне- и дальнеструйных дождевателей расстояние

от границ ИПУ до населенных пунктов, производственных объектов и дорог общего назначения должно быть не менее 200 м. По возможности ИПУ располагают с учетом направления господствующих ветров.

Естественно, что ИПУ нельзя располагать в границах водоохранных зон поверхностных и подземных водных объектов, над месторождениями подземных вод питьевого или лечебного качества, не перекрытых надежным водоупором, в пределах санитарных зон курортов и зон отдыха. Выбор участка для ИПУ обязательно согласовывают с соответствующими организациями.

Непременное условие создания и функционирования ИПУ — мониторинг (постоянное наблюдение) за составом сточных вод, особенно за содержанием в них болезнетворных бактерий и гельминтов, за качеством урожая (содержанием в нем нитратов), если продукция идет на корм скоту, степенью загрязнения почв, грунтов и подземных вод как на самом участке, так и за его пределами.

Для работников, обслуживающих ИПУ, нужно обеспечить надлежащие санитарно-гигиенические условия.

Экологическая безопасность функционирования ИПУ во многом обеспечивается правильным режимом и технологией поливов, подбором надлежащей концентрации стоков в поливной воде. Этого можно достичь, осуществляя долгосрочные (не менее 20 лет) прогнозы развития экологической обстановки при различных сценариях поливов сточными водами, для чего надо иметь достоверные математические модели передвижения влаги, трансформации, потребления и перемещения соединений азота, учитывающие специфику природных условий.

Рассмотрим эффективность полива сточными водами в условиях сухостепного Ставрополя с весенним увлажнением 50 мм, количеством осадков за теплый период 365 мм, испаряемостью 880 мм и дефицитом увлажнения 465 мм. Это Восточно-Предкавказская провинция каштановых почв, естественная дренарованность достаточная, грунтовые воды залегают на глубине 6...7 м. При выращивании злакобобовой смеси трав без орошения урожай сена невелик — 4,3 т/га при внесении азота с удобрениями 40 кг/га и ежегодной фиксации азота 20 кг/га. При разложении гумуса в результате аммонификации доступным становится 26 кг/га аммиачного азота, вынос азота с урожаем — 64 кг/га, потери на денитрификацию — 22 кг/га (среднегодовалый баланс азота нулевой).

При очень малой промываемости почвы — около 6 мм/год и хорошем перехвате азота корневой системой многолетних трав его вынос в грунтовые воды ничтожен, концентрация не превышает 0,1 г/л, среднегодовалая глубина грунтовых вод на участке равна 6,5 м. Ежегодно из растительных остатков образуется около 130 кг/га нового гумуса [см. формулу (3.104)], минерализация гу-

муса, подсчитанная через аммонификацию, равна 520 кг/га, в сумме сработка гумуса в год не превышает 0,39 т/га. При начальных запасах гумуса, равных 5 % массы сухой почвы в 0,5-метровом слое почвы, или 300 т/га, запасы гумуса уменьшатся до 277 т/га в течение 60 лет, или на 7,7 %. Это надо компенсировать периодическим внесением органических удобрений (навоза).

При регулярном орошении пресными водами среднесуточная оросительная норма составит 408 мм (с колебанием по годам 200...700 мм), промываемость составит 45 мм/год, грунтовые воды поднимутся на 0,5 м. Урожай удвоится и составит 8,8 т/га, для этого надо увеличить норму азотных удобрений до 100 кг/га, фиксация азота из-за лучшего водного режима возрастет до 30 кг/га, аммонификация увеличится незначительно — до 29 кг/га, а денитрификация — до 27 кг/га. Вынос азота с урожаем составит 130 кг/га, 2 кг/га азота вымывается с нисходящими токами влаги, его содержание в грунтовых водах становится заметным — 3,6 мг/л, но не превышает допустимое — 10 мг/л, содержание азота в сене не опасно — 1,4 %. Из-за роста урожайности ежегодное количество новообразованного гумуса удвоится — 265 кг/га, но с нисходящими токами влаги часть растворимого гумуса будет вымываться; при растворимости гумуса 0,35 кг/м³ и ежегодной промываемости почвы 45 мм, или 450 м³/га, вымыв составит 158 кг/га, что почти перекрывается ежегодным приростом новообразованного гумуса. Поэтому сработка гумуса при орошении без сильной промывки почвы заметно увеличиваться не будет.

Эффективность и безопасность полива подготовленными, обеззараженными и разбавленными сточными водами животноводческой фермы во многом зависят от концентрации азота в поливной воде. Так, при ее концентрации 25 г/л урожайность и баланс азота в сравнении с его внесением в виде туков практически не меняются, несколько возрастает концентрация азота в грунтовых водах (до 4,3 мг/л). При увеличении концентрации азота в поливной воде до 40 г/л ситуация резко ухудшается: его содержание в грунтовых водах увеличивается до 12 мг/л, что выше допустимого, увеличиваются потери на денитрификацию — до 57 кг/га, урожайность немного снижается — до 8,4 т/га, из-за «перекормки» азотом растет его количество в сене.

При поливе сточными водами возникают организационные трудности из-за неравномерной по годам потребности в орошении, приходится строить пруды-накопители, что дорого и небезопасно, азот при длительном хранении улетучивается. Поэтому целесообразно рассмотреть полив по так называемому «жесткому» графику: с постоянными поливными и оросительными нормами во все годы, отличающимся естественным увлажнением. При восьми поливах в каждый год и концентрации азота в воде 25 г/л среднесуточная

промываемость почвы увеличится из-за переполивов во влажные годы до 77 мм, урожайность снизится из-за недополивов в сухие годы на 0,5 т/га, грунтовые воды поднимутся до глубины 5,5 м. Загрязнение грунтовых вод почти не изменится: вынос за год возрастет с 3 до 6 кг/га, но за счет разбавления ситуация формально не ухудшится. Следовательно, такой «жесткий» график полива экологически допустим и будет несколько дешевле.

В целом строго регламентированный полив сточными водами при соответствующих природных условиях — эффективное природоохранное мероприятие, позволяющее экономить минеральные удобрения, в данном случае 120 кг/га чистого азота в год.

12.5. КОМПЛЕКСНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ

Следует различать понятия *комплексные мелиорации*, т. е. совместное применение всех необходимых и доступных видов и способов мелиорации на всех элементах (землях) водосбора, и *комплексное или совместное регулирование* факторов и условий роста и развития культивируемых растений. Отметим, что факторы — это материальные или энергетические воздействия на растения, а условия — это обстоятельства, в которых живут растения, например микроклимат, засоленность, прочность, рыхлость почвы и т. п. Понятия «комплексные мелиорации» и «комплексное регулирование» входят в разные области человеческой деятельности: первое — в природообустройство, а второе — в природопользование. Разница между ними рассмотрена в разделе 1.2.2. Комплексное регулирование должны осуществлять аграрии, выращивающие сельскохозяйственные растения. Предоставленные им мелиоративные возможности они должны уметь эффективно использовать, а оказывать мелиоративные услуги должны специалисты по заказу аграриев. Вместе с тем мелиораторы должны знать особенности и эффективность комплексного регулирования, чтобы уметь спроектировать соответствующие мелиоративные системы и затем управлять ими.

Принципы (законы) земледелия, подчеркивающие эффективность комплексного регулирования: незаменимость фактора, закон оптимума, принцип совокупности действия факторов — изложены в разделе 1.2.3. На основании этих принципов В. В. Шабановым были сформулированы требования к комплексному регулированию:

максимальное использование растительным покровом фотосинтетически активной радиации (ФАР) солнца — основной критерий эффективности комплексного регулирования;

активное и целенаправленное регулирование всех процессов; регулирование в первую очередь в каждый момент роста и развития растений значения лимитирующего фактора, находящегося в относительном минимуме;

создание оптимальных условий в критические моменты роста и развития растений;

значительно меньшая ошибка регулирования по сравнению с шириной оптимального диапазона саморегулирования (адаптации) растения;

обеспечение оптимальных условий роста и развития должны в первую очередь обеспечиваться для того вида растений, который находится в наиболее угнетенном состоянии;

учет стохастической неоднородности распределения свойств почв и запасов питательных веществ для определения неравномерности естественного плодородия по водосбору;

обеспечение расширенного воспроизводства плодородия почв на водосборе, а также недопущение или снижение негативных воздействий на окружающую среду; последнее требование вступает в конфликт с вышеуказанными, поэтому оптимальные значения (влагозапасов, температуры почвы, запасов питательных веществ и др.) предварительно оптимизируют с учетом прибыли от этого регулирования, а также материальных, энергетических, трудовых затрат на его регулирование и затрат на компенсационные мероприятия.

Пример обоснования мелиорации водосбора. Рассмотрим влияние водных мелиораций на водосборы среднего течения р. Дубны, где расположена Опытно-мелиоративная база кафедры мелиорации и рекультивации земель МГУП (пос. Селково, 33 км севернее г. Сергиев Посад). Река Дубна — правобережный приток р. Волги, ее протяженность 167 км, площадь водосбора 5350 км², в послевоенное время она была отрегулирована почти на всем протяжении, русло частично обваловано, пойма перестала затопливаться. Водосбор среднего течения Дубны расположен в пределах Московской физико-географической провинции, являющейся восточной частью Смоленско-Московской возвышенности, включающей Клинско-Дмитровскую гряду. Коренной рельеф здесь неровный и расчленен многочисленными субмеридиональными узкими эрозийными долинами, отражающими тектонические нарушения. Эта территория подвергалась окскому, днепровскому и московскому оледенениям. Последнее оледенение сыграло самую большую роль в формировании современных свойств ее ландшафтов. Мощность четвертичных отложений (два горизонта морены, разделенных межморенными песками), подстилаемых Юрскими глинами, колеблется от 20 до 60 м (рис. 12.2). Клинско-Дмитровская гряда имеет сложный холмистый и волнистый моренный рельеф, осложненный камами, ложбинами стока и древнеозерными котловинами, резко асимметричные склоны. Камы — холмы и гряды в областях распространения оледенения, сложены песками с линзами и прослоями глин с включениями отдельных валунов и их скоплений и возникли вследствие аккумулярующей деятельности потоков, которые циркулировали на поверхности, внутри и в придонной части крупных глыб льда в период деградации ледника.

Климат Московской провинции умеренно континентальный, со среднегодовыми температурами воздуха (для Сергиева Посада) 3,3 °С, январскими (–10,3 °С)

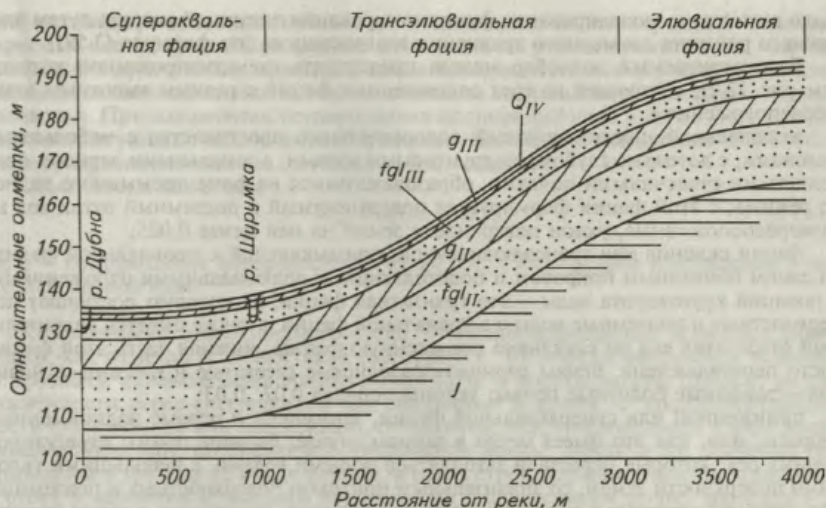


Рис. 12.2. Схематический разрез по катене (свойства слоев см. табл. 12.5)

и июльскими ($17,5^{\circ}\text{C}$). Теплый период ($c\ t > 5^{\circ}\text{C}$) в среднем наступает 20 апреля, его продолжительность 170 сут. Количество атмосферных осадков значительно — 606 мм/год, фактическое испарение — 406 мм/год (в теплый период — 331 мм, в холодный — 75 мм), речной сток примерно 200 мм/год, в том числе весеннего половодья — 100 мм, межени — тоже 100 мм. Осадки за теплый период составили 348 мм, испаряемость — 410 мм, потенциальный дефицит увлажнения — 62 мм, т. е. на элювиальных (возвышенных) фациях наблюдаются засушливые периоды. Меженный местный сток формируется в виде подземного питания за счет просачивания части атмосферных осадков во влажные периоды года, поэтому промываемость почв на возвышенностях значительна. Вследствие этого под пологом смешанных лесов сформировались промытые дерново-подзолистые почвы, в основании склонов — дерново-подзолистые глееватые и глеевые, в низинах — болотные почвы, а в долинах рек — аллювиальные.

Сумма биологически активных температур воздуха, т. е. выше 10°C , — 1800...1900 $^{\circ}\text{C}$, радиационный баланс — порядка 130 кДж/см², количество ФАР за теплый период равно 180 кДж/см², т. е. при достаточном увлажнении биологическая продуктивность ландшафтов здесь значительна — 9...12 т/га. Примерная структура угодий водосбора: леса, болота и водоемы — 66 %, луга и пастбища — 16, пашня — 16, биотические элементы ландшафта (населенные пункты, дороги, нарушенные земли) — 2 %. Ландшафты в данном физико-географическом районе имеют среднюю устойчивость:

$$K_c = 0,66 \cdot 0,70 + 0,16 \cdot 0,62 + 0,16 \cdot 0,14 - 0,02 \cdot 1 = 0,56,$$

но с учетом значительной кислотности почв пашня она ниже. Повысить устойчивость можно водными мелиорациями: осушительными — в понижениях и на поймах, оросительными — на водоразделах, сложенных легкими грунтами, а также понижая кислотность почв и внося органические удобрения большими нормами на промытые почвы.

Для оценки мелиоративных воздействий в целом на водосбор и на речной сток

было выполнено моделирование функционирования типичной катены путем численного решения двумерного уравнения влагопереноса [по формуле (3.59)].

Рассматриваемый водосбор можно представить схематизированной катеной (см. рис. 12.2), состоящей из трех сопряженных фаций с разным высотным взаиморасположением:

элювиальной, представляющей водораздельные пространства с небольшими уклонами, с довольно глубокими грунтовыми водами, с зональными дерново-подзолистыми супесчаными почвами, образовавшимися на фоне промывного водного режима; с этой фации формируется поверхностный и подземный отток вод на нижерасположенные, уклон поверхности земли на ней менее 0,005;

фации склонов или трансэлювиальной, примыкающей к элювиальной фации, со своим почвенным покровом и подстилающими делювиальными отложениями; с позиций круговорота воды — это транзитная фация, на которую поступают поверхностные и подземные воды с элювиальной фации, а также имеется значительный отток этих вод на соседнюю пониженную фацию; нижняя часть этой фации часто переувлажнена, почвы дерново-подзолистые глееватые и глеевые, в низинах — торфяные болотные почвы; уклоны порядка 0,02...0,03;

пониженной или супераквальной фации, занимающей первые надпойменные террасы, или, как это имеет место в данном случае, бывшие поймы отрегулированных рек, которые перестали затопляться полыми водами, с небольшими уклонами поверхности земли, со значительным притоком поверхностных и подземных вод, преимущественно с переувлажненными почвами, имеющими в своем водном питании восходящие токи влаги, с неглубокими грунтовыми водами; почвы здесь аллювиальные дерново-глеевые, среднесуглинистые, частично оторфованные и ожелезненные, подстилаемые олеенным суглинком, уклон поверхности около 0,005...0,008.

Общая ширина катены — 4000 м, элювиальной фации — 820, трансэлювиальной — 2180, супераквальной — 1000 м, разность высот на катене составляет 60 м. Левая граница катены — русло р. Дубны; на границе супераквальной и трансэлювиальной фаций протекает притеррасная речка Шурумка, выполняющая роль естественной ловчей дрены. Водно-физические свойства почв и подстилающих отложений приведены в таблице 12.5.

12.5. Водно-физические свойства катены

Горизонты	Супераквальная фация					Трансэлювиальная фация					Элювиальная фация				
	H	p	ω_m	h_k	k_f	H	p	ω_m	h_k	k_f	H	p	ω_m	h_k	k_f
Q_{IV} почва	1,0	0,49	0,10	1,9	1,0	0,5	0,48	0,10	1,5	1,4	0,6	0,46	0,09	1,6	1,6
g_{III} морена	1,5	0,40	0,08	2,2	0,4	2,0	0,33	0,07	2,5	0,6	0,8	0,33	0,06	2,5	2,5
fg_{III} песок	4,0	0,36	0,07	1,4	2,5	5,0	0,35	0,07	1,4	2,5	3,0	0,36	0,07	1,4	1,4
g_{II} морена	5,0	0,40	0,08	2,2	0,4	6,5	0,40	0,08	2,2	1,4	6,6	0,40	0,08	2,5	2,5
fg_{II} песок	15	0,35	0,07	1,0	4,0	15	0,35	0,07	1,0	2,2	15	0,35	0,07	1,0	1,0
I глина	Водоупор														

Примечание. H — толщина слоя, м; p — пористость, доля объема; ω_m — максимальная гигроскопичность, доля объема; h_k — высота капиллярной каймы, м; k_f — коэффициент фильтрации, м/сут.

Такая схематизированная катена включает в себя земли с разными типами водного питания, по А. Д. Брудастову: атмосферным, намывным делювиальным, грунтовым, а также включает набор зональных и аazonальных почв. Она учитывает размеры и формы рельефа, геологическое сложение. Помимо этого, с гидрологических позиций эта катена представляет собой элементарный водосбор. Рассмотрены только сельскохозяйственные земли (пашня на водоразделе и верхней части склонов,

луга, пастбища) в основании склонов и в понижениях, а после осушения — овоще-кормовые севообороты. При расчете слоя стока не учтена залесенность, так как испарения с луга и с леса примерно одинаковы, залесенность в большей степени сказывается на интенсивности таяния снега и на максимальных расходах в период половодья. При назначении осушительных мелиораций надо иметь в виду и необходимость осушения заболоченных лесных земель с целью повышения устойчивости и продуктивности лесов, улучшения бонитета леса.

Объем стока талых вод

$$W_{\text{ТБ}} = \sigma(Oc_3 - I_3), \quad (12.4)$$

где σ — коэффициент поверхностного стока; Oc_3 и I_3 — осадки и испарение в холодный период года.

Коэффициент поверхностного стока — трудноопределяемая величина, зависящая, как отмечал А. Н. Костяков еще в 1931 г., от многих факторов и условий: от крутизны склонов, водопроницаемости почв и подстилающих грунтов, их увлажненности перед снеготаянием или обильными дождями, от состояния поверхности (распаханная или залуженная), от наличия леса, микрорельефа в виде замкнутых понижений, интенсивности оттаивания почвы, дождя и др. Значения его приведены в таблице 12.6 (для первых четырех строк большие значения относятся к стоку в весенний и осенний периоды при непромерзшей почве, меньшие — к периоду летних дождей; в последней строке — для весеннего стока по мерзлой почве). В данных условиях коэффициент весеннего поверхностного стока принят равным для элювиальной и супераквальной фаций с малыми уклонами — 0,36, а для трансэлювиальной со средними уклонами — 0,52.

Было рассмотрено функционирование катен до и после мелиорации, заключающейся в некотором углублении рр. Дубны и Шурумки, в строительстве дренажа на супераквальной фации с глубиной дрен 1,2 м и расстояниями между ними 30 м, орошении почв на элювиальной фации в засушливые периоды. Для этого были использованы данные по метеостанции г. Дмитрова за 42 года (1959—2000). Некоторые результаты моделирования приведены в таблицах 12.7 и в 12.8, остальные — в тексте.

Критерием правильности схематизации природных условий, в том числе и коэффициентов поверхностного стока, явилось хорошее согласие среднемноголетнего годового местного стока и стока весеннего половодья за 42 года со значениями, приведенными на официальных картах стока: по модели — 207 и 106 мм, а по картам — 197 и 102 мм соответственно (см. табл. 12.7). Сопоставляются также многолетняя их изменчивость: коэффициент вариации годового стока по расчетам 0,27 и 0,34, а по картам — 0,25 и 0,46.

12.6. Значения коэффициента поверхностного стока для разных почв и грунтов в зависимости от уклона местности (по А. Н. Костякову)

Почвы и грунты на водосборе	Уклон местности		
	малый (< 0,01)	средний (0,01...0,05)	большой (>0,05)
Хорошо водопроницаемые (пески, супеси)	0,1...0,2	0,15...0,25	0,2...0,3
Средние водопроницаемые (легкие суглинки)	0,15...0,25	0,2...0,3	0,25...0,4
Ниже средней проницаемости (средние суглинки)	0,2...0,3	0,25...0,45	0,35...0,6
Слабоводопроницаемые (тяжелые суглинки, глины)	0,25...0,4	0,3...0,6	0,5...0,75
Мерзлые	0,35...0,6	0,4...0,75	0,8...0,95

Высотное положение фаций по-разному формирует их среднегодовое водный баланс (см. табл. 12.7): для элювиальных фаций осадки равны 606 мм, испарение — 288 мм (с учетом испарения в холодный период, равного 75 мм), сток талых вод — 65 мм, а подземный отток — 252 мм, т. е. суммарный отток влаги на пониженные фации составляет при наличии хорошо проницаемых супесчаных почв 52 % годовой суммы осадков. У транзитной фации склонов испарение возрастает до 405 мм, боковой отток на 67 мм превышает приток, весенний и летний сток равен 133 мм, т. е. суммарный отток влаги составляет 200 мм, или 33 % осадков. Пониженная супераквальная фация испытывает значительный дополнительный приток влаги — 353 мм, или 58 % годовых осадков, что при недостаточной естественной дренированности вызывает подъем уровня грунтовых вод, сильное переувлажнение почвы, рост поверхностного стока. Именно при таком детальном анализе водного баланса проявляются предложенные А. Д. Брудастовым типы водного питания и следующие из них методы осушения, в данном случае: ограждение от притока подземных вод со склонов, углубление водоприемника, систематический горизонтальный дренаж для увеличения оттока подземных вод и понижения их уровня.

12.7. Влияние мелиораций на составляющие стока (среднегодовые показатели)

Ситуация	Годовые осадки, мм	Годовое испарение, мм		Годовой сток, мм		Сток половодья, мм		Меженный сток, мм	
		по карте	модель	по карте	модель	по карте	модель	по карте	модель
Естественный режим	606	409	399	197	207	102	106	95	101
Мелиорация	606	—	392	—	214	—	93	—	121

12.8. Результаты прогноза водного режима катены в бассейне р. Дубны

Фации	Статья водного баланса, мм							Пром	ПСг	Ур	
	Вув	ВпОс	Бпр	Бот	Этр	ДрЛ	ДрС				Ор
<i>Элювиальная</i>											
Естественный режим	117	348	—	252	213	—	—	—	263	—	0,72
Мелиорация	117	348	—	276	255	—	—	66	292	—	0,93
<i>Трансэлювиальная</i>											
Естественный режим	75	322	95	162	330	—	—	—	73	26	0,39
Мелиорация	76	323	103	170	332	—	—	—	76	25	0,71
<i>Супераквальная</i>											
Естественный режим	48	282	353	32	410	250	—	—	-64	66	0,45
Мелиорация	99	348	371	45	389	256	128	—	69	—	0,80

Примечание. Вув — весеннее увлажнение (в период снеготаяния); ВпОс — впитавшиеся атмосферные осадки теплого периода; Бпр — боковой приток на фацию за год; Бот — боковой отток с фации за год; Этр — суммарное испарение (эвапотранспирация) за теплый период; ДрЛ — отток в ловчую дренаж за год;

ДрС — сток в искусственный систематический дренаж за год; Ор — оросительная норма; Пром — промываемость почвы, мм; ПСТ — летний поверхностный сток, мм; Ур — относительная урожайность, определенная по формулам (3.98) и (3.99).

После осушения и орошения земель ожидается некоторое увеличение годового местного стока с данной катены с 207 до 214 мм, уменьшение стока весеннего половодья за счет большего впитывания талых вод в осушенную почву — со 106 до 93 мм и увеличение меженного стока за счет усиления дренированности территории — со 101 до 121 мм. Если же из местного меженного стока вычтеть забор воды на орошение при среднемноголетней норме, приведенной ко всей площади катены $66 \cdot 820/4000 = 14$ мм, то и меженный сток увеличится незначительно — на 6 мм, а годовой даже слегка уменьшится — на 7 мм. Такую направленность изменения речного стока в результате водных мелиораций в гумидной зоне подтверждают многие ученые. Незначительное, но благоприятное для водосбора изменение речного стока объясняется небольшой мелиоративной нагрузкой.

Больше всего изменяется водный режим осушаемой супераквальной фации: углубление ловчей дрены провоцирует некоторое увеличение бокового притока на нее — с 353 до 371 мм (при сравнении водообмена между фациями, выраженном в мм слоя воды, надо иметь в виду их разную ширину), суммарный отток подземных вод с фации в углубленное русло Дубны, в Шурумку и в систематический дренаж вырастает значительно — до $45 + 256 + 128 = 429$ мм по сравнению с естественным $32 + 250 = 282$ мм, или в 1,66 раза.

Осушение способствует увеличению впитывания талых вод с 48 до 99 мм, а также объему впитавшихся осадков (с 282 до 348 мм), вследствие этого прекращается поверхностный сток летом. Уменьшение влагообеспеченности фации за счет осушения приводит к некоторому уменьшению суммарного (физического и водопотребления растениями) испарения примерно на 10 %.

Среднегодовая глубина грунтовых вод при этом увеличивается с 0,98 до 1,43 м, а среднегодовая минимальная — с 0,29 до 0,82 м, т. е. обеспечивается требуемая норма осушения. Это объясняет существенный, практически в 2 раза, прирост продуктивности фации за счет оптимизации водного режима. Негативной является смена выпотного типа водного режима, т. е. капиллярного подпитывания, в среднем равного 64 мм в год, на промывной тип с интенсивностью 69 мм/год, полученное при моделировании значение промываемости подтверждается полевыми исследованиями с помощью лизиметров. Это приведет к вымыванию из почвы питательных веществ и растворенного гумуса, а также к загрязнению речных вод биогенами. Компенсировать вымыв можно повышенным внесением удобрений, но это не защищает речные воды. Оптимальным может быть некоторое снижение интенсивности дренирования и связанное с ним уменьшение продуктивности (урожайности).

Водный режим трансэлювиальной фации, судя по осредненным показателям, изменился незначительно, но углубление ловчей дрены привело к осушению прилегающих к ней земель и к заметному увеличению урожайности.

На высоко- и владеке расположенную элювиальную фацию осушение не сказало, изменения вызваны только поливами в засушливые годы, из 42 лет два полива и более нормами по 30 мм понадобилось в 27 годах, в среднем это увеличивает урожайность картофеля в $0,93/0,72 = 1,29$ раза. Среднемноголетняя оросительная норма составила 66 мм, из-за легкого гранулометрического состава почв (супеси) часть поливной воды даже при незначительных нормах все-таки просочилась вниз, увеличив промываемость метрового слоя почвы на 29 мм и боковой отток на 24 мм, суммарное испарение возросло на 42 мм. Компенсируют промываемость дополнительным внесением удобрений.

До орошения при урожайности картофеля 25 т/га по формуле (3.105) находим массу сухой органики, поступающей в почву вместе с ботвой: $B_{\text{по}} = 25 \cdot 0,3(1 - 0,793)/0,793 = 1,95$ т/(га · год), а по формуле (3.104) можно вычис-

лить количество новообразованного гумуса $G_{\text{нов}} = 1,724 \cdot 0,08 \cdot 0,397 \cdot 1,95 = 0,11$ т/(га · год) и его ежегодный вынос с нисходящими токами влаги при промываемости почвы 263 мм; $V_{\text{выл}} = 0,01 \cdot 263 \cdot 0,35 = 0,92$ т/(га · год), т.е. образуется дефицит гумуса в количестве $G_{\text{уд}} = 0,11 - 0,92 = -0,81$ т/(га · год), для покрытия этого дефицита нужно ежегодно под картофель вносить $D_{\text{н}} = 0,81 / (1,724 \cdot 0,3 \cdot 0,5 \cdot 0,25) = 12,5$ т/(га · год) [формула (3.104)] полуперепревшего навоза. Если же в результате орошения (табл. 12.8) урожайность возрастет до $25 \cdot 0,93/0,72 = 32,3$ т/га, а промываемость увеличится с 263 до 292 мм, то дозу навоза нужно обеспечить до 13,5 т/(га · год). При включении в севооборот многолетних трав, дающих за два укоса 5 т/га сена, растительных остатков образуется 6,9 т/(га · год), из которых ежегодно образуется 1,2 т/га нового гумуса. Это количество превышает его вымыв, т.е. баланс гумуса будет даже в условиях сильной промываемости почвы бездефицитным. Эта ситуация сохранится и после мелиорации за счет роста урожайности.

В среднем относительная продуктивность катены в результате водных мелиораций возрастает с 0,46 до 0,78, т.е. в 1,7 раза. Этот рост нужно обеспечить повышенными нормами удобрений, в основном органическими как экологически менее опасными, и снижением кислотности почв на возвышенностях гипсовани-ем.

Данные о незначительном изменении годового стока, стока половодья и меженного стока свидетельствуют о том, что загрязнение р. Дубны биогенами после мелиораций практически не увеличится, так как площадь пахотных земель не изменится, а сокращение поверхностного стока в половодье на 106 – 93 = 13 мм и уменьшение летнего поверхностного стока с супераквальной фации на 66 мм приведет к уменьшению смыва биогенов в реку; увеличение подземного питания и соответственно меженного стока при осушении с учетом использования части дренажного стока на орошение составит только 6 мм. Для закрепления этого эффекта необходимы простейшие природоохранные мероприятия по извлечению биогенов из дренажных вод: биоплато в устье осушительных каналов и установка фильтрующих пакетов с сорбентами, извлекающих гербициды и тяжелые металлы, содержащиеся в минеральных удобрениях.

Ориентировочно можно считать, что экологическая стабильность распахан-ных сельскохозяйственных земель на водосборе в результате мелиорации возра-стет в 1,66 раза. Внедрение водооборотной технологии, т.е. использование части собственного дренажного стока, содержащего растворенные биогены, на ороше-ние, а также сокращение вдвое площади нарушенных и загрязненных земель и перевод их в земли лесного фонда вместе с ростом продуктивности пашни, зани-мающей 0,16 часть катены, несколько повысят коэффициент экологической ус-тойчивости: $K_c = 0,67 \cdot 0,7 + 0,16 \cdot 0,62 + 0,16 \cdot 0,24 - 0,01 \cdot 1 = 0,6$.

Контрольные вопросы и задания. 1. Как проявляется связь речных бассейнов и ландшафтов? 2. Какова связь ландшафтно-геохимических арен и водосборов? 3. Охарактеризуйте программы комплексного обустройства земель. 4. Как влияют мелиорации на водосборы? 5. Каково значение природосберегающего земледелия для обустройства водосбора? 6. Опишите меры по утилизации дренажных и сточ-ных вод. 7. Какие подходы обоснования мелиорации водосбора вы знаете?

ЛИТЕРАТУРА

- Авакян А. Б.* Исследование водохранилищ и их воздействия на окружающую среду// Водные ресурсы. — 1999. — Т. 26. — № 5. — С. 554...567.
- Аверьянов С. Ф.* Борьба с засолением орошаемых земель. — М.: Колос, 1978. — 288 с.
- Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Методическое руководство/ Под ред. В. И. Киришина — М.: Росинформагротех, 2005. — 784 с.*
- Агроэкология/ Под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. — М.: Колос, 2000. — 536 с.*
- Айдаров И. П.* Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель. — М.: Агропромиздат, 1985. — 304 с.
- Айдаров И. П.* Перспективы развития комплексных мелиораций. — М.: Изд-во МГУ, 2004. — 137 с.
- Айдаров И. П., Голованов А. И., Никольский Ю. Н.* Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель. — М.: Агропромиздат, 1990. — 60 с.
- Будыко М. И.* Климат и жизнь. — Л.: Гидрометеоздат, 1971. — 472 с.
- Вендров С. Л., Дьяконов К. Л.* Водохранилища и окружающая среда. — М.: Наука, 1976. — 136 с.
- Вуглинский В. С.* Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1991. — 224 с.
- Глазовская М. А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. — М.: Высшая школа, 1988. — 328 с.
- Глазовская М. А.* Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. — М.: Изд-во МГУ, 1997.
- Голованов А. И., Балан А. Г., Ермакова В. Е., Ефимов И. Т.* Мелиоративное земледелие. — М.: Агропромиздат, 1986. — 328 с.
- Голованов А. И., Кожанов Е. С., Сухарев Ю. И.* Ландшафтоведение. — М.: КолосС, 2005. — 216 с.
- Голованов А. И., Сурикова Т. И., Сухарев Ю. И., Зимин Ф. М.* Основы природообустройства. — М.: Колос, 2001. — 262 с.
- Гумбаров А. Д.* Комплексные мелиорации в дельте реки Кубань. — Краснодар: Советская Кубань, 2001. — 180 с.
- Дегтярев Б. М.* Дренаж в промышленном и гражданском строительстве. — М.: Стройиздат, 1990.
- Дьяконов К. Н., Аношко В. С.* Мелиоративная география. — М.: Изд-во МГУ, 1995. — 254 с.
- Дьяконов К. Н., Дончева А. В.* Экологическое проектирование и экспертиза. — М.: Аспект пресс, 2002. — 384 с.

- Зейдельман Ф. Р.* Мелиорация почв. — М.: Изд-во МГУ, 1996. — 382 с.
- Исаченко А. Г.* Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. — М.: Высшая школа, 1991. — 365 с.
- Ковда В. А.* Биогеохимия почвенного покрова. — М.: Наука, 1985. — 264 с.
- Костяков А. Н.* Основы мелиорации. — М.: Сельхозгиз, 1960. — 662 с.
- Лапшенков В. С.* Противозерозийные гидротехнические сооружения. — Новочеркасск, 1996. — 100 с.
- Мелиоративная энциклопедия/ Под ред. Б. С. Маслова* — М.: Росинформагротех, 2003 — Т. 1 (А—К). — 672 с.; 2004 — Т. 2 (К—П). — 444 с; 2004 — Т. 3 (П—Я). — 440 с.
- Мелиорация и водное хозяйство: Справочник, т. 3 «Осушение»/ Под ред. Б. С. Маслова.* — М.: Ассоциация Экост, 2001. — 606 с.
- Мелиорация и водное хозяйство: Справочник, т. 6 «Орошение»/ Под ред. Б. Б. Шумакова.* — М.: Колос, 1999. — 432 с.
- Минеев В. Г., Дебрецени Б., Мазур Т.* Биологическое земледелие и минеральные удобрения. — М.: Колос, 1993.
- Пегов С. А., Хомяков П. М.* Моделирование развития экологических систем. — Л.: Гидрометеоздат, 1991. — 222 с.
- Перельман А. И.* Геохимия ландшафта. — М.: Высшая школа, 1975.
- Плюснин И. И., Голованов А. И.* Мелиоративное почвоведение. — М.: Колос, 1983. — 318 с.
- Полубаринова-Кочина П. Я.* Теория движения грунтовых вод. — М.: Наука, 1977. — 664 с.
- Попов М. А., Румянцев И. С.* Природоохранные сооружения. — М.: КолосС, 2005. — 520 с.
- Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв/ Под ред. Д. С. Орлова и В. Д. Василевской.* — М.: Изд-во МГУ, 1994.
- Реймерс Н. Ф.* Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). — М.: Россия молодая, 1994. — 367 с.
- Румянцев И. С., Кромер Р.* Использование методов инженерной биологии в практике гидротехнического и природоохранного строительства/ Под ред. И. С. Румянцева. — М.: Изд-во МГУ, 2003. — 259 с.
- Руэце К., Кырстя С.* Борьба с загрязнением почвы. — М.: Агропромиздат, 1986.
- Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации/ А. А. Богушевский, А. И. Голованов, В. А. Кутергин и др.; Под ред. Е. С. Маркова.* — М.: Колос, 1981. — 375 с.
- Эдыуев В. В.* Физико-математические основы ландшафтоведения. — М. Изд-во МГУ, 2003. — 175 с.
- Шабанов В. В.* Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет. — Л.: Гидрометеоздат, 1981. — 142 с.
- Шабанов В. В., Галамина И. Г., Беглярова Э. С., Юрченко Н. Ф.* Комплексное использование водных ресурсов и охрана природы. — М.: Колос, 1994. — 318 с.
- Шестаков В. М.* Динамика подземных вод. — М.: Изд-во МГУ, 1979.
- Шикломанов И. А.* Антропогенные изменения водности рек. — Л.: Гидрометеоздат, 1979. — 302 с.
- Эдельштейн К. К.* Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. — М.: ГЕОС, 1998. — 277 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Агрогеосистема 144
— культурная 145
Агромелиоративные мероприятия 296
— глубокое рыление 296
— кротование 296
— шелевание 296
Альbedo 79
Арена 513
Атмосфера 72
- Баланс водный 85, 416
— водохозяйственный 500
— гумуса в почве 228
— радиационный 79
— тепловой 80
Барьер биогеохимический 50
Биогеосфера 15
Болото 276
— верховое 276
— низинное 276
— переходное 276
- Вода 82
— баланс 79
— свойства 82
Водный объект 478
— виды 478
— качество 481
— полезности 479
— ресурс 479
Водозабор головной 264
Водопотребление суммарное 210
Водосбор 511
— влияние мелиораций 536
— этапы обустройства 521
Водохранилище 490
— водный баланс 498
— зона берегоразрушения 505
— — временного затопления 504
— — мелководная 504
— — подтопления 505
— — постоянного затопления 504
- Галогеохимическая емкость геосистем 49
Геосистема 16, 27
— емкость компонентов 47
— свойства 38
— — нелинейность природных процессов 43
— — продуцирование биомассы 42
— — способность почвообразования 42
Геосферы 13
Гидромодуль 219
- Дефицит увлажнения 89
Дренаж 268
— вертикальный 270
— — береговой 304
— — ограждающий 303
— головная дрена 303
— горизонтальный 269
— — береговой 303
— — гончарные дрены 297
— — закрытый 297
— — кротовый 300
— — открытый 300
— — шелевой 300
— комбинированный 271
— орошаемых земель 268
— — пластмассовые дрены 297
- Загрязнение 360
Законы движения веществ и энергии 63
— второй закон Ньютона 63
— второй закон Фика (диффузии в растворах) 63
— закон Ома 63
— закон теплопроводности Фурье 63
— закон фильтрации Дарси 64
— закон Шези для турбулентных потоков 64
Затопление 322
Защита земель от затопления 326, 432
— — от подтопления 326
— — территории инженерная 325
Земледелая законы 24
Земли 18
— загрязненные 360
— засоленные 272
— — капитальные промывки 273
— категории 196
— качество 200
— коэффициент экологической стабильности 522

- мониторинг 189
- нарушенные 360
- переувлажненные 275
 - заболоченные 277
 - минеральные 277
- Индекс сухости 89
- Ирригационные поля утилизации сточных вод (ИПУ) 530
- Испарение 86
- Испаряемость 86
- Источники воды для орошения 257
 - качество воды 257
 - местный сток 260
 - оросительная способность 222, 258
 - подземные воды 260
 - реки 259
 - сточные воды 263
- Канал в земляном русле 247
 - ловчий 302
 - лотковый 250
 - нагорный 301
- Катена 513
- Коэффициент гидротермический 205
 - земельного использования 241
 - полезного действия оросительной сети 253
 - увлажнения 89
- Критерии подобия 68
- Круговорот веществ и энергии 55
 - биотический 49
 - динамика запасов гумуса при мелиорации земель 129
 - запасы и прирост биомассы 122
 - фотосинтез 119
 - воды 82
 - геохимический 99
 - азота 106, 108
 - легких нефтепродуктов в почве и подземных водах 114
 - передвижение солей в почве и подземных водах 102
 - передвижение тяжелых металлов 114
 - энергетические потоки в геосистемах 77
- Ландшафт 37
 - агроландшафт 144
 - измененный 138
 - культурный 139
 - ландшафтное земледелие 145
 - ландшафтный (геосистемный) подход 17, 71
 - экономическая ценность 140
- Лесопосадки 416
- Математическая модель 68
 - влагопереноса в почве и грунтах 92
 - движения воздушных масс и загрязнителей 74
 - динамики азота в почве 108
 - передвижение солей в почве 103
 - продуктивности (урожайности) растений 125
 - теплопереноса в почве 81
- Мелиоративный режим 200
 - застроенных территорий 326
- Мелиорация 196
 - классификации 196, 198
 - комплексная 198, 528
 - на водосборе 528
 - несельскохозяйственных земель 320
 - лесного фонда 354
 - на аэродромах 352
 - поселений 322
 - промышленности 344
 - транспорта 350
 - оросительная 209
 - обеспеченность орошения 227
 - организация территории 240
 - норма 212
 - система 239
 - — — мощность 226
 - — — энергетическое хозяйство 247
 - режим орошения 209
 - осушительная 275
 - водоприемники 310
 - метод осушения 290
 - модуль стока 306
 - норма осушения 292
 - осушительная система 279
 - способы осушения 290
 - увлажнение осушаемых земель 312
 - сельскохозяйственных земель 203
 - сущность 196
 - цель 197, 199, 200
- Мероприятия противозерозионные 415
- Моделирование природных процессов 65, 66
 - аналоговое 67
 - математическое 68
 - — — этапы 69
 - модель 66
 - натурные эксперименты 66
 - размерность модели 70
 - физическое 67
- Мониторинг 187
 - уровни 188
- Наводнение 427
 - мероприятия по предупреждению 430
 - причины 428
- Неравновесная термодинамика необратимых процессов 56
 - второе начало 58
 - закон возрастания энтропии 58
 - первое начало (закон сохранения энергии) 58
 - термодинамический потенциал почвенного раствора 60
 - третье начало (теорема Нернста) 59
 - энергия 57
 - энтропия 57
- Нормативно-правовая база природообустройства 158
 - стандарты 162
- Обвалование территории 432
- Обустройство водосборов 514
 - терри토리 инженерное 22
- Объем водоохранилища мертвый 491
 - — — полезный 492
 - — — полный 492

- Окружающая среда 10
 - артеприродная 11
 - качество 5
 - квазиприродная 10
 - природная 10
 - социальная 11
- Оползень 453
 - противооползневые мероприятия 456
- Организация территории 240
- Орошение риса 223
- Осмоз 62
- Оценка воздействия на окружающую среду 165
- Подтопление 322
- Пойма 315
- Полив 208
 - межполивной период 217
 - невегетационные и дополнительные поливы 218
 - поливная норма 216
 - поливной период 218
 - способы полива 229
 - — внутрипочвенный 233
 - — дождевание 233
 - — — — — достояковая поливная норма 236
 - — — — — качество дождя 234
 - — — — — капельный 238
 - — — — — поверхностный 229
 - — — — — впитывание воды в почву 230
- Полоса защитная 415
- Польдер 316
- Потенциал почвенной влаги полный 96
 - гравитационный 94
 - капиллярный 95
 - каркасный 94
 - осмотический 95
- Почва 13, 42, 51
 - влагоемкость 96
 - влагопроводность 93
 - динамика запасов гумуса при мелиорации 128
 - плодородие 542
 - — индекс 122
 - — потенциальное 123
 - — биологическая 52
 - — механическая 51
 - — физико-химическая (обменная) 51
 - — физическая 51
 - — химическая 52
 - почвообразование 42
 - функции экологические 42
 - функция социально-экономическая 42
- Принципы рационального природообустройства и природопользования 24
 - адекватности воздействий 28
 - гармонизации круговоротов 28
 - интеграции знаний 30
 - комплексности 29
 - необходимого разнообразия 28
 - нравственности 30
 - одновременной эффективности и безопасности 29
 - предсказуемости 28
- природных аналогий 27
- сбалансированности 27
- целостности 27
- Природа 7
 - компоненты 13
- Природно-техногенный комплекс природообустройства 148
 - инженерная мелиоративная система 148
 - — природоохранная система 149
 - — система рекультивации земель 149
 - — противостийная система 149
 - инженерно-экологическая система 149
 - подсистемы 155
 - — аккумулирующая 156
 - — гидротехнические сооружения 156
 - — заборная и сбросная 156
 - — локализирующая 156
 - — мониторинга, контроля и автоматизации 156
 - — обеспечения экологической безопасности 156
 - — ограждающая 156
 - — проводящая 156
 - — регулирующая 155
 - — эксплуатационная инфраструктура 156
 - — система водоснабжения, водоотведения, обводнения 149
 - — регулирования речного стока 149
 - — хранения отходов 149
- Природный объект 17
 - ресурс 17
- Природоведение 12
- Природообустройство 3, 12, 20
 - объекты 21, 22
- Природопользование 12
 - водопользование 19
 - воздухопользование 19
 - землепользование 18
 - недропользование 19
 - опосредованное 19
- Прогнозирование 157
 - виды прогнозов 157
 - методики 157
- Продуктивность сельскохозяйственных растений 125
- Размыв берегов (абразия) 437
- Регулирование факторов роста и развития растений комплексное 535
- Река 510
 - водоохранная зона 465
 - малая 464, 524
 - прибрежная защитная полоса 466
 - признаки естественных водотоков 469
 - природоприближенная реконструкция 469
- Рекультивация 359
 - выемок и отвалов 361, 373
 - выработанный торфяников 368, 378
 - загрязненных земель 360, 384
 - земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами 361, 400
 - земель, загрязненных пестицидами 409
 - земель, загрязненных тяжелыми металлами 361, 392

- земель, нарушенных при строительстве линейных сооружений 381
- полигонов ТБО 362, 383
- рекультивационный режим 364
- этапы 363
- биологический 367
- подготовительный 364
- технический 365
- эффективность 410
- Речной бассейн 482, 511
- поверхностный водосбор 482
- подземный водосбор 482
- связь с ландшафтно-геохимическими катенами 513
- связь с ландшафтом 512
- функции 511
- Речной сток 483
- качество воды 487
- модуль 485
- регулирование 490

Самоочищение 386

- Свойства компонентов природы барьерные 49
- — — емкостные 47
- — — проводимость 46
- Сель 458
- Сеть водосборно-сбросная 245
- проводящая 240
- временная 242
- — — комбинированная 244
- — — открытая 241
- — — регулирующая 245
- — — трубчатая 243
- оросительная 240
- — — гидравлические расчеты 254
- — — конструкции 247
- осушительная 245
- — — ограждающая 301
- — — проводящая 305
- — — регулирующая 291
- Система 32
- большая 33
- динамическая 40
- — — динамичность 41
- — — открытость 41
- — — способность развиваться 42
- — — устойчивость 41, 43
- — — функционирование 40
- свойства 38

- — сложность 38
- — структурность 39
- — — критерии 43
- — — разнообразие 39
- — — целостность (эмерджентность) 38
- Системный анализ 31
- постулаты теории систем 32
- Сооружения берегозащитные 441
- берегоукрепительные 441
- водоотводящие 441
- водосборные 417
- вершинные 419
- овражные 425
- откосные 443
- подпорные 423
- селеделительные 460
- селезадерживающие 460
- селепропускные 462
- селерегулирующие 460
- Сточные воды 263

Тепловлагообеспеченность 122

- гидротермическая зональность 89
- Техноприродная система 137
- Тип водного питания 281
- атмосферный 282
- грунтово-напорный 284
- грунтовый 283
- намывный 285

Фация 45

Экологическая инфраструктура 523

- политика 163
- Экологический аудит 189
- консалтинг 190
- контроль 190
- Эколога-экономическое обоснование 191
- Экосистема 16
- Экспертиза проектов природообустройства 179
- виды 180
- принципы 182
- Эпигеосфера 36
- Эрозия почв 414
- мероприятия по защите 415
- факторы 413
- Эффективность социальная 29
- экологическая 29
- экономическая 29

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
Часть I. ТЕОРИЯ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА	7
1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА (<i>А. И. Голованов, В. В. Шабанов</i>)	7
1.1. Природопользование и природообустройство как отношения человека и природы	7
1.2. Объекты природопользования и природообустройства	12
1.2.1. Объекты, ресурсы и виды природопользования	17
1.2.2. Объекты и виды природообустройства	20
1.3. Принципы рационального природопользования и природообустройства	23
2. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ПРИРОДООБУСТРОЙСТВЕ (<i>А. И. Голованов, И. В. Корнеев</i>)	31
2.1. Геосистемы (ландшафты) как объекты природообустройства	36
2.2. Свойства геосистем	38
2.3. Устойчивость геосистем	43
2.4. Свойства компонентов геосистем	45
3. КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ В ПРИРОДЕ (<i>А. И. Голованов</i>)	55
3.1. Основные законы движения веществ и энергии в геосистемах	56
3.2. Моделирование природных процессов	65
3.3. Движение воздушных масс атмосферы и загрязняющих веществ	72
3.4. Энергетические потоки в геосистемах	77
3.5. Круговорот воды в природе, движение почвенной влаги и подземных вод	82
3.6. Геохимический круговорот веществ	99
3.6.1. Передвижение солей в почве и в подземных водах	102
3.6.2. Передвижение азота в почве и в подземных водах	106
3.6.3. Передвижение тяжелых металлов в почве и в подземных водах	110
3.6.4. Передвижение легких нефтепродуктов в почве и в подземных водах	114
3.7. Биотический круговорот веществ	119
4. ТЕХНОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОСИСТЕМЫ. КУЛЬТУРНЫЕ ЛАНДШАФТЫ (<i>А. И. Голованов</i>)	136
4.1. Измененные геосистемы	136

4.2. Культурные ландшафты	139
4.3. Культурные агрогеосистемы	144
5. ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПРИРОДО-	
ОБУСТРОЙСТВА (И. В. Корнеев)	146
5.1. Виды ПТК и инженерных систем природообустройства	148
5.2. Этапы создания и функционирования ПТК природообустройства	150
5.3. Функциональный состав техногенного блока ПТК природо-	
обустройства	154
5.4. Прогнозирование процессов в ПТК природообустройства	157
6. НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ БАЗА И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА	
ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА	
<i>(И. В. Корнеев, В. В. Шабанов)</i>	<i>158</i>
6.1. Правовая база природообустройства	158
6.2. Стандарты в области природообустройства	162
6.3. Экологическая политика в области природообустройства	163
6.4. Оценка воздействия на окружающую среду	165
6.5. Экспертиза проектов природообустройства	179
6.6. Мониторинг ПТК природообустройства	187
6.7. Экологический аудит и контроль	189
6.8. Эколого-экономическое обоснование проектов природообустройства	191
Часть II. ПРАКТИКА ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА	196
7. ОСНОВЫ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ. МЕЛИОРАЦИЯ СЕЛЬСКО-	
ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ (Т. И. Сурикова, А. И. Голованов)	196
7.1. Общие положения о мелиорации земель. Мелиоративный режим	196
7.2. Мелиоративные системы	202
7.3. Мелиорация сельскохозяйственных земель	203
7.3.1. Характеристика сельскохозяйственных земель России	204
7.3.2. Оросительные мелиорации	208
7.3.2.1. Режим регулярного орошения земель	209
7.3.2.2. Способы и техника полива сельскохозяйственных	
культур	229
7.3.2.3. Оросительные системы	239
7.3.2.4. Конструкции и расчет оросительной сети	247
7.3.2.5. Источники воды для орошения, головные водозаборы	257
7.3.2.6. Дренаж на орошаемых землях	268
7.3.2.7. Мелиорация засоленных земель	272
7.3.3. Осушительные мелиорации	275
7.3.3.1. Переувлажненные земли и использование осушаемых	
земель	275
7.3.3.2. Осушительные системы	279
7.3.3.3. Причины переувлажнения земель, типы водного	
питания	281
7.3.3.4. Водный баланс переувлажненных и осушаемых земель.	
Методы и способы осушения	287
7.3.3.5. Регулирующая осушительная сеть	291
7.3.3.6. Ограждающая и проводящая сеть	301
7.3.3.7. Водоприемники осушительных систем	310
7.3.3.8. Увлажнение осушаемых земель	312
7.3.3.9. Особенности осушения пойм и прибрежных низмен-	
ностей	315
8. МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ НЕСЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО	
НАЗНАЧЕНИЯ (Ю. И. Сухарев)	320

8.1. Категории земель несельскохозяйственного назначения	320
8.2. Особенности мелиорации земель поселений	322
8.2.1. Причины неудовлетворительного состояния земель поселений	322
8.2.2. Методы инженерной защиты территорий поселений от затопления и подтопления	325
8.2.3. Ускорение отвода поверхностного стока	327
8.2.4. Ограждение территории от притока поверхностных вод	331
8.2.5. Понижение уровня грунтовых вод	331
8.2.6. Конструкции подземных дренажей	332
8.2.7. Системы подземных дренажей	338
8.2.8. Фильтрационные расчеты защитных дренажей	341
8.2.9. Искусственное повышение поверхности территории	343
8.3. Мелиорация земель промышленности	344
8.3.1. Мелиорация земель добывающей промышленности	344
8.3.2. Мелиорация земель обрабатывающей промышленности	347
8.4. Мелиорация земель транспорта	350
8.5. Водоотвод и дренаж на аэродромах	352
8.6. Мелиорация земель лесного фонда	354
9. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ (Ф. М. Зимин, А. И. Голованов)	359
9.1. Основные понятия о рекультивации земель	359
9.2. Этапы рекультивации земель	363
9.2.1. Подготовительный этап рекультивации	364
9.2.2. Технический этап рекультивации	365
9.2.3. Биологический этап рекультивации	367
9.3. Способы технической рекультивации	373
9.3.1. Рекультивация карьерных выемок и отвалов	373
9.3.2. Рекультивация выработанных торфяников	378
9.3.3. Рекультивация земель, нарушенных при строительстве линейных сооружений	381
9.3.4. Обустройство и рекультивация полигонов хранения твердых отходов	383
9.4. Рекультивация загрязненных земель	384
9.4.1. Химическое загрязнение геосистем и принципы рекультивации загрязненных земель	384
9.4.2. Рекультивация земель, загрязненных тяжелыми металлами	392
9.4.3. Рекультивация земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами	400
9.4.4. Рекультивация земель, загрязненных пестицидами	409
9.5. Эффективность рекультивации земель	410
10. ПРИРОДООХРАННОЕ ОБУСТРОЙСТВО ТЕРРИТОРИЙ (И. С. Румянцев)	413
10.1. Борьба с водной эрозией земель и оврагами	413
10.2. Борьба с затоплением земель и наводнениями	427
10.3. Борьба с размывами берегов рек, водохранилищ и морей	437
10.4. Борьба с оползнями и селями	453
10.5. Содержание и восстановление малых рек на обустраиваемых территориях	464
11. ОБУСТРОЙСТВО ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ (Д. В. Козлов)	478
11.1. Водные объекты и их использование	478
11.2. Реки и речные бассейны как объекты природообустройства	482
11.3. Речной сток и его изменение под влиянием хозяйственной деятельности	483

11.4. Регулирование речного стока водохранилищами	490
11.5. Природно-техногенный комплекс: водохранилище — речной бассейн	495
11.6. Влияние водохранилищ на речные бассейны	504
12. КОМПЛЕКСНОЕ ОБУСТРОЙСТВО (МЕЛИОРАЦИЯ) ВОДОСБОРОВ	
(<i>А. И. Голованов, Ю. И. Сухарев, В. В. Шабанов</i>)	510
12.1. Водосборы и ландшафты	510
12.2. Цели и программы обустройства водосборов	514
12.3. Этапы обустройства водосборов	521
12.4. Мелиорация и рекультивация земель на водосборе	528
12.5. Комплексное регулирование факторов роста и развития растений	535
<i>Литература</i>	543
<i>Предметный указатель</i>	545

Учебное издание

**Голованов Александр Иванович,
Зимин Федор Михайлович,
Козлов Дмитрий Вячеславович,
Корнеев Илья Викторович,
Румянцев Игорь Семенович,
Сурикова Тамара Ивановна,
Сухарев Юрий Иванович,
Шабанов Виталий Владимирович**

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Учебник для вузов

Художественный редактор *В. А. Чуракова*
Компьютерная верстка *В. А. Маланичевой*
Компьютерная графика *М. Л. Бухаревой*
Корректор *С. Н. Нецаева*

Сдано в набор 01.02.07. Подписано в печать 16.01.08. Формат 60 × 88¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура Ньютон. Печать офсетная. Усл. печ. л. 33,81. Изд. № 044. Тираж 2000 экз. Заказ № 8672.

ООО «Издательство «КолосС».

101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 17.

Почтовый адрес: 129090, Москва, Астраханский пер., д. 8.

Тел. (495) 680-99-86, тел./факс (495) 680-14-63, e-mail: koloss@koloss.ru,
наш сайт: www.koloss.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО ордена «Знак Почета»
«Смоленская областная типография им. В. И. Смирнова»,
214000, г. Смоленск, проспект им. Ю. Гагарина, 2

ISBN 978-5-9532-0480-4



9 785953 204804