

**А. И. ГОЛОВАНОВ,
Ф. М. ЗИМИН,
В. И. СМЕТАНИН**

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Издание второе, исправленное и дополненное

Под редакцией
доктора технических наук А. И. Голованова

РЕКОМЕНДОВАНО

*УМО по образованию в области природообустройства и водопользования
в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся
по направлению подготовки «Природообустройство и водопользование»
(бакалавр и магистр)*



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ · МОСКВА · КРАСНОДАР
2015

ББК 40.6я73

Г 61

Голованов А. И., Зимин Ф. М., Сметанин В. И.

Г 61 Рекультивация нарушенных земель: Учебник / Под ред. А. И. Голованова. — 2-е изд., испр. и доп. — СПб.: Издательство «Лань», 2015. — 336 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

ISBN 978-5-8114-1808-4

В учебнике излагаются теория и практика рекультивации нарушенных земель, деградированных агрогеосистем, очистка загрязненных земель, основанные на принципах природообустройства. Приведены сведения о рекультивационных режимах и этапах, технологии восстановления карьерных выработок и отвалов, методы и способы борьбы с торфяными пожарами, рекультивации торфяников после их пирогенной деградации, о чрезвычайных ситуациях на мелиорируемых и рекультивируемых землях

Учебник предназначен для студентов, обучающихся в магистратуре, бакалавриате и аспирантуре по направлению «Природообустройство и водопользование».

ББК 40.6я73

Рецензент

Л. В. КИРЕЙЧЕВА — доктор технических наук, профессор,
зам. директора по научной работе
Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники
и мелиорации им. А. Н. Костякова.

Обложка

Е. А. ВЛАСОВА

© Издательство «Лань», 2015
© Коллектив авторов, 2015
© Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

●

Антропогенная деятельность, включая использование природных ресурсов, приводит к нарушению геологического и биологического круговоротов вещества в природе. Поэтому человек стремится снизить негативное влияние на природу путем различных природоохранных действий, направленных на сохранение, улучшение и восстановление утраченного первоначального состояния природных компонентов. Эта деятельность в целом получила название природообустройство. Она заключается в изменении компонентов природы для повышения их потребительской стоимости (полезности), восстановлении нарушенных компонентов, борьбе с природными стихиями и защите их от негативных последствий природопользования. Она складывается из мелиорации земель, рекультивации, природоохранного строительства.

Цель мелиорации сельскохозяйственных земель в современном представлении — расширенное воспроизводство плодородия почвы, получение оптимального урожая определенных сельскохозяйственных культур при экономном расходовании всех ресурсов, недопущение или компенсация ущерба природным системам и другим землепользователям. Сфера применения мелиорации значительно расширилась, ее применяют на землях различного назначения: сельскохозяйственного, водного и лесного фондов, земель поселений, промышленности, транспорта, связи, рекреации, оздоровительного, историко-культурного, научного, оборонного назначения. В последние годы меняется стратегия использования сельскохозяйственных земель, большое внимание уделяют их восстановлению, борьбе с опустыниванием, с водной и ветровой эрозией, деградацией земель.

Другая не менее важная составляющая природообустройства — рекультивация нарушенных земель.

Сфера деятельности рекультивации изменялась в течение времени, начинаясь как мероприятие по восстановлению лесов, выбитых пастбищ, разрушенных участков почв и растительного покрова, стала представлять собой современные крупномасштабные

комплексные проекты рекультивации карьеров строительных материалов и полезных ископаемых, ликвидации последствий техногенных загрязнений природы, нарушений при строительстве.

Началом рекультивации земель как вида инженерной деятельности можно считать 1926 г., когда началось восстановление земель, нарушенных горными работами в штате Индиана (США). В бывшем СССР рекультивацию земель стали проводить с 1959 г.: в Эстонии — при добыче сланцев, в России — при добыче бурого угля и на Украине — при добыче железных руд.

Само представление о рекультивации и ее задачах также менялось с течением времени. Первоначально рекультивацию включали в проекты по разработке полезных ископаемых и поэтому называли горнотехнической, при проведении рекультивации на других землях — стал комплекс инженерных, горнотехнических, мелиоративных, лесотехнических, сельскохозяйственных, фитомелиоративных и т. п. работ.

Основная задача, которую ставили перед рекультивацией нарушенных земель, — восстановление продуктивности (полезности) нарушенных земель. Эта задача — долговременная, стратегическая, так как для ее решения после выполнения основных рекультивационных работ требуется длительное время на последующий биологический период рекультивации. Рекультивация свалок, отвалов токсичных материалов, хвостохранилищ, золошлакоотвалов и других объектов является природоохранной, направленной на защиту окружающих земель, предотвращение эрозионных процессов и создание на этих объектах культурного ландшафта.

Земли, нуждающиеся в рекультивации, подлежат мониторингу, т. е. постоянному наблюдению и изучению по специально разработанной программе во избежание распространения негативных процессов.

Объектами рекультивации являются нарушенные земли, т. е. 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 относят также загрязненные земли, т. е. земли, на которых в компонентах природы произошло увеличение содержания веществ, вызывающее негативные токсико-экологические последствия для биоты. Особое место среди объектов рекультивации занимают нарушенные агрогеосистемы, в которых негативные последствия сельскохозяйственной деятельности вызывают деградацию и разрушение почвенного покрова и, как следствие, снижение его продуктивности.

Нарушенные земли по своему внутреннему содержанию — это одновременное сосуществование природных объектов (компонен-

тов) и продуктов (последствий) антропогенной деятельности. Взаимодействие природных и техногенных составляющих имеет самое непосредственное влияние на дальнейшее функционирование геосистемы и ее устойчивость.

Природные составляющие геосистемы способны обеспечить естественную эволюцию 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. Эти процессы самовосстановления медленные, многофакторные и продолжаются многие десятилетия и даже сотни лет.

Способность к природному восстановлению необходимо учитывать при подборе видового состава растений на рекультивируемых землях, при управлении почвообразовательными процессами. Начинают рекультивацию с изучения природной эволюции нарушенных земель для поиска наиболее эффективных способов оптимизации нарушенных геосистем с целью превращения их в культурные ландшафты.

Рекультивация нарушенных земель как составная часть природообустройства и природоохранный вид деятельности при разработке проектов природопользования согласно требованию нормативных документов обязательна. К основным законодательным документам, определяющим необходимость выполнения рекультивационных работ, относят Закон РФ «Об охране окружающей среды», Градостроительный кодекс, Закон РФ «О недрах», Земельный кодекс и Водный кодекс РФ, Закон «О техническом регулировании».

В Земельном законодательстве Российской Федерации земля рассматривается как основа жизни и деятельности человека. Регулирование отношений по использованию и охране земли осуществляют в интересах всего общества, исходя из представлений о земле, как о природном объекте, охраняемом в качестве важнейшей составной части природы, природного ресурса, используемого в качестве средства производства в сельском и лесном хозяйстве, как основы осуществления хозяйственной и иной деятельности на территории Российской Федерации. Одновременно земля — это недвижимое имущество, объект права собственности и иных прав на землю. Использование и охрана земель должны содержать такие виды деятельности, которые обеспечивали бы сохранение жизни человека, предотвращали негативное воздействие на здоровье человека и не наносили ущерб окружающей среде.

Существующая нормативная база по рекультивации нарушенных земель в основном представлена ГОСТами, которые разработаны еще в бывшем СССР и которые рекомендованы для ис-

пользования в настоящее время. В государственном стандарте ГОСТ 17.5.1.01—83 (СТ СЭВ 3848—82) представлена терминология и определения рекультивации, а в ГОСТ 17.5.1.02—85 дана классификация нарушенных земель. В ГОСТ 17.5.3.04—83 (СТ СЭВ 5302—85) сформулированы общие требования к рекультивации нарушенных земель. Указанные три основополагающих нормативных документа по рекультивации, хотя и не противоречат современным понятиям о рекультивации нарушенных земель, но уже не соответствуют многим положениям земельного и природоохранного законодательства и должны быть переработаны. Необходимо на основе существующей правовой и нормативной базы разработать нормативно-техническую документацию, включая технические регламенты по рекультивации земель с учетом вида нарушений и категории использования земель (сельскохозяйственного, промышленного, лесного и т. д.). Нарушенные земли любой категории обязательно должны восстанавливаться с учетом их целевого использования и коммерческой эффективности.

Глава 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАРУШЕННЫХ ЗЕМЛЯХ



1.1. АНТРОПОГЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Антропогенная деятельность — один из основных факторов воздействия на окружающую среду, в том числе на ее природные объекты. Она может изменять или разрушать природный объект как в целом, так и трансформировать отдельные его свойства. Нарушение земель зависит от вида природопользования, которое делят:

на адаптивное, не создающее серьезных экологических нарушений и не сопровождающееся разрушительными природно-антропогенными процессами и явлениями. Пример: подсеčno-переменная система земледелия в сезонно-влажных субэкваториальных лесах (Юго-Восточная Азия, Конго), или террасированное плантационное земледелие на склоновых землях (Индия, Испания), лиманное орошение на сенокосных угодьях и система земледелия, исключаящая монокультуру (Россия) и др.;

конструктивное, создающее техногенные комплексы, не свойственные природной среде, но устойчиво функционирующие в результате постоянного тщательного антропогенного контроля (городские и портовые комплексы Нидерландов; польдерные, осушительные и оросительные системы в России и др.);

деструктивное, порождающее гамму природно-антропогенных процессов, снижающих продуктивность исходных природных геосистем, вызывающих разрушение или деградацию ландшафтов, ускоренную эрозию, дефляцию, аридизацию и опустынивание, уничтожение кормовых угодий, дегумификацию продуктивного слоя почв и прочие негативные явления (так называемые «интенсивные» системы земледелия на старопахотных землях в условиях ослабленного применения мелиоративных мероприятий, бесконтрольное сведение лесов, распашка склоновых земель, закисление водоемов и почв вследствие загрязнения атмосферы и пр.).

Негативные последствия в природных комплексах и в механизмах функционирования социальной и экономической сфер, возникающие при нарушении принципов рационального природопользования, приводят к истощению природных ресурсов и дегра-

дации ландшафтов и его компонентов, ухудшению городской и сельской среды обитания, сокращению рентабельности производства, увеличению ущерба от загрязнения природной среды.

Например, при добыче полезных ископаемых открытым способом, когда изымаются территории от нескольких десятков до сотен гектаров с глубиной разработки карьеров, превышающей сотни метров (например, глубина карьерной выемки при добыче алмазов открытым способом из кимберлитовой трубки в г. Мирный составляет более 500 м), происходит разрушение природных объектов различных рангов (фаций, урочищ, местностей, ландшафтов) со значительным изменением связей в иерархической структуре. За последние 150 лет в результате добычи полезных ископаемых на Земле образовались карьеры объемом 40...50 км³ и отвалы около 100 км³. На каждого жителя планеты ежегодно добывают около 20 т минерального сырья. Добыча 1 млн т железной руды приводит к нарушению 10...650 га земли; марганцевой — от 75...600, угля — 2,5...45; руд для производства минеральных удобрений — 20...100, 1 млн м³ нерудных строительных материалов — 1,5...580 га. В ходе строительства одной нитки магистральных трубопроводов длиной в 1 км нарушается до 4 га, за год это составляет около 40 тыс. га, и это без учета временных сооружений и дорог. Под автомобильными дорогами на сельскохозяйственных землях находится 2,3 млн га, 65 % площади занято дорожным покрытием.

Добыча минерального сырья, создание свалок, золоотвалов вблизи ТЭЦ, хвостохранилищ обогатительных фабрик, строительство объектов военного, промышленного и гражданского назначения приводят к исключению из использования земель, ценных для народного хозяйства. Ежегодно в мире на эти нужды изымается 6—7 млн га плодородных земель. В результате водной и ветровой эрозии прилегающие к промышленным объектам сельскохозяйственные земли, населенные пункты, лесные угодья и водотоки засоряются техногенными продуктами. В результате антропогенной деятельности возможно полное исчезновение отдельных компонентов природы: малых рек, растительного и почвенного покрова. Такие воздействия приводят к нарушению жизнедеятельности систем, их внутреннего содержания, к изменению обмена веществом и энергией с другими природными объектами.

Для описания и изучения природных объектов, особенно при решении инженерных и экологических задач в ходе природопользования, используют ландшафтный (геосистемный) подход. Геосистема — пространственно-временной комплекс всех компонентов природы (атмосферы, литосферы, гидросферы, почвы и биосферы), взаимообусловленных в своем размещении и развивающихся как единое целое.

Такой подход позволяет выделить следующие основные свойства природных объектов (геосистем).

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 — это свойство, которое характеризуется числом элементов или возможных состояний системы. Важно понимать, что в соответствии с принципом «Вселенная бесконечно систематизирована» 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 рассмотрения процессов, значимых для ландшафта, местности, урочища, фации, для чего рассматривать 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 по возможности рассматривают 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 означает, что 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 выделять контуры, тренды, картировать неоднородности) и стохастиче-

ческими (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 приходится накладывать на среду со случайными параметрами и отклик на это воздействие получается случайным; 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 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 ее частей и их соединениями; различают вертикальную, или ярусную, структуру, указывающую 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 в некоторых пределах изменяться, а иногда и перестраиваться в другие системы со своей устойчивостью. Так, пожарные со временем превращаются 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.

Свойства динамических систем. В природных системах связи имеют вид 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, и они имеют ряд их характерных свойств.

Функционирование. Внутри динамических систем (к ним относятся и геосистемы) идут интегральные, взаимосвязанные и взаимовлияющие непрерывные процессы обмена вещества, энергии и информации и их преобразование, которые совершенно условно, для нужд частных наук о природе, человек подразделяет на отдельные составляющие: физические, химические, биологические и т. д. В последнее время наметилась тенденция совместного рассмотрения некоторых процессов: геохимических, гидрофизических, биохимических и др. Природообустройство, в том числе рекультивация, 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 состояние которых (полей) 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 высокоорганизованна 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 некото-

рой изолированности от окружающей среды, неполной открытости системы. Устойчивость геосистем и компонентов природы растет с увеличением их внутренней неоднородности и разнообразия. Например, развитая почва, будучи высокоорганизованной системой, способна поддерживать постоянный газовый состав воздуха в порах, малоизменчивый температурный режим. Природную устойчивость геосистем следует отличать от устойчивости техноприродных систем, которая заключается в способности выполнять заданные социально-экономические функции. Подробнее устойчивость природных систем и природно-техногенных комплексов рассмотрена далее.

Динамичность. Это 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 своего рода 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 фации, 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 серьезного нарушения устойчивости геосистемы. Это свойство нужно для адаптации системы к окружающей среде, оптимизации внутренних и внешних связей.

Особые свойства геосистем. Важнейшее свойство геосистем — *продуцирование биомассы*, которое заключается в синтезе органического вещества первичными продуцентами: на суше — это зеленые растения, извлекающие двуокись углерода из атмосферы, а из почвы с водными растворами — зольные элементы и азот при непрерывном 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 зем-

ных ландшафтов, заключающееся в образовании почвы, которая, являясь продуктом функционирования, стала и важным компонентом природы.

Почва, как отмечал В. В. Докучаев, — 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. Почвы обладают неоценимым 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 потоки влаги и веществ, предохраняет другие компоненты природы от загрязнения, защитенная 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 происходят 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 возможен нелинейный ускоряющийся рост популяций живых организмов (эпидемии) или самоускоряющиеся физические процессы (ускорение свободного падения). Природные процессы могут быть периодичными и даже менять свое направление. Затухающие процессы повышают устойчивость геосистемы, тогда она не идет «враскачку». Нелинейные процессы сложнее изучать и моделировать.

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 *устойчивость геосистемы* 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 превосходят природные, они более разнообразны, некоторые вообще отсутствуют в природе, например загрязнение искусственными веществами. Все это требует специальных исследований реагирования геосистемы на конкретные воздействия, которые должны быть положены в основу проектов по природопользованию и природообустройству. Отметим важность долговременных прогнозов по-

ведения геосистем при разных вариантах техногенных воздействий.

Общие критерии природной устойчивости геосистем — 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, а выражаются степенью развитости почвенного покрова, а в конечном итоге плодородием почв.

Так, тундровые ландшафты с недостатком тепла имеют слабо-развитые почвы, они очень неустойчивы при техногенных нагрузках, сильно ранимы и очень медленно восстанавливаются. Дефицит тепла определяет низкую активность биохимических процессов, медленную самоочищаемость от промышленных выбросов. При разрушении растительного и почвенного покровов нарушается тепловое равновесие многолетне-мерзлых пород, что вызывает просадки, разрушение фундаментов сооружений и т. п.

Таежные ландшафты в целом более устойчивы из-за лучшей обеспеченности теплом и благодаря мощному растительному покрову, здесь формируются, естественно, 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 и сведения 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. Однако широкомасштабная распашка черноземных почв существенно понизила их устойчивость: происходит интенсивная сработка гумуса, а это фактор устойчивости, повсеместно развивается водная и ветровая эрозия, ухудшаются свойства почв при многократных обработках, особенно с применением тяжелой техники, уплотняется почва. Орошение большими нормами, с высокой интенсивностью искусственного дождя также ухудшает свойства почвы, вымывает питательные вещества, приводит к подъему уровней грунтовых вод, заболачиванию и засолению.

В пустынных ландшафтах интенсивная солнечная радиация ускоряет биохимические процессы, в частности разложение отмерших растительных остатков и органических загрязнителей, 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. Вместе с тем орошение без соблюдения соответствующих норм (большие потери из каналов, дополнительно связанное с этим дренирование территории) интенсифицирует гидрохимические потоки, что приводит к вторичному засолению земель, 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 способствует 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 повышает 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. В этом смысле наименее устойчивой является фацция — наименьшая геосистема, характеризующаяся однородными условиями местоположения и местообитания и одним биоценозом. Фацции сильнее всего откликаются как на изменение внешних природных условий, так и на деятельность человека. Фацции наиболее радикально изменяются при природопользовании. Более крупные геосистемы в меньшей степени подвержены изменениям.

В качестве критерия оценки характера и глубины 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 устойчивость геосистемы к техногенным нагрузкам, способность сохранять ее целостность.

Устойчивость геосистемы является функцией структуры и эволюции геосистемы на всех стадиях жизненного цикла. Она складывается из потенциальной (генетической, естественной) устойчивости, которая не зависит от вида и силы воздействия антропогенных факторов, и устойчивости к конкретному виду воздей-

ствия. Потенциальная устойчивость имеет широкий спектр возможностей и опирается на относительно неизменные или повторяющиеся события (разнообразие, динамичность, продуцирование биомассы, способность к почвообразованию). Изученность потенциальной устойчивости дает возможность прогнозировать изменение природной среды для установления самозащитных свойств геосистемы (самоочищения, биогеохимических барьеров) с целью оптимизации как природоохранных, так и рекультивационных мероприятий. Устойчивость геосистемы к отдельным видам воздействия может быть неадекватна, например, изъятие части стока реки на хозяйственные нужды вызывает гибель биотической и абиотической составляющих поймы, т. е. всей геосистемы, в то же время регулирование стока с учетом потенциальной возможности системы приводит к повышению ее устойчивости. Устойчивость геосистемы зависит от ранга в иерархической структуре, историко-генетической обстановки, особенностей природной среды, биологического разнообразия, включая присутствие природных реликтов, т. е. чем выше ранг геосистемы, тем она имеет больший запас потенциальной устойчивости.

Всякая геосистема приспособлена к определенным условиям, в пределах которых она устойчива и нормально функционирует даже при возмущениях внешних природных факторов (динамичность геосистемы).

Площадь геосистемы определяется природными границами и в зависимости от своего ранга она может изменяться от нескольких гектаров (фация) до сотни квадратных километров (ландшафт), тогда как границы между землями различного назначения являются субъективными, они результат соглашения между людьми и могут изменяться.

Ландшафт — это крупный выдел территории, который обладает индивидуальностью, единым происхождением, имеет сложную структуру, состоит из нескольких местностей, урочищ, фаций, всегда выполняет набор социально-экономических функций, иными словами, на нем расположены земли разного назначения. Это обстоятельство значительно усложняет взаимоотношения человека и ландшафта, делает их многозначными и порой противоречивыми. Главные критерии выделения типов ландшафтов — почвенно-климатические признаки, дифференциацию внутри ландшафта определяют геолого-морфологические факторы.

Для оценки антропогенного воздействия на природные объекты в качестве критериев можно использовать изменения гидротермического коэффициента (радиационного индекса сухости I_c), затрат солнечной энергии на почвообразование, объемов поверхностного и подземного стока, баланса химических веществ и органического вещества.

Гидротермический коэффициент

$$I_c = \frac{R}{10LOc}, \quad (1.1)$$

где R — радиационный баланс поверхности почвы, $\text{кДж/см}^2/\text{год}$; L — скрытая теплота парообразования, кДж/см^3 ; Oc — годовая слой атмосферных осадков, мм.

Тепловой баланс почвенного слоя, кДж/см^2 ,

$$R = LE + B + S, \quad (1.2)$$

где LE — затраты теплоты на суммарное испарение, кДж/см^2 ; B — теплообмен между поверхностью почвы и атмосферной, кДж/см^2 ; S — теплообмен между почвенным слоем и подстилающими слоями почвообразующей породы, кДж/см^2 .

В ходе природопользования нарушается растительный и почвенный покров, что изменяет составляющие теплового баланса и значения гидротермического коэффициента

$$\Delta I_c = \frac{R - R_N}{10LOc}, \quad (1.3)$$

где $R - R_N = \Delta R$ — изменение гидротермического коэффициента в результате хозяйственной деятельности; R_N — радиационный баланс после антропогенных воздействий на почву.

Изменение радиационного баланса и гидротермического коэффициента скажется на энергии почвообразования (формула В. Р. Волобуева):

$$Q = Re^{-\alpha I_c}, \quad (1.4)$$

где α — постоянная величина для каждой почвенно-климатической зоны.

В естественных условиях для почв степной зоны гидротермический коэффициент $I_c \equiv 1$, пустынной зоны — ≥ 2 , нечерноземной зоны — $\leq 0,8$.

Благоприятными условиями почвообразования считается, когда индекс сухости близок к единице.

Изменение водного баланса для поверхности почвы

$$\Delta \overline{W}_B = \overline{W} - \overline{W}_N = (I_N - I) + (B_{\text{пн}} - B_{\text{п}}) + (\overline{П} - \overline{П}_N) + (\overline{O}_N - \overline{O}), \quad (1.5)$$

где $\overline{W}, \overline{W}_N$ — слой воды на поверхности почвы до и после антропогенного воздействия, мм (далее по аналогии); I, I_N — испарение с поверхности воды, мм; $B_{\text{п}},$

$B_{пN}$ — слой воды, впитавшейся в почву, мм; \bar{P}, \bar{P}_N — приток поверхностных вод, мм; \bar{O}, \bar{O}_N — отток поверхностных вод, мм.

Изменение водного баланса почвенного слоя

$$\Delta \bar{W}_п = W - W_N = (B_{пN} - B) + (E_N - E) + (g - g_N), \quad (1.6)$$

где W, W_N — запасы почвенных вод в зоне аэрации до и после антропогенного воздействия, мм (далее по аналогии); E, E_N — суммарное испарение с поверхности почвы, мм; g, g_N — водообмен между почвенными и грунтовыми водами, мм.

Аналогично выражениям (1.3), (1.5) и (1.6) можно записать изменение баланса химических и органических веществ, мг/кг почвы,

$$\Delta \bar{G} = G - G_N, \quad (1.7)$$

$$\Delta \bar{F} = F - F_N, \quad (1.8)$$

где G, G_N — запасы некоторого химического вещества в почве до и после антропогенного воздействия, мг/кг почвы; F, F_N — запасы органического вещества в почве до и после антропогенного воздействия, мг/кг почвы.

Техногенные возмущения часто превосходят 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 по природопользованию и природообустройству. Отметим важность долговременных количественных прогнозов поведения геосистем при разных техногенных воздействиях.

1.2. НАРУШЕННЫЕ И РАЗРУШЕННЫЕ ЗЕМЛИ. КЛАССИФИКАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Нарушенные земли образуются в ходе добычи полезных ископаемых при выполнении геологоразведочных, изыскательских, военно-промышленных, строительных и других работ, которые приводят к полной или частичной ликвидации почвенного и растительного покрова, нарушению гидрологического и гидрогеологического режимов, загрязнению, образованию техногенного рельефа и другим количественным и качественным изменениям локальных геосистем (местности, урочищ, фаций) и ландшафта в

целом. К природным процессам, приводящим к нарушению земель, можно отнести сели, пыльные бури, наводнение, землетрясение.

По данным ежегодных Государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации», общая площадь нарушенных земель составляет около 1,1 млн га (табл.11). В это число не входят нарушенные земли, образовавшиеся в результате негативной хозяйственной деятельности (загрязнение, опустынивание, эрозия, засоление, подтопление и др.) и проявления стихийных природных процессов. Современное земельное законодательство обязывает собственников земельных участков, землепользователей, землевладельцев и арендаторов проводить мероприятия по рекультивации нарушенных земель, восстановлению плодородия почвы и своевременному вовлечению земель в оборот.

В России с 1971 по 1980 гг. рекультивация была выполнена на площади 713 тыс. га, т. е. ежегодный объем рекультивационных работ составлял 71 тыс. га. Значительный рост рекультивационных работ был предусмотрен Государственной комплексной программой повышения плодородия почв России на 1992—1995 гг., где намечалось рекультивировать для последующего сельскохозяйственного использования ежегодно до 96 тыс. га. В аналогичной программе на 2001—2005 гг. объемы рекультивации планировалось проводить на площади 52 тыс. га в год. Общая динамика реализованных проектов рекультивации приведена в таблице 1.1.

1.1. Динамика нарушенных земель и их рекультивация, тыс. га

Годы	Общая площадь нарушенных земель	Нарушено за год	Рекультивировано за год
2001	1151	62	58
2002	1155	46	57
2003	1144	63	70
2004	1137	59	52
2005	1144	35	39
2006	1140	48	30
2007	1145	46	29,5

Общая площадь нарушенных земель к концу 2008 г., 2009 г. и 2010 г. соответственно составила 989 тыс. га, 995 и 1000 тыс. га. Распределение нарушенных земель по категориям земель за эти годы следующее*:

- 1) земли сельскохозяйственного назначения — 20,5%;
- 2) земли населенных пунктов — 9,7%;

* Государственные доклады «О состоянии и об охране окружающей среды РФ».

3) земли промышленности (транспортных коммуникаций, обороны) и иного специального назначения — 34,9%;

4) земли особо охраняемых территорий и объектов — 0,1%;

5) земли лесного фонда — 24,0%;

6) земли водного фонда — 0,3%;

7) земли запаса — 10,5%.

Основные нарушения наблюдаются в наиболее активных отраслях природопользования — это промышленность, лесное и сельское хозяйство.

Значительное место в общем объеме техногенных нарушений занимают земли, образованные в результате химического загрязнения. Загрязненные земли могут быть различного назначения: поселений, сельскохозяйственного, лесного, промышленности, транспорта и др. Основной фактор, определяющий качество земель, — техногенная составляющая рассматриваемой территории. В крупных городах основным источником загрязнения является автотранспорт, в небольших городах и населенных пунктах — промышленные градообразующие предприятия. Следует отметить, что загрязненные земли сами по себе становятся источником техногенного воздействия на прилегающие территории путем переноса пыли и поверхностного стока.

В 2003–2012 гг. наблюдения за уровнем загрязнения почв токсикантами промышленного происхождения (ТПП) — тяжелыми металлами (ТМ), мышьяком, фтором, нефтью и нефтепродуктами (НП), сульфатами, нитратами, бенз(а)пиреном — проводились на территориях Республики Башкортостан, Республики Мордовия, Удмуртской Республики, Чувашской Республики, Республики Татарстан, Приморского края, Иркутской, Кемеровской, Кировской, Московской, Нижегородской, Новосибирской, Омской, Оренбургской, Пензенской, Самарской, Саратовской, Свердловской, Томской и Ульяновской областей. Зоны загрязнения почв тяжелыми металлами почв, прилегающих к предприятиям (источникам загрязнения), приведены в таблице 1.2.

1.2. Список городов и поселков Российской Федерации с различной категорией опасности загрязнения почв металлами

Населенный пункт	Год наблюдений	Зона обследования радиусом, км, вокруг предприятий — источников промышленных выбросов металлов	Приоритетные техногенные металлы
Опасная категория загрязнения $32 \leq Z < 128$			
Баймак	2005	От 0 до 1	Медь, кадмий, свинец, цинк
Кировград*	2008	От 0 до 1	Цинк, свинец, медь, кадмий
Кировград	2008	От 0 до 5	Цинк, свинец, медь, кадмий
Нижний Новгород	2003	Сормовский район	Свинец, медь, хром, никель
Ревда*	2009	От 0 до 1	Медь, свинец, кадмий, цинк
Реж	2008	От 0 до 5	Никель, кадмий, кобальт, цинк
Рудная Пристань	2007	От 0 до 1 от поселка	Свинец, кадмий, цинк
Свирск*	2009	Участок многолетних наблюдений; 0,5	Свинец, медь, марганец, цинк
Сибай	2005	От 0 до 1	Медь, кадмий, свинец
Учалы	2005	От 0 до 1	Медь, свинец, кадмий
Умеренно опасная категория загрязнения $16 \leq Z < 32$			
Асбест	2009	Территория города	Никель, хром, свинец
Баймак	2004	Территория города	Медь, кадмий, свинец, цинк
Белорецк	2005	От 0 до 1	Свинец, цинк, медь
Верхняя Пышма	2007	Территория города	Медь, хром, никель
Дальнегорск**	2007	От 0 до 20 вокруг города	Свинец, кадмий, цинк
Екатеринбург	2000	Территория города	Медь, цинк, хром, никель, свинец
Медногорск**	2009	От 0 до 5	Медь, цинк, свинец, кадмий
Невьянск	2001	Территория города	Медь, цинк, свинец
Нижний Новгород	2007	Нижегородский и Советский районы	Свинец, цинк
Нижний Новгород	2008	Автозаводской и Канавинский районы	Свинец, цинк, медь
Нижний Новгород	2009	Канавинский, Московский районы и часть Сормовского района	Медь, цинк, свинец
Нижний Тагил	2006	Территория города	Медь, свинец, цинк

Населенный пункт	Год наблюдений	Зона обследования радиусом, км, вокруг предприятий — источников промышленных выбросов металлов	Приоритетные техногенные металлы
Первоуральск	2009	Территория города	Хром, свинец, никель, цинк, медь
Полевской	2008	От 0 до 5	Никель, хром, цинк
Ревда**	2009	От 0 до 5	Медь, свинец, цинк, кадмий
Ревда**	2009	Участок многолетних наблюдений, 1	Медь, свинец, цинк, кадмий
Рудная Пристань**	2007	От 0 до 5 от поселка	Свинец, кадмий, цинк
Свирск**	2009	Участок многолетних наблюдений, 4	Свинец, цинк, медь
Сибай	2005	От 0 до 5	Медь, кадмий, свинец
Слюдянка	2005	От 0 до 4	Свинец, цинк, медь
Учалы	2005	Территория города	Медь, кадмий, свинец, цинк

Примечания. Z — суммарный показатель загрязнения.

* — по показателю загрязнения почвы относятся к чрезвычайно опасной категории загрязнения.

** — по показателю загрязнения почвы относятся к опасной категории загрязнения.

В последние годы стали публиковать сведения о загрязнении почв фтором. Источник загрязнения окружающей среды этим веществом — алюминиевые заводы (в том числе в Братске и Иркутске), предприятия по производству фосфорных удобрений и др.

В 2004 г. почвы Братска были загрязнены соединениями фтора (по валовому содержанию) на уровне 550...1100 млн⁻¹, или 23...46 Ф (фоновое содержание фтора в почвах равно Ф = 24 млн⁻¹), при сравнении уровня загрязнения фтором в 2004 г. с 2002 г., среднее содержание валового фтора в поверхностном 5-сантиметровом слое почвы практически не изменилось. За 5 лет наблюдений (с 1999 по 2004 г. включительно) загрязнение почв водорастворимым фтором выше ПДК было зафиксировано в городах Зима, Иркутск, Краснотурьинск, Каменск-Уральский, Михайловск, Новокузнецк, Первоуральск, Ревда, Свирск, Черемхово, Шелехов, п. Ярославский.

Одна из крупных экологических проблем России — загрязнение земель нефтью и нефтепродуктами. По данным Госгортехнадзора, в 1995—1997 гг. только на нефтяных месторождениях Запад-

ной Сибири произошло 40 тыс. аварий, что привело к разливу нефти на площади более 200 тыс. га. Основная причина аварий — физический износ нефтяного оборудования и коррозия металла. Последствия воздействия на природную среду в результате нефтяных загрязнений приведены в таблице 1.3.

1.3. Загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами в результате хозяйственной и иной деятельности (Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды РФ»)

Год	Источник загрязнения	Площадь загрязнения, га			Количество нефти и нефтепродуктов, т	Рекультивировано земель, га
		земель	акваторий водных объектов	грунтовых вод		
1998—2000	Всего	4191,8	88321,6	1290,2	53241,2	830,7
2001	Всего	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	663,3	4659,1	—	315,1	5,2
	нефтеперерабатывающие предприятия	0,2	—	—	0,6	0,2
	предприятия переработки и потребления	53,2	308,8	420	2108,6	6
	прочие	425,1	4,2	—	1208,3	0,5

В результате аварии на ПО «Маяк» и Чернобыльской АЭС радиоактивному загрязнению были подвержены 4,5 млн га сельскохозяйственных угодий, загрязнения предприятий по производству ядерного топлива в общей площади радиоактивного загрязнения составляют 170 тыс. га.

Приведенные только некоторые данные свидетельствуют о масштабах и составе нарушенных земель. По сути, всякая хозяйственная деятельность, связанная с использованием земли, является потенциальным видом воздействия, приводящим к нарушению земель. Поэтому классификацию нарушенных земель целесообразно выполнять по схеме: первоначальное определение вида природопользования (воздействия), а затем выделение нового образовавшегося объекта в результате антропогенного воздействия.

Примерная классификация нарушенных земель по схеме «антропогенные воздействия — нарушенные земли, или объекты рекультивации», следующая:

1. Добыча торфа (фрезерные поля, карьеры гидроторфа, машиноформовочные карьеры).

2. Добыча нерудных строительных материалов (отвалы, карьеры песка, глины, песчано-гравийных материалов).

3. Производство открытых горных работ (карьерные выемки, внутренние и внешние отвалы).

4. Производство подземных разработок (провалы, прогибы, шахтные отвалы — терриконы).

5. Функционирование урбанизированных территорий (золоотвалы, шлакоотвалы, шламонакопители, свалки твердых бытовых отходов — ТБО и др.

6. Проведение разведочных и изыскательских работ (участки земель с нарушенным растительным и почвенным покровом, а также участки земель, загрязненные нефтью и нефтепродуктами).

7. Выполнение строительных и эксплуатационных работ (участки земель с частично или полностью нарушенным растительным и почвенным покровом, территории земель, подвергающиеся подтоплению, затоплению и эрозионным процессам, а также насыпи, кавальеры, отвалы, гидроотвалы и др.

8. Технологические процессы в ходе получения материалов, веществ, электрической энергии (земли, загрязненные аэрозолями и пылевыми выбросами, органическими и неорганическими веществами, радиоактивными элементами).

9. Сельскохозяйственное производство (нарушенные агрогеосистемы, сельскохозяйственные земли и прилегающие территории, загрязненные остаточным количеством пестицидов, дефолиантов, сточными водами и удобрениями, а также засоленные, эродированные, малопродуктивные и опустыненные земли, сбитые — выбитые пастбища).

10. Военные действия, военные учения, производство оружия и его основ (земли, загрязненные радиоактивными, отравляющими, токсичными органическими и неорганическими веществами, опасными бактериологическими компонентами, с нарушенным или разрушенным почвенным покровом).

11. Проведение ликвидации промышленных, военных, гражданских и иных объектов и сооружений (участки земель, содержащие в себе различные виды нарушения, указанные в вышеперечисленных пунктах).

Многие существующие нарушенные земли — это результат природопользования прошлых лет, отражающий как рост промышленного производства и интенсивного освоения новых месторождений, так и уровень общественной ответственности за масштабы негативных последствий, вызванных хозяйственной деятельностью.

В условиях рыночных отношений восстановление земель, на-

рушенных ранее, становится проблематично по причине отсутствия лиц, имеющих обязательства по рекультивации этих земель. При реорганизации, ликвидации, банкротстве предприятий вновь образованные юридические лица разных форм собственности не являются правопреемниками прежних и не несут ответственности по рекультивации ранее нарушенных земель. Применение мер административного воздействия в данном случае противоречит Кодексу об административных правонарушениях Российской Федерации. При банкротстве предприятий ранее нарушенные ими земли становятся бесхозными и их переводят в земли запаса. Из местных бюджетов деньги на рекультивацию таких земель не выделяют. Основные причины, по которым не проводят рекультивацию нарушенных земель в установленные сроки, — ухудшение финансового положения и недостаточное техническое оснащение добывающих предприятий. Часть предприятий стали экономически слабее и не торопятся восстанавливать нарушенные земли. В некоторых субъектах Российской Федерации площадь нарушенных земель уменьшилась по результатам инвентаризации, т. е. уточнений границ. Это обусловлено тем, что многие заброшенные нарушенные земли превратились в болота и заросли кустарником, в результате чего были переведены в другие виды угодий по фактическому использованию. Сокращение количества нарушенных земель за счет уточнений объясняется также тем, что многие предприятия с целью уменьшения земельных платежей или по причине отсутствия средств на их восстановление отказываются от ранее предоставленных и по разным причинам не востребованных ими земель, но которые были учтены и числились как нарушенные (Государственный доклад «О состоянии и использовании земель в РФ в 2005 г.»).

1.3. НАРУШЕННЫЕ АГРОГЕОСИСТЕМЫ

Воздействие человека на ландшафт следует рассматривать как природный процесс, в котором человек выступает как внешний фактор. При этом надо иметь в виду, что новые элементы, внедряемые человеком в ландшафт (культурные растения, сооружения, системы) 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. Такие системы природопользования называют деструктивными. Процессы природного вытеснения тех-

ногенных элементов и восстановления земель особенно заметны на заброшенных сельскохозяйственных угодьях, мелиоративных системах с низкой культурой земледелия, в местах бывших торфяных разработок. Существует и другой фактор потери устойчивости природно-техногенной системы — интенсивное освоение земель без учета потенциальной возможности природной составляющей геосистемы, которое приводит к разрушению растительного и почвенного покрова, минерализации торфяного слоя, уменьшению запасов гумуса, засолению, ухудшению физических и химических свойств почв. Подобные процессы негативно сказываются на функционировании агрогеосистем и, как следствие, на снижении плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных земель. Восстановление нарушенных агрогеосистем — одна из целей рекультивации.

Агрогеосистема — это техноприродная ресурсовоспроизводящая и средообразующая гео(эко)система, объект сельскохозяйственной деятельности.

Агрогеосистема обычно функционирует на локальном уровне, т. е. в пределах фации или урочища. В этой геосистеме наряду с основными природными компонентами (атмосфера, литосфера, гидросфера, почва, биосфера) существуют техногенные элементы, которые взаимосвязаны с природными элементами (мелиоративные системы, гидротехнические сооружения, с поверхностными и подземными водами), заменяют их частично (сенокосы и пастбища на селяные травы; внесение удобрений, торфование, землевание — изменяют свойства почвы) или созданы взамен существующих (пашня — растительный покров, водохранилища — суходол).

Агрогеосистема служит средой обитания диких и культурных растений, диких и домашних животных, человека. В такой среде обитания возможны существование различных экологических связей и взаимодействий между организмами, включая вовлечение в трофические связи культурных растений (продуцентов) и домашних животных (консументов).

В агрогеосистеме, функционирующей на уровне урочища, где одновременно существуют фации с лесными, болотными и водными угодьями (30...40 % общей территории), сельскохозяйственное производство обеспечивается за счет биологического разнообразия в экосистемах и сохранения обмена энергией между ними. Присутствие экологической инфраструктуры в агрогеосистеме создает условия стабильности ее положения в иерархической структуре ландшафта. Техногенная составляющая агрогеосистемы содержит различные инженерные сооружения, системы, технологии, природоохранные и экологические мероприятия, которые обеспечивают продуцирование биомассы техноприродными элементами (культурными растениями и домашними животными).

В агрогеосистеме, как и в любой экосистеме, могут развиваться обратные связи, как показатели стабильности или нестабильности функционирования системы. Провоцирование положительной обратной связи приведет к нарушению ее устойчивости, например, увеличение поголовья домашних животных на пастбищах, превышающее норму выпаса, вызовет разрушение растительного и почвенного покрова. Результат такого воздействия — развитие процессов опустынивания. Регулирование численности поголовья на пастбище или своевременный отказ от выпаса способствуют возникновению отрицательной обратной связи и включению механизмов восстановления нарушенных свойств агрогеосистемы. Процессы самовосстановления и самоочищения в агрогеосистеме могут быть очень длительными, поэтому необходимо детально оценивать как ресурсную составляющую ее компонентов, так и устойчивое функционирование ее в целом.

Исходной информацией для оценки состояния агрогеосистемы должны быть сведения о геологическом строении территории, рельефе, водном и солевом режимах, современных геоморфологических процессах, климатических и агрометеорологических условиях, состоянии почвенного и растительного покрова, животного мира, структурных связях и деятельности человека. Основное значение в устойчивом функционировании агрогеосистемы имеет почвенный покров. Почва как составляющая агрогеосистемы обеспечивает развитие продуцентов (растений) и почвенной биоты, в первую очередь воспринимает все антропогенные и природные воздействия, а обладая значительной буферной способностью, поддерживает устойчивость этой системы.

При нарушении гармонизации функционирования техногенных и природных составляющих в агрогеосистеме возникают процессы, изменяющие отдельные ее свойства и в первую очередь эти процессы затрагивают наиболее уязвимые свойства: продуцирование биомассы; способность почвообразования, динамичность, устойчивость.

Нарушение этих свойств агрогеосистемы провоцирует развитие негативных процессов деградации и деструкции почв.

Нарушение функционирования агрогеосистемы — следствие в основном негативной сельскохозяйственной деятельности: монокультура, превышение норм выпаса и сбой пастбищ, вырубка древесной и кустарниковой растительности, переуплотнение почвы, несоблюдение норм внесения удобрений, загрязнение почв остаточным количеством пестицидов, тяжелыми металлами при внесении некачественных удобрений, нефтепродуктами при обслуживании техники, сточными водами и их твердыми составляющими (илами и осадками). На мелиоративных системах нарушение агрогеосистемы вызвано в результате несоблюдения мелиоратив-

ного режима и нарушений требований природоохранного законодательства. В качестве внешних факторов следует учитывать воздействия на агрогеосистему объектов промышленности, транспорта и энергетики, приводящие к загрязнению почв несвойственными для нее как по содержанию, так и по количеству химическими веществами и биологическими популяциями.

К сожалению, за последние годы в большинстве субъектов РФ работы по изучению состояния и использования земель, в частности почвенные, геоботанические и другие специальные обследования практически не проводятся. Объемы выполняемых работ по этому виду обследования по России в 1992 г. составили 13 615 тыс. га, в 1993 г. — 11 844, в 1994 г. — 7820, в 1996 г. — 3860, в 2000 г. — 2037 тыс. га. В 2007 г. полевые почвенные обследования проводились лишь в Республике Татарстан на площади 320 тыс. га, т. е. прослеживается явная тенденция сокращения площади наблюдения за качеством сельскохозяйственных земель. Последствиями такого отношения к мониторингу данного вида земель может быть усиление процессов деградации почв и снижения их продуктивности.

В результате такой хозяйственной деятельности почти все почвы под пашней уже потеряли значительную часть гумуса. В пахотном слое по сравнению с таким же по мощности слоем аналогичных целинных почв содержится в среднем 60...65 % гумуса, в последние годы отмечается дальнейшее снижение содержания гумуса в связи с резким снижением внесения органических удобрений и культуры сельскохозяйственного производства. На значительной части площади пашни почвы в той или иной степени переуплотнены за счет воздействия сельскохозяйственной техники, ухудшена их структура и водно-физические свойства. За последние 25...30 лет площади переуплотненных почв на пашне возросли примерно в 3 раза, площадь смытых почв увеличилась почти в 1,5 раза, площади переувлажненных и заболоченных земель возросли почти в 2 раза, засоленных — более чем в 2,5 раза. В связи с резким сокращением объемов известкования возросли площади кислых почв, которые занимают более трети пашни.

На большей части пастбищ задернованный верхний почвенный слой нарушен или практически уничтожен из-за интенсивного и часто бессистемного выпаса скота. Такие пастбища превращаются в опустыненные земли, практически лишенные почвенного покрова. Процессы опустынивания наблюдаются в более 40 субъектах Российской Федерации, в которых проживают около 50 % населения страны, производится более 70 % сельскохозяйственной продукции. В основном опустыниванию подвержены территории, расположенные в Поволжье, на Южном Урале и в Западной Сибири. Значительно пострадали от деградации сельскохозяйственные угодья Республики Калмыкия и Республики Дагестан. В Рес-

публике Калмыкия процессы опустынивания занимают 80 % территории, в Астраханской, Волгоградской, Саратовской, Самарской и Оренбургской областях — от 30 до 70 %. Сбитость кормовых угодий в Поволжском районе составляет 60 % общей площади пастбищ, Северо-Кавказском — 49, Уральском — 21, Западно-Сибирском — 12 %. Более 130 млн га сельскохозяйственных угодий подвержены водной и ветровой эрозии, из них около 42 млн практически утратили плодородие, площадь сбитых пастбищ составляет почти 14 млн га.

По-прежнему остается проблема загрязнения сельскохозяйственных земель остаточным количеством пестицидов. Так, в 1996 г. из общей площади обследованных земель пестицидами было загрязнено 7 % пашни, в 1997 г. — 5, в 1998 г. — 4,8, в 2001 г. — 3,4 %. В 2003 г. почвы, загрязненные остаточными количествами пестицидов, выявлены на площади 0,58 тыс. га весной и 0,61 тыс. га осенью, что составило соответственно 3,3 и 3,5 %. В целом в 2003 г. остаточными количествами пестицидов было загрязнено 3,4 % от обследованной площади в 34,9 тыс. га на территории 14 субъектов Российской Федерации.

В 2004 г. сетевыми подразделениями Росгидромета выборочно были обследованы земли различного типа на территории 36 субъектов Российской Федерации. Пунктами сети наблюдений были почвы сельскохозяйственных угодий, отдельных лесных массивов, зон отдыха (оздоровительных детских лагерей, санаториев и т. п.), почвы водосборов. Обследовано 547 таких пунктов, расположенных в 184 хозяйствах 122 районов. Число отобранных объединенных (смешанных) проб почвы составило 2,7 тыс. шт. Площадь обследованной территории около 35 тыс. га., на которой обнаружено 25 наименований пестицидов:

инсектоакарициды: хлорорганические пестициды (ХОП) ДДТ и его метаболиты ДДД и ДДЭ; изомеры ГХЦГ — альфа-, бета- и гамма-; гексахлорбензол (ГХБ), дилор; фосфорорганические пестициды (ФОП) — метафос, фозалон и фосфамид; синтетические пиретроиды — децис, сумицидин, фастак;

гербициды: триазиновые — атразин + симазин, прометрин, пропазин, семерон, симазин; гербициды на основе 2,4-Д, а также трефлан, натрия трихлорацетат (ТХАН), далапон и пиклорам.

В 2004 г. почва, загрязненная остаточным количеством пестицидов, была выявлена на площади 0,71 тыс. га весной и 0,61 тыс. га осенью, что соответственно составило 3,9 % и 3,55 % от площади 35 тыс. га в 12 субъектах Российской Федерации. Загрязнение гербицидами 2,4-Д отмечено на 6,75 % весной и 5,1 % осенью от обследованных площадей соответственно в 5,2 и 5,7 тыс. га. Остаточным количеством суммарного ДДТ почвы загрязнены на 2 %, трефланом — на 0,3 % обследованных площадей.

В 2007 г. загрязнено остаточными количествами пестицидов около 5% обследованной площади в 38,3 тыс. га. Загрязненная почва обнаружена на территории 15 субъектов РФ. Для сравнения — в 2006 г. загрязненные почвы обнаружены на территории 17 субъектов РФ весной на 3,8% и осенью на 5,55% обследованной площади в 35,7 тыс. га.

По состоянию на декабрь 2009 г. в России зарегистрировано более 900 пестицидных препаратов, представляющих собой как химические вещества и их смеси, так и препараты биологического действия. В основе этих препаратов — 240 действующих веществ пестицидов. По данным Минсельхоза России, в 2008–2009 гг. применение пестицидов замедлилось.

В 2009 г. на содержание остаточных количеств пестицидов обследовано 34,3 тыс. га. Загрязненные (выше установленных гигиенических нормативов) площади составили весной 1,4% обследованной территории и осенью 3,2%. Загрязненная почва обнаружена на территории 17 субъектов РФ. В 2009 г. загрязнение отмечено по суммарному ДДТ — 2,2% от 27,3 тыс. га обследованной площади (2008 г. — 4%); гексахлорциклогексану (ГХЦГ) — 0,02% от 27,3 тыс. га (2008 г. — 1,3%); по гербицидам трифлуралину — 1,7% от 9,5 тыс. га (2008 г. — 1,3%); 2,4-Д — 1,4% от 10,7 тыс. га (2008 г. — 1,3%); гексахлорбензол (ГХБ) обнаружен на локальных участках. Загрязненные участки обнаруживаются ежегодно, при этом наблюдается тенденция к снижению доли загрязненных почв.

На многих сельскохозяйственных угодьях сохраняется высокое содержание азотных и фосфорных форм как результат внесения больших норм минеральных удобрений.

По данным Роснедвижимости за 2004 г., среди пахотных земель Российской Федерации преобладают земли третьего (26,4%) и четвертого (26,6%) классов пригодности под сельскохозяйственные угодья. Около 20% земель, используемых под пашню, малопродуктивны (пятый и шестой класс) и малопригодны или непригодны для использования под сельскохозяйственные угодья (седьмой класс).

Влиянию различных негативных факторов способствует образование выпаханных, истощенных земель, которых, по оперативным данным, в некоторых регионах до 35%. Общая площадь эрозионно- и дефляционно-опасных земель сельскохозяйственного назначения и фонда перераспределения Российской Федерации составляет 58,6%, в том числе пашня — 41,1%. Всего водной эрозии подвержено 17,8% почв сельскохозяйственных угодий, из них пашни 12,1%; дефлировано 8,4% почв, из них пашни — 5,3%; сенокосов — 2,1% и пастбищ — 9,7% площади этих угодий. Совместному воздействию водной и ветровой эрозии подвержено 2,4% почв сельс-

кохозяйственных угодий. Наиболее опасными в эрозионном отношении являются земли Приволжского, Южного и Центрального федеральных округов.

Переувлажненные и заболоченные сельскохозяйственные угодья составляют 12,3 % сельскохозяйственных угодий в категории земель сельскохозяйственного назначения и фонда перераспределения земель, ранее учитываемого в составе земель запаса. Переувлажненные почвы занимают 4,9 % площади пашни, 22,2 % сенокосов и 8,7 % пастбищ. Процессам заболачивания подвержено 2,1 % пахотных земель, 16,1 % сенокосов и 6,2 % пастбищ. Подтопление и затопление земель происходит в Южном, Приволжском, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах.

Во всех федеральных округах ухудшилось состояние кормовых угодий вследствие их зарастания кустарником и мелкоколесьем, что приводит не только к сокращению площади этих угодий, но и оказывает негативное влияние на качество травостоя, способствует появлению в нем грубостебельных сорных и ядовитых растений. Наряду с зарастанием сенокосов и пастбищ отмечается их закорчкаривание, особенно на переувлажненных и заболоченных землях.

Многоцелевое и крупномасштабное промышленное освоение территории Севера нанесло значительный ущерб оленьим пастбищам и оленеводству, играющему важную социальную роль в жизни народов Севера. Площадь деградированных в разной степени оленьих пастбищ составляет 63 %, причем основную долю (32,7 %) занимают олени пастбища со средней степенью деградации и 22,5% — с сильной. По данным наблюдений естественное восстановление пастбищ в лесотундре и северной тайге составляет 50 лет. Задача сохранения оленьих пастбищ, возрождения оленеводства как основной отрасли для малочисленных народов Севера может быть решена только при проведении комплекса взаимосвязанных между собой неотложных мероприятий и мер государственной поддержки.

Особую тревогу вызывает устойчивая тенденция дегумификации почв пашни. Содержание гумуса в почвах пашни достигло предельно минимального уровня (1,3 % — в Нечерноземной зоне, 5 % и менее — в Центрально-Черноземных областях, где полностью утеряны тучные черноземы и исчезли почти все многогумусные). Резко увеличились площади закисленных почв, в том числе черноземов.

В значительной мере снижению урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности кормовых угодий способствует наличие в структуре почвенного покрова засоленных и солонцеватых почв. Всего в Российской Федерации засоленные

и солонцеватые, а также почвы с солонцеватыми комплексами занимают 20,1 % сельскохозяйственных угодий, из них пашни — 6,8 %. Основная площадь засоленных и солонцеватых почв сосредоточена в Южном и Сибирском федеральных округах. Для урбанизированных территорий наиболее характерны такие негативные проявления, как разрушение почвенного покрова, загрязнение и захламление земель промышленными и бытовыми отходами.

Выбросы промышленных предприятий, энергетики и транспорта приводят к загрязнению растительного и почвенного покрова сельскохозяйственных угодий. Из 31,1 млн га обследованных земель агрохимической службой Минсельхозпрода России тяжелыми металлами в 1996 г. 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 было загрязнено более 2 млн га. В связи с особенностями процессов формирования почв в 20-километровых зонах вокруг городов среднее содержание в них тяжелых металлов (ТМ) за пятилетний период (2000—2004 гг.) не снижается, сохраняя общую тенденцию к уменьшению до фоновых значений по мере удаления от источника промышленных выбросов примерно на расстоянии 5...20 км. В целом почвы территорий промышленных центров и районов, к ним прилегающих, загрязнены ТМ, которые накапливаются при постоянном техногенном воздействии загрязняющих веществ, поступающих из атмосферы. Опасность загрязнения тем больше, чем выше концентрация ТМ в почве и выше класс опасности ТМ.

В 2003 г. на основе 20-летнего мониторинга в 5-километровых зонах вокруг городов Приморья выявлено увеличение содержания свинца в почвах в 1,5...2 раза даже на расстоянии 200...500 м от автомобильных дорог. По результатам наблюдений в 2004 г. загрязнение почв со средним содержанием не ниже 1 ПДК или 5 Ф, т. е. уровня фона в 5-километровых зонах вокруг предприятий обнаружено содержание подвижных форм тяжелых металлов, например, в Первоуральске содержание кадмия в почве составило от 7 до 16 Ф, кобальта 1...2 ПДК, марганца 1...7, меди 32...236, никеля 2...5, свинца 6...25, цинка 4...29 ПДК; в Ревде — кадмия 7...18 Ф, марганца и никеля по 1...2 ПДК, меди 29...138, свинца 7...27, цинка 4...16 ПДК; в Асбесте — марганца 1...4 ПДК, меди 1...3, никеля 9...30, свинца 2...4 ПДК; в Михайловске — марганца 1...2 ПДК, меди и никеля по 1...5, свинца 1...4, цинка 1...27 ПДК; в Качканаре — марганца 1...3 ПДК, меди 2...3, цинка 1...3, свинца 1...4 ПДК; на территории Владивостока — марганца 2...5 ПДК, свинца 6...16, цинка 4...10 ПДК.

За пятилетний период в целом в почвах отмечено увеличение в 2...5 раз содержания подвижных форм кобальта в Первоуральске,

Ревде, Асбесте; меди в Асбесте и Качканаре; свинца в Первоуральске, Ревде, Асбесте; уменьшение в 2...4 раза подвижных форм хрома в Ревде, меди и марганца во Владивостоке. Почвы Владивостока загрязнены водорастворимыми формами цинка (20...100 Ф), почвы Первоуральска — водорастворимыми формами свинца (4...23 Ф), цинка (7...54 Ф), меди (5...22 Ф), а также кадмия, почвы Ревды — водорастворимыми формами меди (4...10 Ф).

В районах нефтедобычи при переработке, транспортировании, хранении, использовании нефти агрогеосистемы могут быть загрязнены нефтепродуктами в результате непосредственных аварийных разливов, а также капельным путем через атмосферу.

Загрязнение нефтепродуктами, а также тяжелыми металлами может происходить и при заборе воды для орошения из водоемочников, где содержание этих веществ недопустимо высоко. Подобный случай был отмечен в ходе разработки Федеральной целевой экологической программы для г. Новокуйбышевска (в 1998—1999 гг.), где полив приусадебных участков проводили волжской водой с высоким содержанием загрязняющих веществ.

Таким образом, рассмотрев негативные процессы, происходящие в агрогеосистеме, можно выделить такие последствия антропогенного воздействия, отражающие как масштабность, так и глубину качественного изменения содержания геосистемы. К числу основных последствий, для которых необходимо разрабатывать специальные приемы рекультивации, можно отнести: дегумификацию; опустынивание; переувлажнение; загрязнение остаточным количеством пестицидов; загрязнение тяжелыми металлами и другими веществами, концентрации которых в почве являются токсичными; закисление, засоление и осолонцевание; загрязнение нефтью и нефтепродуктами.

Совокупность указанных воздействий усиливает процессы разрушения почвенного покрова в агрогеосистемах, нарушает ее общеэкологическую функцию, ухудшает качество воды, воздуха, пищи, наносит вред здоровью населения.

Приведенные данные качественного состояния почв и земельных угодий свидетельствуют о крайней необходимости совершенствования системы государственного регулирования деятельности в области охраны почв и земель в целях обеспечения недопустимости воздействий на почвы и земельные ресурсы, приводящие к деградации и ухудшению их качества.

Таким образом, негативная сельскохозяйственная деятельность как вид воздействия в совокупности с выбросами промышленных предприятий и транспорта приводит к образованию нарушенной агрогеосистемы, в результате которой изменяются ее свойства (продуцирование биомассы, способность почвообразования, ди-

намичность, устойчивость) и развиваются процессы деградации и деструкции почв. Последствия этих процессов — образование новых, иногда несвойственных для данных ландшафтов, земель: опустыненных, разрушенных эрозией, вторично засоленных, подтопленных и затопленных, с ухудшенными физическими и химическими свойствами, со сработанным запасом гумуса и с низким плодородием.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте объяснение рекультивации земель как составляющей природообустройства. 2. Каковы задачи и объекты рекультивации? 3. Перечислите основные свойства геосистем. Что понимают под их устойчивостью? 4. Какие земли относят к нарушенным? Каковы причины их появления? 5. Опишите современное состояние нарушенных земель России. 6. Что такое агрогеосистема?

Глава 2

ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ



Отношение к природе человек строит по трем взаимосвязанным направлениям: природоведение, природопользование и природообустройство. Это позволяет на основе объективных законов разрабатывать ограничения в использовании природных ресурсов и согласовывать требования природопользователей и свойств природы.

Яркий пример согласованного взаимоотношения человека и природы — сосуществование и взаимодействие естественных ландшафтов и встроенных в них человеком искусственных систем, сооружений и устройств. С одной стороны, это изменяет природный ландшафт, с другой — обеспечивает рациональное использование его ресурсов для удовлетворения информационных, материальных и культурных потребностей человека. Таким образом, на существующем природном ландшафте при непосредственном участии человека формируется новый объект, который можно рассматривать как природно-техногенную систему или комплекс.

Природно-техногенный комплекс — измененная геосистема, включающая помимо природной составляющей техногенный (созданный человеком) блок, управляющий составом и свойствами компонентов природы и природными процессами для достижения заданной социально-экономической цели.

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 при-

родными и именно их взаимодействие нужно изучать, чтобы уменьшить негативные последствия изменения ландшафта.

При оценке воздействий человека на природу, конкретно, на определенные геосистемы, в том числе и на ландшафты, надо иметь в виду фундаментальное обстоятельство, заключающееся в том, что как бы сильно ни был изменен ландшафт человеком, в какой бы степени ни был насыщен результатами человеческого труда, он остается частью природы, в нем продолжают действовать природные закономерности.

По степени изменения ландшафты подразделяют на условно неизменные, слабо-измененные, средне-измененные, сильно измененные (нарушенные) и культурные.

Природообустройство — это сложное дорогостоящее ресурсо- и энергоемкое мероприятие, проводимое длительное время. Для его осуществления необходимо создание комплекса сложных 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, предназначенных вместе с мероприятиями обеспечивать достижение той или иной цели. Инженерные системы природообустройства по своей сути — техно-природные системы, в создании и эксплуатации которых руководствуются принципами, изложенными в учебнике «Природообустройство». — М.: КолосС, 2008.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое природно-техногенный комплекс? 2. Как реализуется принцип природных аналогий при разработке и реализации технологий природообустройства? 3. Прогнозирование в природообустройстве и принцип предсказуемости.

Глава 3

ЛАНДШАФТНЫЙ ПОДХОД ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ. РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫЙ РЕЖИМ



Степень изменения ландшафта зависит от того, какие компоненты подверглись модификации или даже разрушению. С этих позиций условно можно выделить первичные и вторичные компоненты природы. Геологический фундамент и свойства воздушных масс (климат) являются базовыми, первичными, формирующими облик ландшафта; человеку трудней всего их изменить, хотя добыча полезных ископаемых приводит к нарушению целостности литосферы, а промышленные выбросы в атмосферу создают парниковый эффект. Наиболее подвержены изменению вторичные компоненты (растительный покров, почвы, поверхностные воды), в то же время эти компоненты с помощью инженерных систем природообустройства могут быть восстановлены (рекультивированы).

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 геосистеме, могут оказаться разрушительными для антропогенной модификации: один заморозок может погубить культурную растительность, пыльная буря за несколько дней может разрушить почвенный слой на распаханной территории.

В качестве основного принципа рекультивации нарушенных земель следует применять ландшафтный (геосистемный) подход, т. е. рассматривать объект рекультивации как техногенную составляющую природной геосистемы, образовавшуюся в результате природопользования, антропогенного воздействия и проявления стихийных процессов. При этом надо понимать, что последствием рекультивации является образование новой геосистемы (техноприродной), устойчивость которой зависит от взаимодействия техногенных и природных компонентов.

Следующее немаловажное обстоятельство для разработки проектов рекультивации — категория земель или их целевое назначение: сельскохозяйственные, земли поселений, промышленности (энергетики, транспорта, связи и т. д., иного специального назна-

чения), охраняемых территорий, лесного фонда, водного фонда и земли запаса. Нарушенные земли в составе любой категории необходимо восстанавливать с учетом их будущего использования. Исходя из этого, можно сформулировать ландшафтный подход к рекультивации нарушенных земель:

на основе ландшафтного и техногенного анализа ситуации определяют ранг положения нарушенной геосистемы (фацция, урочище, местность и т. д.), степень изменения геосистемы (условно неизменная, слабо измененная, средне измененная, сильно измененная) и классифицируют объект рекультивации;

по материалам инженерных и инженерно-экологических изысканий оценивают характер и масштабы нарушения земель, исследуют и изучают нарушенные свойства геосистемы;

на основе принципов природообустройства разрабатывают проекты рекультивации под конкретную категорию земель (направление использования).

Методология ландшафтного подхода, которой необходимо пользоваться для изучения нарушенной геосистемы, изложена в учебнике «Природообустройство». — М.: КолосС, 2008.

Состав инженерных и инженерно-экологических изысканий для рекультивации нарушенных земель определяется соответствующими нормативными документами и дополняется специальными исследованиями, вытекающими из назначения использования земель и вида нарушенных свойств геосистемы. В зависимости от степени воздействия на геосистему могут быть нарушены, разрушены или изменены такие ее свойства, как целостность, разнообразие, функционирование, устойчивость, динамичность, продуцирование биомассы, способность почвообразования. Изучение степени нарушенности этих свойств дает возможность оптимизировать состав рекультивационных мероприятий, а применение инженерных и инженерно-экологических систем обеспечит устойчивость вновь создаваемой техноприродной геосистемы.

Таким образом, определив состояние и ранг геосистемы, ее связи в иерархической структуре, степень изменения, виды нарушенных и разрушенных свойств, приступают к разработке на основе принципов природообустройства концепции или схемы рекультивации нарушенных земель. Такие предпроектные работы особенно необходимы для крупных объектов рекультивации, когда последствия нарушения угрожают потери устойчивости не только геосистемы низшего ранга, но и вызывают негативные отклики в системах высшего порядка. Результат предпроектных работ — обоснование основных инженерных решений для создания устойчивой техноприродной геосистемы, способной обеспечить

восстановление и самоочищение нарушенных компонентов природы.

Дальнейшая разработка проектов направлена на уточнение целей и постановки конкретных задач, для этого выполняют:

анализ эволюции нарушенных земель с целью изучения природной трансформации компонентов в измененных геосистемах и разработки способов управления геологическими и биологическими процессами в рекультивационный период;

анализ природных, технологических и социально-экономических условий для обоснования направления использования нарушенных земель;

разработку способов рекультивации по отдельным видам нарушенных земель, создание специальных инженерных и инженерно-экологических систем по оптимизации функционирования техноприродных геосистем (комплексов).

Сформулированные методологические положения рекультивации нарушенных земель основаны на неразрывности процессов, происходящих в геосистемах, и на изучении межкомпонентных перемещений веществ с целью разработки методов прогнозирования и систем управления потоками вещества как внутри геосистемы, так и в ее иерархических структурах (фации, урочище, местности, ландшафте). Основой для поддержания устойчивого функционирования техноприродной геосистемы, созданной в результате рекультивации нарушенных земель, является обеспечение рекультивационного режима.

Рекультивация и технологии ее выполнения должны отвечать определенной совокупности требований, одновременная реализация которых призвана повысить эффективность восстановления компонентов природы. Такой набор требований называют *рекультивационным режимом* (по аналогии с мелиоративным режимом).

Рекультивационный режим определяется состоянием нарушенных земель и включает следующие показатели: эрозионную устойчивость поверхности земли; формы рельефа и его параметры (крутизну склонов, линейные размеры элементов рельефа, его экспозицию); 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; пределы регулирования влажности почвы (субстратов) и глубины грунтовых вод; направленность и интенсивность водообмена между почвенными и подземными водами; сроки затопления и подтопления земель; скорость и направления движения поверхностных и подземных вод; значения общей минерализации поверхностных и грунтовых вод; содержание токсичных элементов в почвах, горных субстратах, поверхностных, грунтовых и сточных водах; агрохими-

ческие показатели плодородия почвы; биологический состав почв и поверхностных вод; интенсивность формирования наземной и водной биоты; эстетические требования к преобразованному ландшафту.

Каждый из приведенных показателей имеет нормированные или ориентировочные значения, которые в конкретных проектах должны быть обоснованы опытом, исследованиями, изысканиями и прогнозными расчетами.

Для соблюдения указанных показателей рекультивационного режима существуют различные технологии, инженерные системы, способы выборочного воздействия на отдельные составляющие этих показателей. В качестве примера можно рассмотреть некоторые из них.

Эрозионной устойчивости достигают созданием требуемой поверхности земли. Для этого определяют физико-химические свойства грунтов, рассчитывают допустимые скорости на размыв, определяют дефляционную устойчивость поверхности. Обычно уклоны выположенных откосов не должны превышать $1,5...3^\circ$, если достичь этого невозможно, откосы террасируют. Противозерозионной устойчивости достигают посадкой почвозащитных лесонасаждений, кустарников, посевом трав, устройством водозащитных валов, нагорных каналов, химическим закреплением грунтов.

Формы рельефа создают в зависимости от целевого использования, например, если надо, чтобы откосы отвалов быстро зарастали, необходимо их отсыпать таким образом, чтобы было больше северо-восточных, северных и северо-западных склонов, на этих поверхностях меньше расход влаги и перепады температур.

При строительстве любых объектов почвенный слой снимают и хранят для последующего его использования. В исключительных случаях, когда это грозит значительному нарушению температурного режима, почвенный слой не снимают, например, при строительстве дорог в многолетней мерзлоте, там оставшийся слой почвы служит защитой от протаивания. Снимают почву до слабо измененной почвообразованием материнской породы; в нечерноземной зоне мощность снятия составляет $15...30$ см, в черноземной зоне — до 1 м.

Геологический и химический состав рекультивируемых пород регулируют с помощью механического внесения одних пород в другие, применяя химические вещества.

При использовании рекультивируемых земель под пашню мощность плодородного слоя почвы должна составлять не менее $0,2...0,5$ м. Для создания кормовых угодий (сенокосы, пастбища) слой потенциально-плодородных пород должен быть не менее $0,3...0,7$ м. При использовании рекультивируемых земель для выращивания деревьев и кустарников необходимо устраи-

вать слой из потенциально-плодородных пород мощностью не менее 2 м.

Мощность рекультивационного слоя на загрязненных землях (в отдельных случаях он может достигать до 1,5...2 м) определяется токсичностью грунтов и направлением использования этой территории после рекультивации.

Методы и способы регулирования влажности почвы (субстратов) и глубины грунтовых вод, направленность и интенсивность водообмена между почвенными и подземными водами, сроки затопления и подтопления земель, скорость и направление движения поверхностных и подземных вод изучают в курсе «Мелиорация земель».

Общую минерализацию поверхностных и грунтовых вод регулируют разбавлением чистой водой, инфильтрацией, подпитыванием из существующих или специально созданных для этой цели водоемов, отстаиванием, умягчением, фильтрацией.

Содержание токсичных элементов в почвах, горных субстратах, поверхностных, грунтовых и сточных водах изменяют с помощью биохимического перевода веществ в подвижные или труднорастворимые соединения, дезактивацией, вымыванием, разложением с помощью микроорганизмов, применением природных и искусственных сорбентов, очистных сооружений и специальных видов растительных сообществ.

Агрохимические показатели плодородия почвы зависят от целого комплекса регулируемых факторов почвообразования, включая водные, тепловые и питательные режимы, которые входят в мелиоративный режим.

Биологический состав почв и поверхностных вод изменяют биологическими и экологическими способами, главные из которых — трофические связи (цепи питания).

Интенсивность формирования наземной и водной биоты определяется соответствующим подбором растений и растительных сообществ для конкретных природных условий и целей использования рекультивируемых земель.

Техноприродный ландшафт должен гармонично вписываться в существующие природные образования и отвечать эстетическим требованиям культурного ландшафта.

Контрольные вопросы и задания

1. Опишите ландшафтный подход к рекультивации нарушенных земель.
2. Что такое рекультивационный режим? Какими показателями он характеризуется?
3. От чего зависит эрозионная устойчивость земель?
4. Опишите роль мелиоративных приемов и технологий в рекультивации земель.

Глава 4

ЭТАПЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ



Рекультивацию земель в зависимости от объемов нарушения в геосистеме и ее ранга можно ограничивать локальными мероприятиями или крупномасштабными проектами восстановления компонентов, свойств и нарушенных связей в ландшафте.

Комплекс рекультивационных работ представляет собой сложную многокомпонентную систему взаимосвязанных мероприятий, структурированных по уровню решаемых задач и технологическому исполнению.

Выделяют следующие этапы рекультивации:

подготовительный — предпроектные и проектные работы, которые содержат концепцию, схему, инженерные изыскания, проектную и рабочую документацию;

технический — инженерно-техническая часть проекта, направленная на подготовку территории и реализацию мероприятий по ликвидации последствий антропогенной деятельности, создание техногенной составляющей, обеспечивающей восстановление и функционирование нарушенной геосистемы;

биологический — завершающая часть проекта рекультивации, которая включает систему земледелия, озеленение, лесное строительство, биологическую очистку почв, агромелиоративные и фиторекультивационные мероприятия, направленные на восстановление процессов почвообразования и завершение формирования техноприродного (культурного) ландшафта.

Продолжительность выполнения этих этапов условно определяют как рекультивационный период, срок окончания которого обосновывается проектом на основе эколого-экономических расчетов. Рекультивационный период в зависимости от состояния нарушенных земель и их целевого использования может длиться от одного до нескольких лет. Однако рекультивация не заканчивается сроком окончания строительства, на сильно нарушенных землях необходимо длительное управление физико-химическими и биологическими процессами с использованием инженерно-экологических систем. Ориентировочно этот период может быть оп-

ределен сроками восстановления компонентов природы, которые обеспечат устойчивость геосистемы и ее функционирования.

При проведении военных учений, геолого-разведочных, поисковых, изыскательских и других работ, не связанных с изъятием земель, сроки рекультивации определяются по согласованию с собственниками земли, землевладельцами, землепользователями, арендаторами.

4.1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Основная задача подготовительного периода — разработка проекта рекультивации, т. е. создание объекта экономически выгодного для инвестора и соответствующего требованиям природоохранного законодательства.

В зависимости от масштабов последствий нарушения земель проектирование рекультивации может состоять из предпроектной и проектной стадии.

Предпроектную документацию разрабатывают для больших нарушенных территорий и она содержит концепцию (схему) решения рекультивации нарушенного ландшафта, включая фации, урочища, местности, техноприродные системы, когда необходимо оценить масштабность произошедших нарушений и дать основные решения по восстановлению компонентов, свойств, внутренних и внешних связей.

Например, при функционировании крупных тепловых электростанций (ТЭЦ), работающих на углях, происходит загрязнение прилегающей территории через выбросы в атмосферный воздух, образуются золоотвалы. Загрязнению подвержены территории ориентировочно в радиусе равном 20 высотам трубы (населенные пункты, агрогеосистемы, водные объекты, лесные угодья). Эти земли изымают под складирование золоотвалов. Концепция рекультивации при решении такой масштабной задачи должна прежде всего определять возможность дальнейшего функционального использования загрязненных территорий, т. е. для производства сельскохозяйственной продукции, использования водных объектов для бытовых нужд и рыбохозяйственных целей, посещения лесов для сбора ягод, грибов и проведения лесозаготовок. Одновременно необходимо рассмотреть целесообразность дальнейшего использования угля для производства электроэнергии, сокращения выбросов, использование в технологических процессах уловителей и фильтров, проведения реконструкции и перевооружения электростанций, максимального снижения выбросов загрязняющих веществ и объемов образующейся золы. Необходимо выполнение всего состава работ для предпроектной стадии, вклю-

чая решение поставленных задач, перечень мероприятий и обоснование по созданию специальных инженерно-экологических систем для рекультивации территорий населенных пунктов, сельскохозяйственных и лесных угодий, очистки водных объектов, водоподготовки для питьевого водоснабжения. Кроме того, необходимо дать предложения по переработке золоотвалов и использованию их в строительных изделиях, определить размеры санитарно-защитной зоны ТЭЦ и установить режим использования этой зоны.

В предпроектную документацию входит эколого-экономическое обоснование рекультивации конкретного объекта. Эта документация содержит варианты проектных решений, выбор оптимального варианта, оформление предварительных земельных отношений (акт выбора земельного участка), экологическую оценку территории, укрупненную оценку стоимости строительства и инвестиционную привлекательность проекта.

Выбор направления использования нарушенных земель выносят в отдельный раздел и тщательно обосновывают на основе материалов изысканий, прогнозов изменения природной среды и оценки 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.

Важным для строительства любого объекта является оформление земельных отношений. Одним из разделов проекта является схема планировочной организации земельного участка (СПОЗУ), которая необходима для получения разрешения на строительство (реконструкцию, рекультивацию) проектируемого объекта (требование Градостроительного кодекса РФ — п. 3. ч. 9, ст. 51 ГК РФ). СПОЗУ состоит из следующих частей:

текстовая часть содержит: характеристику земельного участка с указанием видов и характера нарушенных земель; обоснование границ санитарно-защитных зон объектов; обоснование планировочной организации земельного участка в соответствии с градостроительным и техническим регламентами,

содержащих обоснование направления использования нарушенных земель; технико-экономические показатели земельного участка (площадь участка, площадь рекультивации и благоустройства, протяженность инженерных коммуникаций, протяженность элементов оросительных и осушительных систем, инженерно-экологических систем; площадь застройки зданиями и сооружениями (наземная часть, подземная часть), площадь проездов, площадь зеленых насаждений, сельскохозяйственных угодий, процент застройки, процент озеленения и др.; обоснование решений по инженерной подготовке территории, в том числе решений по инженерной защите территории и объектов от последствий опасных геологических процессов, паводковых, поверхностных и грунтовых вод, загрязнения химическими и биологическими веществами, решений по рекультивации нарушенных земель (состав технических и биологических мероприятий); описание организации поверхностного стока с помощью вертикальной планировки и соответствующих сооружений; описание решений по созданию культурного ландшафта и благоустройству территории; зонирование территории земельного участка по функциональному назначению и схемы размещения зон (по направлению использования земель); обоснование схем транспортных коммуникаций; характеристику и технические показатели транспортных коммуникаций (при наличии таких коммуникаций); обоснование схем транспортных коммуникаций, обеспечивающих внешний и внутренний подъезд к объекту строительства;

графическая часть включает: схему планировочной организации земельного участка с отображением: плана нарушенных земель; схемы использования нарушенных земель; зоны проведения различных видов рекультивации; мест размещения существующих и проектируемых объектов с указанием существующих и проектируемых подъездов и подходов к ним; границ зон действия публичных сервитутов (при их наличии); зданий и сооружений, подлежащих сносу (при их наличии); решений по планировке рельефа и формированию культурного ландшафта, благоустройству и озеленению территории; этапы проведения рекультивации и строительства объектов; схемы движения транспортных средств на строительной площадке; план земляных масс; сводный план сетей инженерно-технического обеспечения с обозначением мест подключения к существующим сетям; ситуационный план размещения объекта в границах земельного участка, предоставленного для размещения этого объекта, с указанием границ населенных пунктов, непосредственно примыкающих к границам указанного земельного участка, границ зон с особыми условиями их использования, предусмотренных

Градостроительным кодексом Российской Федерации, границ территорий, подверженных риску возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, границ земель других видов использования, а также с отображением проектируемых транспортных и инженерных коммуникаций с обозначением мест их присоединения к существующим транспортным и инженерным коммуникациям; план сооружений по инженерной защите территории и объектов; план инженерно-экологических систем для регулирования необходимых процессов по рекультивации земель.

Для разработки СПОЗУ необходимо: заявление на подготовку схемы планировочной организации земельного участка по установленной форме; копия документа, на основании которого принято решение о разработке проектной документации (для юридических лиц); задание на проектирование; архитектурные планы при необходимости разрезы возводимого здания или сооружения; эскизный проект (при его наличии); общее описание расположения и назначения участка; предполагаемые транспортные схемы движения автомобильного и пешеходного потоков; общий запроектированный грузопоток; отчетная документация по результатам инженерных изысканий; утвержденный и зарегистрированный в установленном порядке градостроительный план земельного участка, предоставленного для размещения объекта строительства; правоустанавливающие документы на земельный участок (свидетельство о праве собственности на земельный участок, договор аренды земельного участка, договор о пользовании земельным участком, акт о землепользовании); кадастровая выписка о земельном участке или схема расположения земельного участка на кадастровом плане территории с обязательным приложением описания поворотных точек границ земельного участка; кадастровые паспорта или технические паспорта зданий (строений), расположенных на земельном участке, с экспликацией и планом земельного участка; свидетельства о государственной регистрации права на здания, строения, сооружения, находящиеся на земельном участке и др. акты о правах на недвижимое имущество; технических условий или договоры с организациями и предприятиями, предоставляющими услуги по энерго-, газо-, паро-, водоснабжению, водоотведению и канализованию, услуг фиксированной телефонной связи и др.; инженерно-геодезическая съемка с границами выделенного участка.

Схема планировочной организации земельного участка утверждается в администрации поселения (отдел по градостроительству и архитектуре).

После утверждения проектной документации государственной экспертизой, включая экологическую для особых сложных объектов (определяется законодательством), приступают к разработке рабочей документации, которая содержит конкретный набор технических и биологических мероприятий для принятого направления использования нарушенных земель. Состав мероприятий по рекультивации и технология их выполнения должны быть направлены на выполнение требований рекультивационного режима, одновременная реализация которых призвана повысить эффективность восстановления компонентов природы.

Разработку проектно-сметной документации рекультивации нарушенных земель начинают с анализа имеющихся проектов, при реализации которых произошли нарушения почв и растительного покрова, или с анализа технологий предприятий и организаций, как источников подобных нарушений. В случае недостатка информации для принятия конструктивных решений проводят фрагментарные, а при необходимости комплексные изыскательские работы по всей нарушенной территории.

Изыскательские работы включают инженерные (топографические, геологические, гидрогеологические, гидрологические почвенные, сейсмологические и др.), экологические (санитарно-гигиенические, биологические, химические, радиологические и др.) и археологические исследования.

При рекультивации нарушенных земель, расположенных в прибрежных и водоохраных зонах, необходимо учитывать требования Водного кодекса.

Водоохранная зона — это территория, примыкающая к акваториям рек, озер, водохранилищ и другим поверхностным водным объектам, на которой устанавливают специальный режим хозяйственной и иных видов деятельности с целью предотвращения загрязнения, засорения, заиления и истощения водных объектов, а также сохранения среды обитания объектов животного и растительного мира.

Соблюдение специального режима на территории водоохраных зон — составная часть комплекса природоохранных мер по улучшению гидрологического, гидрохимического, гидробиологического, санитарного и экологического состояния водных объектов и благоустройству их прибрежных территорий. В пределах водоохраных зон устанавливают прибрежные защитные полосы, на территориях которых вводят дополнительные ограничения природопользования.

Ширину водоохраных зон и прибрежных защитных полос устанавливают:

для рек, стариц и озер — от среднемноголетнего уреза воды в летний период;

водохранилищ — от уреза воды при нормальном подпорном уровне;

морей — от максимального уровня прилива;

болот — от их границы (нулевой глубины торфяной залежи).

Для болот в истоках рек, а также для других болот, формирующих сток в водосборном бассейне, водоохранные зоны устанавливают на прилегающих к ним территориях.

Минимальную ширину водоохранных зон устанавливают для участков рек протяженностью от их истока: до 10 км — 50 м; 10...50 км — 100 м; 50...100 км — 200 м; 100...200 км — 300 м; 200...500 км — 400 м; 500 км и более — 500 м.

Для истоков рек водоохранную зону устанавливают радиусом не менее 50 м. Минимальную ширину водоохранных зон для озер и водохранилищ принимают при площади акваторий до 2 км² — 300 м, от 2 км² и более — 500 м. Для определения ширины водоохранных зон верховых болот, формирующих сток постоянных водотоков, применяют те же принципы, что для озер и водохранилищ. Минимальную ширину водоохранных зон водных объектов, для которых установлены запретные полосы лесов, защищающих нерестилища ценных промысловых видов рыб, принимают равной ширине этих полос. Границы водоохранных зон магистральных и межхозяйственных каналов совмещают с границами полос отвода земель под эти каналы.

Минимальная ширина прибрежных защитных полос для рек, озер, водохранилищ и других водных объектов приведена в таблице 4.1.

4.1. Минимальная ширина прибрежных защитных полос для поверхностных водных объектов в зависимости от крутизны склонов прилегающих территорий

Вид угодья, прилегающего к водному объекту	Ширина прибрежной защитной полосы, м, при крутизне (уклоне) склонов прилегающих территорий		
	обратный и нулевой	до 3°	более 3°
Пашня	15...30	35...55	55...100
Луга, сенокосы	15...25	25...35	35...50
Лес, кустарник	35	35...50	55...100

Ширину прибрежных защитных полос для участков водоемов, имеющих особо ценное рыбохозяйственное значение (места нереста, зимовальные ямы, нагульные участки), устанавливают не ме-

нее 100 м независимо от уклона и использования прилегающих земель.

В пределах водоохранных зон запрещается: 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 топливо-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 водоохранных зон 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 Минприроды РФ строительства и реконструкции зданий, сооружений, коммуникаций и других объектов, а также работ по добыче полезных ископаемых, землеройных и других работ.

На территориях водоохранных зон разрешается проведение рубок промежуточного пользования и других лесохозяйственных мероприятий, обеспечивающих охрану водных объектов.

В пределах прибрежных защитных полос дополнительно к ограничениям по водоохранным зонам запрещается: проводить распашку земель; вносить в почву удобрения; складировать отвалы размываемых грунтов; проводить выпас и организацию летних лагерей скота (кроме использования традиционных мест водопоя), устройство купочных ванн; устанавливать сезонные стационарные палаточные городки, размещать дачные и садово-огородные участки и выделять участки под индивидуальное строительство; осуществлять движение автомобилей и тракторов, кроме автомобилей специального значения.

Участки земель в пределах прибрежных защитных полос представляют для размещения объектов водоснабжения, рекреации, рыбного и охотничьего хозяйства, водозаборных, портовых и гидротехнических сооружений при наличии лицензий на водопользование, в которых установлены требования по соблюдению водоохранного режима.

Прибрежные защитные полосы, как правило, должны быть заняты древесно-кустарниковой растительностью или залужены.

Объектами рекультивации в водоохранных и прибрежных зо-

нах являются заброшенные карьеры, отвалы грунта при проведении дноуглубительных работ, места гидронамыва, нарушенные участки при гидротехническом строительстве и др. Выбор направления использования нарушенных земель и состав рекультивационных работ в этих зонах должны быть тщательно обоснованы с учетом требований водного, лесного и земельного законодательства, обеспечивающего экологически безопасное функционирование поверхностных водных объектов.

4.2. ТЕХНИЧЕСКИЙ ЭТАП РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Основная задача технического этапа рекультивации — создание техногенной составляющей нарушенной геосистемы, которая должна быть гармонично вписана в природную систему, работать как ее составная часть, быть высокоорганизованной, стабильной, по возможности саморегулируемой, энергетически и экологически безопасной. Проектирование и строительство такой системы возможно только с использованием ландшафтного подхода и современных инженерных технологий, способных обеспечить рекультивационный режим нарушенной геосистемы.

Любая инженерная система или часть ее может включать следующие технические решения:

проективные — создание новых проектных поверхностей и форм рельефа: ориентирование поверхностей объекта по отношению к солнечной освещенности, профилирование, террасирование, вертикальная планировка, создание поверхностей при захоронении отходов, удаление ненужной древесно-кустарниковой растительности, пней, камней, разделка кочек и т. д.;

структурные — изменение структуры почвы и создание рекультивационного слоя: землевание, торфование, кольматаж, глубокое рыхление, мелиорация почв с внесением сапропелей, создание изолирующих и водонепроницаемых экранов и водоупоров, замена или засыпка загрязненного слоя;

химические и физико-химические — изменение химических и физико-химических свойств нарушенных земель: известкование, гипсование, кислотование, внесение искусственных сорбентов, химических мелиорантов, природных цеолитов, органических и минеральных удобрений;

водные гидротехнические — восстановление и регулирование водного режима: осушение, орошение, регулирование сроков затопления поверхностными водами, создание водоемов водохозяйственного, рыбохозяйственного и рекреационного назначения, защита от подтопления, очистка стоков;

теплотехнические — восстановление и регулирование теплово-

го режима нарушенной геосистемы: особый режим регулирования влажности воздуха и почвы, аэрация почвы, изменение экспозиции склонов, альbedo, т. е. отношения отраженной солнечной энергии к поступающей на поверхность, мульчирование, грядование, обогрев, применение утеплителей.

На нарушенных землях практически всегда необходима планировка поверхности земли и землевание. Планировку в зависимости от направления рекультивации, объемов и расстояния транспортировки почвенного 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 водоохранных 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 — нанесение почвенного слоя на спланированную поверхность или внесение почвы или потенциально плодородных горных 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 супесчаные и суглинистые грунты. Землевание особенно необходимо при создании рекультивационного слоя на землях, не пригодных 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 почвенного слоя определяется уже экономическим эффектом, получаемым за счет прибавки урожая от этого мероприятия. Для создания кормовых угодий (сенокосы, пастбища) достаточно устройство слоя потенциально-плодородных пород мощностью не менее 0,3...0,7 м. При использовании рекультивируемых земель для выращивания деревьев и кустарников необходимо устраивать слой из потенциально-плодородных пород мощностью не менее 2 м. В

сложных условиях и при ограниченном количестве пригодных пород этот слой создают локально только в местах посадки деревьев и кустарников.

В зависимости от площади и состояния нарушенных земель техническая рекультивация может ограничиваться двумя рассмотренными способами землевания, особенно там, где нарушения вызваны технологическим воздействием на поверхность почвы, например при снятии почвенного слоя на трассах строительства каналов, трубопроводов, дорог, временных площадок под складирование грунта. На объектах, связанных с нарушением функционирования геосистем, или на объектах, где последствия нарушения представляют угрозу безопасности здоровья населения, устраивают инженерные системы с необходимым набором подсистем и элементов, предназначенных для технического восстановления компонентов этих геосистем, их свойств и технологий управления потоками вещества. На землях сельскохозяйственного использования — это мелиоративные системы, на землях рыбохозяйственного использования — прудовые системы, на землях лесохозяйственного использования — лесомелиоративные системы, на загрязненных землях — инженерно-экологические системы и т. д. Эффективность таких систем зависит от уровня инженерного исполнения и технологии управления движением минеральных и органических веществ в восстановленных компонентах геосистемы, которые, в свою очередь, должны воспроизводить утраченные природные процессы.

При рекультивации земель могут быть использованы следующие инженерные системы природообустройства:

инженерные мелиоративные системы (для восстановления и поддержания требуемого мелиоративного режима земель);

инженерно-экологические системы (для восстановления естественной самоочищаемости загрязненных территорий, сокращения поступления на них загрязняющих веществ и их удаления, локализации очага загрязнения);

инженерные природоохранные системы (для обеспечения охраны окружающей среды);

инженерные противостихийные системы (для борьбы и ликвидации последствий, связанных с наводнениями, подтоплением, размывом берегов, с оползнями, селями и т. п.);

инженерные системы регулирования водных ресурсов (для восстановления и управления поверхностными и подземными водами);

инженерные системы водоснабжения, обводнения и водоотведения (для восстановления качества поверхностных и подземных водоисточников, систем жизнеобеспечения).

Инженерно-экологические системы строят на больших загряз-

ненных территориях, признанных зоной чрезвычайной экологической ситуации или зоной экологического бедствия, где нарушения функционирования геосистем связаны с участием в природных процессах большого количества загрязняющих веществ, в частности нефти, нефтепродуктов, тяжелых металлов, радионуклидов и других техногенных веществ. Состав этих систем зависит от вида и степени загрязнения и может представлять управляемый комплекс, состоящий из различных инженерных систем.

4.3. БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАП РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Биологический этап рекультивации предназначен для возобновления процессов почвообразования, повышения самоочищающей способности почвы и воспроизводства биоценозов. С помощью биологической рекультивации удастся ликвидировать ущерб, нанесенный ландшафту, или предотвратить его; создать условия для поддержания экологической устойчивости ландшафта; закончить формирование культурного ландшафта.

Основные системы и способы биологической рекультивации:

растениеводство — система приемов возделывания сельскохозяйственных культур, включающая: подбор севооборотов; обработку почвы; внесение удобрений; подготовку семян к посеву; посев и посадку; уход за растениями; борьбу с сорняками, болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур; уборку урожая;

озеленение — система приемов, включающая: подготовку участков для проведения озеленительных работ; посадку и уход за деревьями, кустарниками, цветочными растениями; устройства газонов;

лесное строительство — комплекс мероприятий по созданию и восстановлению лесов на рекультивируемых землях (обработка почвы, посев семян или посадка саженцев, уход за деревьями);

агролесомелиорация — система мероприятий по защите рекультивируемых земель от эрозии почв, засухи и суховеев, которая включает создание защитных лесных полос, агротехнические и агро-мелиоративные мероприятия;

агромелиорация — комплекс специальных приемов обработки почвы, направленных на усиление поверхностного (узкозагонная вспашка, профилирование поверхности, выборочное бороздование, гребневая вспашка и грядование) или внутрипочвенного слоя (кратование, углубленная вспашка, глубокое рыхление);

фиторекультивация — комплекс мероприятий по восстановлению и улучшению нарушенных земель с помощью культивирования или поддержания естественных растительных сообществ;

биологическая очистка загрязненных почв (биоремедиация) —

заселение микроорганизмами загрязненных почв, использующими загрязняющие вещества в пищу или выделяющие вещества, способные разрушать загрязнители, сюда же относят и фиторемедиацию — очистку почвы с помощью растений.

Биологическую рекультивацию проводят специализированные фирмы и те предприятия, которым возвращают земли согласно принятому направлению использования нарушенных земель. Биологическую рекультивацию для земель сельскохозяйственного использования проводят в два этапа. На первом этапе, после выполнения технической рекультивации, выращивают пионерные (предварительные, авангардные) культуры, умеющие адаптироваться в существующих условиях и обладающие высокой восстановительной способностью. Пионерные культуры обогащают почву органическими и минеральными веществами, создают условия для последующих культур. На втором этапе переходят к целевому использованию, т. е. реализуют проектные решения, которые определяют дальнейшее функционирование объекта. При сельскохозяйственном использовании участки включают в существующие севообороты, на возвращенных территориях создают свои севообороты.

После проведения технической рекультивации полигонов твердых бытовых и промышленных отходов территорию озеленяют, высевая многолетние травы, а на устойчивых поверхностях высаживают кустарники и деревья, прилегающие территории также озеленяют.

Для разработки эффективных способов биологической рекультивации большое значение имеет изучение процессов эволюции растительного покрова на нарушенных землях 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. Естественное формирование растительного покрова в лесной и лесостепной зоне проходит в периоды:

от начала образования нарушенных земель до 5...6 лет — появляется мозаичный несомкнутый растительный покров, состоящий из растений с широким диапазоном толерантности;

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 покрова значительно увеличиваются, например: на отвалах Подмосковского буроугольного 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 появляются 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. 4.2).

4.2. Ботаническая характеристика выработанных торфяников в зависимости от срока выбытия и видового состава

Основные групповые виды	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, гусятинная 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 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 север-

ной и северо-западной стороны, поскольку здесь водный и тепловой режимы более устойчивы. Южные склоны, испытывающие наибольшие 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 составляет под лесным покровом 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. 4.1).

В результате этих процессов в конкретных природно-климатических зонах формируются молодые почвы, близкие по генезису к зональным, но отличающиеся от современных почв процессом их формирования — это очень длительный процесс; нарушенные земли имеют другие по генезису почвообразующие породы; факторы почвообразования претерпели эволюционные изменения.

Приведенные данные по скорости почвообразования не означают, что в течение 10 лет за счет естественного воспроизводства растительных сообществ можно получить почвенный слой от 24 до 67 мм, при этом необходимо еще учитывать и расходную составляющую, т. е. действительно процесс длительный. Для создания гумусового горизонта мощностью 25 мм на суглинке черноземам типичным и обыкновенным требуется 100...200 лет, черноземам южным и темно-каштановым — 700 лет, дерново-подзолистым — 900 лет, светло-каштановым — 2000 лет. Огромные потери времени на природное восстановление почв должны быть компенсированы системой рекультивационных мероприятий. Поэтому на нарушенных землях, особенно в тех местах, где целевое использование затруднено в силу

организационных, технологических, социальных и природно-климатических условий, необходимо

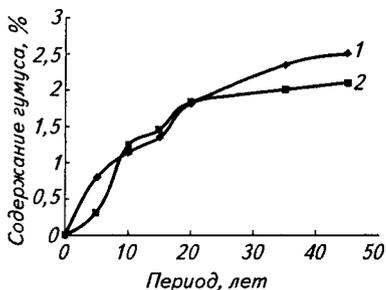


Рис. 4.1. Накопление гумуса в почвах при зарастании отвалов вскрышных пород Курской магнитной аномалии:

1 — суглинок; 2 — мергель

стремиться прежде всего к стимулированию образования растительного покрова. Для этого можно использовать приуроченность отдельных видов растений к определенным типам и свойствам почв, грунтов и горных пород. Такие растения выявляют в ходе ботанического и видового анализа растительных образцов, взятых на нарушенных землях, и могут быть рекомендованы в качестве пионерных (предварительных, авангардных) культур.

Видовой состав растений, приуроченный к отвалам вскрышных пород Курской магнитной аномалии (зона лесостепей), следующий.

<i>Порода</i>	<i>Видовой состав растений</i>
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, лядвенец рогатый
Глина	Мать-и-мачеха, тысячелистник, клевер белый

На 24-летнем отвале Тишинского месторождения полиметаллических руд, отсыпанного серицито-хлорито-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.

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 растений 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 дозой минеральных удобрений в течение 3...4 лет с последующей запашкой трав на глубину 20...25 см;

посев трав (вико-овсяной смеси, донника) с последующей за-пашкой.

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 должен быть следующим:

планировка поверхности земли и нанесение на нее почвенного слоя, особенно на субстраты, содержащие малопригодные 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, в качестве пионерной культуры можно выращивать 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 углеводов. Как показывает этот опыт, наилучшими пионерными культурами при проведении биологической 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.

Лесохозяйственную рекультивацию проводят для создания на нарушенных землях лесных насаждений промышленного, защитного, водорегулирующего, водоохранного и рекреационного на-

значений. 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 опад и корневым системам получают большой прирост органических веществ.

На землях, загрязненных техногенными продуктами, главная задача биологической рекультивации — повышение самоочищающей способности почвы. Решают эту задачу с помощью совместного функционирования технических и биологических систем, оперирующих широким набором мероприятий, в том числе с использованием *биоремедиации*, включающей как применение специально выращенных микроорганизмов, так и растений.

Рекультивация (очистка) почв с помощью микроорганизмов основана на деструктировании (разложении) этих продуктов. На практике этот способ применяют для очистки почв, загрязненных нефтью, нефтепродуктами и пестицидами. Технология биодеструктирования включает создание благоприятных водно-воздушных, тепловых и питательных условий микроорганизмам и регулярного контроля численности применяемой популяции. Поэтому эффективность такого вида рекультивации зависит от управляемости факторов их развития и качества штаммов.

С помощью растений можно определить содержание металлов в почве, оказывающих доминирующее воздействие на формирование растительного покрова. Это свойство растений для целей горного дела начали специально изучать еще в XVI веке. 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, кривоваты и до совершенной старости своей подсыхают, а трава, под жилами растущая, бывает обыкновенно мельче и бледнее.

Современную технологию очистки почв от тяжелых металлов с помощью растений называют *фиторемедиация*. Было обнаружено, что некоторые виды растений способны не только выдерживать наличие, но и поглощать и накапливать в десятки — сотни тысяч

раз больше ионов свинца, ртути, цинка или других токсичных металлов, чем остальные. Это открытие позволило найти простое решение — теперь для очистки почвы необходимо всего-навсего засеять его нужным видом растений, а в конце сезона собрать «урожай» тяжелых металлов и вывезти на специальное захоронение. Для развития этого метода было предложено добывать металлы из почвы, так как некоторые растения, в частности обыкновенная капуста, оказались способными накапливать их в себе в повышенных количествах, «добывая» из земли все ионы золота, серебра и платины, к которым только имела доступ их корневая система.

Для создания растительного покрова на землях, загрязненных тяжелыми металлами, необходимо учитывать видовой состав растений, приуроченный к таким землям.

Соли тяжелых металлов

Медь, железо
Медь
Цинк
Цинк, свинец, кадмий
Свинец, хром
Цинк, кадмий
Кобальт
Никель

Видовой состав растений

Шиповник
Качим (растение семейства гвоздичных)
Фиалка, ярутка
Горец большой
Горчица индийская
Альпийский хеллеркраут
Греческий ибискус
Гречиха

На землях с повышенным содержанием мышьяка целесообразно выращивать шиповник, а при рекультивации засоленных территорий применять следующие солеустойчивые сельскохозяйственные культуры, дикие травы, кустарники и деревья.

Солеустойчивые растения

Слабосолеустойчивые растения

Травянистые растения

Бекмания обыкновенная, бескильница гигантская и расставленная, волоснец ситниковый, вестрен ветвистый, донник белый и желтый, житняк гребенчатый, ежа сборная, костер безостый, кохия стелящаяся (прутник), люцерна пестрогибридная и синегибридная, мятлик луговой, овсяница бороздчатая (типчак), красная, луговая и тростниковидная, полевица белая, пырей бескорневишный и русский, райграс высокий, ячмень Богдана

Клевер красный и белый
Тимофеевка луговая

Сельскохозяйственные культуры

Арбуз, брюква кормовая, горчица, дыня, капуста кормовая, лук, морковь, овес, помидоры, просо зерновое и кормовое, пшеница яровая, рис, рожь озимая, свекла кормовая, сахарная и столовая, сорго, соя, турнепс, хлопчатник

Бобы, вика, горох, картофель, кукуруза, лен, подсолнечник, редис, фасоль, чеснок

Деревья

Абрикос, акация белая, бук, береза киргизская и бородавчатая, вяз мелколистный и шершавый, груша обыкновенная, дуб красный, крупноплодный и черешчатый, ель канадская, клен остролистный и платановидный, лиственница европейская, рябина обыкновенная, сосна желтая и черная, тополь бальзамический, белый, берлинский, дельтовидный и пирамидальный, туранга, шелковица белая, ясень американский и зеленый

Ель обыкновенная, ива белая, каштан конский, клен ясенелистный, липа мелколистная, лиственница сибирская, можжевельник вергинский и казацкий, орех грецкий, сосна обыкновенная, тополь канадский и черный, яблоня лесная, ясень обыкновенный

Кустарники

Аморфа кустарниковая, айва обыкновенная, боярышник, гледичия, джугзун, жимолость обыкновенная и татарская, клен татарский, лох узколистный, роза морщинистая, свидина, сирень обыкновенная, снежно-ягодник белый и обыкновенный, смородина золотистая и крыжовниковая, соляноколосник, туя восточная, чингил, тамарикс многоветвистый

Калина, дерен белый, кизильник блестящий

Для создания газонов и устойчивого травяного покрова из многолетних трав при озеленении территорий используют следующие травосмеси:

<i>№ травосмеси</i>	<i>Наименование вида</i>	<i>Состав, %</i>
1	Костер безостый	50
	Овсяница луговая	30
	Райграс пастбишный	20
2	Овсяница луговая	70
	Мятлик луговой	20
	Райграс пастбишный	10
3	Костер безостый	50
	Волоснец ситниковый	30
	Овсяница луговая	20
4	Мятлик луговой	50
	Бескильница расставленная	30
	Овсяница луговая	20
5	Мятлик луговой	30
	Райграс пастбишный	15
	Овсяница красная	40
	Типчак (овсяница бороздчатая)	15
6	Овсяница красная	60
	Типчак (овсяница бороздчатая)	20
	Полевика белая	10
	Мятлик луговой	10

Приведенные системы и способы биологической рекультивации используют при формировании из нарушенных земель культурного ландшафта, который содержит оптимальный набор участков различного использования, рациональное соотношение их площадей, взаимное расположение, режим использования и систему природоохранных мероприятий. Для успешного функционирования культурного ландшафта необходимо, чтобы все земли были рекультивированы и увеличены площади под растительным покровом, включая посевы сельскохозяйственных культур, среди которых обязательно должны быть травы, участки с древесными насаждениями, защитные и природоохранные зоны в виде древесно-кустарниковых полос.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите и охарактеризуйте этапы рекультивации земель. 2. Что такое рекультивационный период? От чего он зависит? 3. Опишите элементы подготовительного этапа рекультивации. Как выбрать направление использования восстановленных земель? 4. Назовите задачи и элементы технического этапа рекультивации. 5. Какие инженерные системы природообустройства создают при рекультивации? 6. Охарактеризуйте основные системы и способы биологической рекультивации. 7. Что такое агролесомелиорация, агромелиорация, фиторекультивация, биоремедиация?

Глава 5

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ КАРЬЕРОВ И ОТВАЛОВ



5.1. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ КАРЬЕРНЫХ ВЫРАБОТОК И ОТВАЛОВ

При добыче полезных ископаемых и нерудных материалов открытым способом земли нарушают карьерными выемками, внутренними и внешними отвалами, гидроотвалами, в которые складывают вскрышные горные породы и отходы обогащения.

Вскрышные породы — горные породы, покрывающие и вмещающие тело полезного ископаемого и подлежащие выемке при открытой разработке месторождения. Вскрышные породы, выносимые на поверхность и отсыпаемые в насыпи, располагаемые вне карьеров, называют внешними отвалами. Вскрышные породы, отсыпаемые в насыпи, располагаемые в пределах карьерной выработки, называют внутренними отвалами. Отвалы, формируемые намывным способом, называют гидроотвалами.

Отходы обогащения — горные породы, образующиеся при обогащении полезных ископаемых с целью повышения их товарной стоимости за счет улучшения технологических и потребительских свойств.

В зависимости от глубины карьеров и уровня залегания подземных вод карьерные выемки могут быть сухими, обводненными или подтопленными.

Глубина выемки грунта в карьере должна определяться глубиной залегания полезных ископаемых, возможностями землеройной техники, а также намерениями по дальнейшему использованию и обустройству нарушенной территории.

Необводненные карьеры — карьерные выемки, в которых после выемки горных пород грунтовые воды залегают ниже подошвы карьера на глубине более одного метра.

При несоблюдении данного условия карьерные выемки бывают обводненными или подтопленными.

Сухие карьерные выемки чаще используют для сельскохозяйственного направления рекультивации нарушенных территорий.

Обводненные карьерные выемки после прекращения их эксплуатации можно использовать в качестве водных объектов мно-

гоцелевого назначения, в которых уровень грунтовых вод не менее чем на 2 м выше дна.

Часто при выемке грунта, осуществляемой стихийно, разработку ведут до той глубины, достичь которую в том или ином случае позволяют рабочие параметры землеройной техники в зависимости от мощности пласта добываемого материала и колеблющегося уровня грунтовых вод. После выемки горных пород в таких карьерах грунтовые воды находятся на глубине не более 1 м от подошвы выработанного пространства или несколько выше ее, в результате чего остается заболоченная или частично обводненная, практически неподдающаяся рекультивации территория. В таких случаях перед проведением работ по рекультивации возникает потребность в проведении осушительных мероприятий или их засыпают безвредными, нефитотоксичными вскрышными горными породами до достижения параметров необводненных карьеров. После чего рекультивацию ведут в установленном порядке как для необводненных карьеров.

Иногда такие территории могут представлять интерес в качестве места обитания земноводных и иметь природоохранное значение.

Рекультивация необводненных карьерных выработок. Добычу нерудных материалов в сухих карьерах осуществляют горнодобывающие предприятия механизированным способом с использованием землеройных, землеройно-транспортных, транспортных и специальных машин и механизмов. Принципиальная технологическая схема добычи нерудных материалов показана на рисунке 5.1.

Перед добычей полезных ископаемых и нерудных строительных материалов открытым способом в необводненных карьерах снимают плодородный слой почвы и перемещают его во внешний, временный кавальер, располагаемый вне зоны рабочих перемещений землеройных, землеройно-транспортных и транспортных машин, задействованных на данном объекте.

После снятия плодородного слоя выполняют вскрышные работы, которые желательно вести раздельным способом: вначале разрабатывают потенциально плодородные горные породы, а затем непригодные горные породы с перемещением их на начальном этапе освоения месторождения раздельно во внешние временные отвалы. После вскрытия карьера ведут добычу полезного ископаемого, при этом добываемую горную массу направляют во временный отвал, находящийся вблизи с обогатительной фабрикой, где добытую горную массу обогащают до получения товарного продукта.

Например, при добыче песка на обогатительных фабриках выполняют сортировку исходной горной массы для получения частиц с требуемым размером фракций: $d_f = 0,15...5$ мм просеиванием

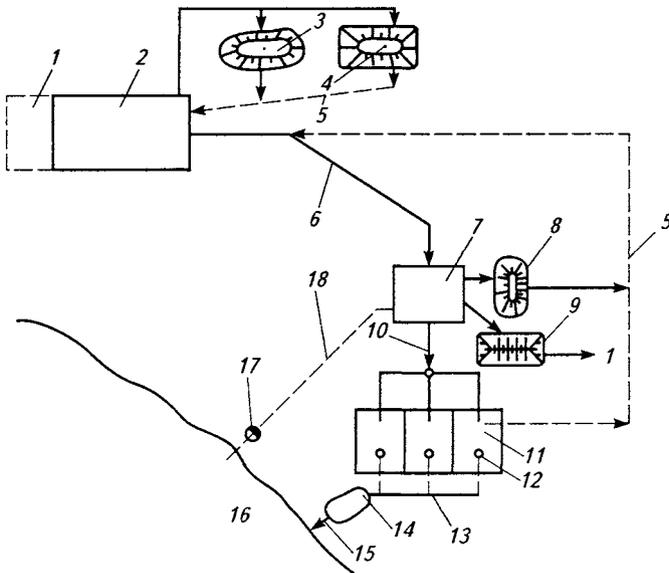


Рис. 5.1. Принципиальная технологическая схема добычи нерудных материалов:

1 — запасы месторождения; 2 — территория карьера; 3 — временный внешний отвал вскрышных пород; 4 — временный внешний отвал плодородного грунта; 5 — направление возврата горных пород вскрыши при формировании рекультивационного слоя; 6 — направление доставки полезного ископаемого на обогащение; 7 — обогатительная фабрика; 8 — фабричный отвал сухих отходов обогащения; 9 — фабричный товарный отвал; 10 — направление отвода жидких отходов обогащения; 11 — система отстойников; 12 — водосборные колодцы; 13 — открытый канал для отвода осветленной воды; 14 — биоплато для доочистки осветленной воды; 15 — канал для сброса очищенной воды в водоприемник; 16 — водоприемник (водный объект); 17, 18 — система технического водоснабжения из поверхностного водоисточника

на виброгрохотах и промывкой водой в теплое время года для обеспечения требуемой чистоты песка (содержание частиц $d_i < 0,15$ мм должно быть не более 1...2 %). В результате обогащения песка образуются отходные массы с размером частиц $d_i < 0,15$ мм и $d_i > 5$ мм. Частицы размером $d_i < 0,15$ мм в теплое время года в виде пульпы грунтовыми насосами перекачивают в отстойники, в которых пульпа разделяется на твердую составляющую и осветленную воду. Твердая составляющая оседает на дно отстойника, а осветленную воду сбрасывают вначале в биоплато и после ее биологической доочистки она поступает в водоприемник. По мере заполнения отстойников отходными фракциями их очищают, как правило, в зимний период года землеройными машинами с погрузкой на транспортные средства. Отходные фракции перемещают в отвалы непригодных горных пород.

Частицы размером $d_i > 5$ мм подают в камнедробилки для их измельчения, после измельчения образовавшуюся горную массу на виброгрохотах разделяют на фракции требуемых размеров. При больших объемах крупных фракций на обогатительных фабриках получают песок, гравий и щебень. Некондиционный отсеявшийся материал поступает во временный фабричный отвал, из которого его перемещают в отвал непригодных горных пород.

По мере освоения месторождения возможны различные варианты последующего использования нарушенных территорий: сельскохозяйственное, лесохозяйственное, строительное и др. В основном рекультивацию карьеров, в которых добывали нерудные материалы, выполняют с целью использования территории под сельскохозяйственные угодья. Часто после рекультивации отмечают даже некоторое повышение урожайности, так как при выемке грунта удаляют высокопроницаемые слои песка и гравия, а плодородный грунт приближается к грунтовым водам, улучшая обеспеченность влагой сельскохозяйственных культур.

При рекультивации карьеров для сельскохозяйственного использования необходимо учитывать изменение микроклимата, сопровождающееся скоплением холодного воздуха. С целью уменьшения влияния холодного воздуха дну карьера придают легкий уклон в сторону общего понижения местности, а постоянным отвалам — форму, обеспечивающую продуваемость карьерной выработки.

В процессе производства работ в карьерах подпочвенные слои за счет рабочих перемещений строительной техники существенно уплотняются. Поэтому для повышения ценности рекультивируемой территории уплотненную породу тщательно рыхлят на глубину до 0,5 м, после чего на дне карьера формируют рекультивационный слой.

На рациональное использование рекультивируемых территорий под сельскохозяйственные угодья влияют форма и размеры карьера. Наиболее благоприятны участки прямоугольной формы площадью не менее 2 га.

Состав вскрыши может быть монопородным (только плодородный слой почвы и потенциально плодородные горные породы) или многопородным (плодородный слой почвы, потенциально плодородный и вмещающие горные породы).

При выполнении вскрышных работ в условиях монопородной вскрыши снимают плодородный слой почвы и потенциально плодородные горные породы с целью дальнейшего использования их для землевания малопродуктивных угодий и формирования рекультивационного слоя. Нормы снятия плодородного слоя почвы при производстве вскрышных работ определяются требованиями ГОСТ 17.5.3.06—85. При снятии, складировании и хранении пло-

дородного слоя почвы необходимо соблюдать меры, исключающие ухудшение его качества, а затем начинают разработку вмещающих горных пород.

Часто техническую рекультивацию можно начинать, не дожидаясь завершения эксплуатации карьера, и значительно упростить ее, выбрав соответствующую технологию производства работ в карьере. Например, при ведении горных работ в неглубоких карьерах (до 5...6 м) с однородным вскрышным слоем рекультивационный слой создают одновременно с добычей полезного ископаемого. В процессе добычи полезного ископаемого последовательно снимают экскаватором с рабочим оборудованием драглайн слой вскрыши и перемещают его на дно выработанного горизонта для формирования рекультивационного слоя на нефитотоксичных породах, слагающих выработанный горизонт. После вскрыши забоя тем же экскаватором добывают полезное ископаемое, отправляя его потребителю. Схема экскаваторной добычи полезного ископаемого с одновременным формированием рекультивационного слоя показана на рисунке 5.2.

При разработке вскрышного слоя, состоящего из нескольких горных пород, рекультивационный слой на дне карьера создают следующим образом. Вскрышные работы, добычу полезных ископаемых и формирование рекультивационного слоя организуют по поточной схеме. Для этого карьер по длине разбивают на захватки. Число захваток, на которых одновременно ведут работы, опреде-

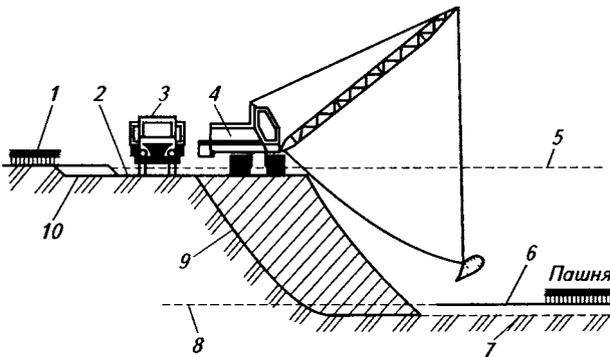


Рис. 5.2. Схема экскаваторной добычи полезного ископаемого с одновременным формированием рекультивационного слоя на дне карьера:

1 — пашня до снятия почвенного слоя, 2 — подъездная дорога, 3 — автосамосвал, 4 — экскаватор; 5 — дневная поверхность земли, 6 — перемещение верхнего слоя почвы с разравниванием по рекультивируемой поверхности, 7 — уплотненная подошва выработки; 8 — поверхность земли после выемки грунта и рекультивации карьера; 9 — забой экскаватора; 10 — слой почвы, снимаемый поэтапно

ляется количеством разрабатываемых пластов горных пород. Вскрышные породы укладываются отдельно во временные внешние отвалы, а добытые полезные горные породы отправляют на обогащение или непосредственно потребителю. После образования выработанного пространства в карьере до проектной отметки подошвы горные породы отсыпают на дно пластами в последовательности, в которой они залегали в естественном сложении. После завершения эксплуатации карьера и для формирования рекультивационного слоя используют горные породы из временных внешних отвалов.

При совмещении вскрышных работ и добычи полезных ископаемых с техническим этапом рекультивации выработанного пространства карьеров непосредственно в период их эксплуатации возможно снижение затрат почти в 3..4 раза за счет сокращения числа переработки пород и уменьшения дальности их перемещения. Схема очередности производства работ и перемещений горных пород при совмещении вскрышных работ и добычи полезных ископаемых с техническим этапом рекультивации карьеров показана на рисунке 5.3.

Особая проблема при рекультивации территорий под сельскохозяйственные угодья в местах сухой выемки грунта — формирование откосов карьера. Рекультивацию карьеров глубиной до

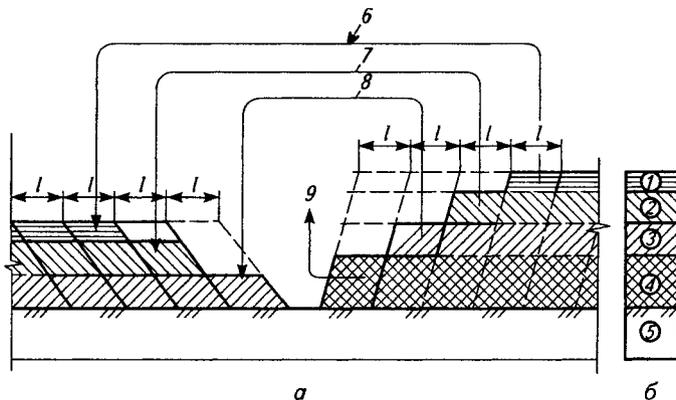


Рис. 5.3. Схема производства работ при совмещении вскрышных работ с техническим этапом рекультивации карьера:

а — участок карьера, в пределах которого ведут работы по добыче полезного ископаемого и техническому этапу рекультивации; *б* — геологический разрез; 1 — почвенный слой; 2 — потенциально плодородный слой; 3 — непригодные горные породы; 4 — полезное ископаемое; 5 — подстилающие горные породы; 6..8 — направления перемещений вскрышных горных пород для технической рекультивации выработанной части карьера; 9 — направление отгрузки полезного ископаемого; *l* — длина участков, на которых одновременно ведут вскрышные работы, добычу полезного ископаемого и рекультивацию выработанного пространства, организованную поточным методом

5...6 м выполняют с выполаживанием откосов, а глубиной более 6 м — без выполаживания. При выполаживании откосов получают дополнительные площади, пригодные для включения их в сельскохозяйственные угодья; ослабляются эрозионные процессы на откосах; предохраняют рекультивированную территорию дна карьера от заноса частицами грунта, смываемыми с откосов; улучшают общий ландшафт рекультивируемой территории.

При использовании площади откосов карьеров в составе сельскохозяйственных угодий их крутизна должна обеспечивать беспрепятственное движение машин как агрегатируемых с тракторами, так и самоходных. В соответствии с этими требованиями откосы карьеров должны быть выположены до крутизны $m = 5$ и более. Схема производства работ при выполаживании откосов карьера показана на рисунке 5.4.

Выполаживание откосов карьера выполняют исходя из баланса грунтовых масс: равенства объемов срезаемого минерального грунта с верхнего горизонта и подсыпаемого в подножье выполаживаемого откоса. В связи с этим возникает потребность в определении границ земляных работ как в зоне срезки грунта, так и в зоне его насыпи. Ширина полосы, м, с которой удаляют почвенный слой

$$b_1 = (m_b - m_k) \left(\frac{h_k - h_p}{2} + h_p \right),$$

где m_b — проектное заложение откоса после его выполаживания; m_k — фактичес-

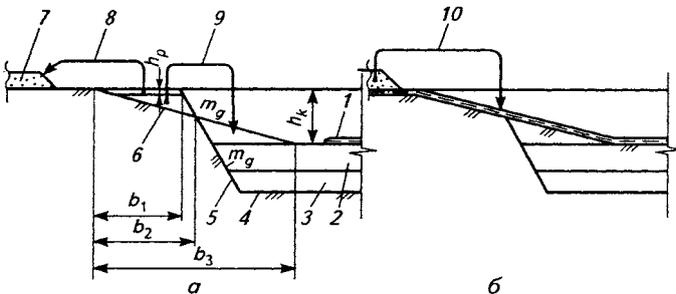


Рис. 5.4. Схема производства работ по выполаживанию бортов карьера:

a — разработка минерального грунта; *б* — нанесение почвенного слоя на спланированную поверхность откосов карьера; 1 — плодородный слой почвы; 2 — потенциально плодородный слой; 3 — слой непригодного грунта; 4 — дно карьера; 5 — крутизна бортов карьера до выполаживания; 6 — проектная крутизна бортов карьера после выполаживания; 7 — временный отвал плодородного грунта; 8...10 — направление перемещения грунтовых масс при выполаживании, соответственно срезка плодородного слоя почвы и перемещение его во временный внешний отвал, планировка бортов карьера, нанесение почвенного слоя на спланированную поверхность; h_p , h_k , $b_1...b_3$ — проектные размеры

кое заложение откоса карьера перед его выполаживанием; h_k — видимая глубина карьера после отсыпки и разравнивания вскрышных пород на дне карьера, м; h_p — толщина плодородного слоя, м.

Линию нулевых работ на откосе определяют как линию, отстоящую от границы срезки почвенного слоя

$$b_2 = m_b \left(\frac{h_k - h_p}{2} + h_p \right).$$

Границу насыпи минерального грунта, отсыпаемого в подножие откоса, можно найти как линию, отстоящую от границы срезки почвенного слоя $b_3 = m_b h_k$.

Выполаживание откосов выполняют в следующей последовательности. Вначале с полосы шириной b_1 бульдозером срезают почвенный слой и перемещают его во временный отвал, затем минеральный грунт и перемещают его вниз к подножию откоса, формируя наклонную плоскость. Учитывая разрыхление грунта в процессе его разработки, насыпную часть выполаживаемого откоса целесообразно выполнять выше проектной линии, в расчете на самоуплотнение грунта. На спланированную поверхность из временного отвала наносят плодородный слой почвы. Для этого можно использовать фронтальные погрузчики или другие строительные машины.

Рекультивацию карьеров глубиной более 6...10 м выполняют без выполаживания откосов, и их крутизна должна составлять $m \geq 1,5$. Учитывая большую длину склонов в глубоких карьерах, через каждые 5 м по высоте на откосах устраивают бермы шириной 3 м и более, выполняемые с некоторым уклоном в сторону подножия откоса для защиты его от обширной эрозии и обеспечения доступа техники в процессе рекультивации.

Нередко выработанное пространство карьеров в период эксплуатации используют для бессистемного размещения внутренних отвалов вскрышных пород. В таких условиях формирование рекультивационного слоя для сельскохозяйственного целевого использования существенно усложняется. В подобных случаях формирование рекультивационного слоя ведут в следующей последовательности.

Внутренние отвалы вскрышных непригодных и малопригодных горных пород разравнивают и по их верху отсыпают нетоксичные (потенциально плодородные) грунты, пригодные для развития корневой системы растений, слоем не менее 0,6 м для пашни, 0,7 м — для сенокосов, 1...2 м — для лесопосадок. Потенциально плодородные грунты забирают из временных внешних отвалов ранее снятого потенциально плодородного слоя.

По верху спланированной поверхности отсыпают плодородный слой почвы, забираемой из временных внешних отвалов ранее снятого почвенного слоя, мощностью не менее 0,3...0,4 м под пашни, 0,2...0,3 м — под сенокосы. Для лесопосадок почвенный грунт засыпают непосредственно в ямы перед посадкой деревьев и кустарников.

На завершающем этапе технической рекультивации карьеров проводят агротехнические мероприятия по подготовке рекультивационного слоя к биологическому этапу рекультивации. Примерный состав агротехнических мероприятий:

дополнительное выравнивание и окончательная планировка поверхностей для ликвидации возвышений и понижений в целях равномерного распределения выпадающих осадков и недопущения вымочек. Для выполнения этих работ применяют навесные выравниватели-планировщики типа ВПИ-5,6 массой 1,4 т к тракторам МТЗ;

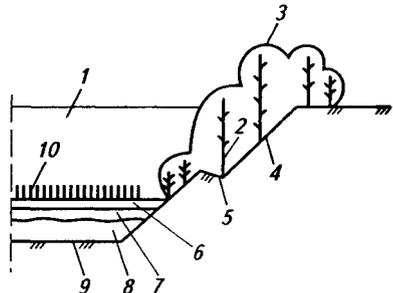
внесение химических мелиорантов с помощью комплекса машин, в состав которого входят машины по транспортированию, разбрасыванию и заделке химических мелиорантов в почву. Виды и дозы внесения устанавливают на основании анализов почв, выполняемых агрохимическими лабораториями. Например, минеральные удобрения в соотношении K_2O — 50 %, P_2O_5 — 30 %, NO_3 — 20 % вносят машинами МВУ-8Б. Обычная доза внесения минеральных удобрений составляет около 0,5 т/га. Вносимые в почву удобрения заделывают дисковыми боронами на глубину до 0,06 м.

Виды работ, основные агротехнические и технологические требования и применяемые механизмы при послойном известковании почв приведены в таблице 5.1, а при проведении биологического этапа рекультивации необводненных карьеров — в таблице 5.2.

Схема обустройства необводненных глубоких карьеров показана на рисунке 5.5.

Рис. 5.5. Схема рекультивации и обустройства глубоких карьеров:

1 — выработанное пространство карьера; 2 — посадка саженцев деревьев и кустарниковой растительности, посаженной после активации бедной почвы на склонах; 3 — сформировавшаяся древесно-кустарниковая растительность; 4 — многоярусный склон выработки; 5 — берма; 6 — восстановленный почвенный слой по дну карьера; 7 — потенциально плодородный слой; 8 — вскрышные породы внутренних отвалов после их разравнивания; 9 — дно карьера; 10 — пашня



Когда сельскохозяйственное использование восстанавливаемой территории сопряжено с определенными трудностями (неудовлетворительного качества горные породы, слагающие дно и борта карьера, удаленность от населенных мест, отсутствие потребности в увеличении сельскохозяйственных угодий, неблагоприятный микроклимат для выращивания сельскохозяйственных культур), принимают лесохозяйственное направление рекультивации необходительных карьеров. При этом благоприятный рекультивационный режим обеспечивают наличием в резерве почв с содержанием гумуса не менее 1 % при наличии потенциально плодородных горных пород на дне карьера, а грунтовые воды залегают на глубине более 0,6 м.

5.1. Технология послыйного известкования почв

Вид работы	Основные агротехнические и технологические требования	Средство механизации
Доставка известковых материалов	Создание необходимого запаса; своевременная доставка; обеспечение сохранности; защита от сырости	При расстояниях транспортирования: до 70...100 км — автосамосвалы; 25 км — тракторные прицепы; 10...25 км — разбрасыватели удобрений на базе автомобилей
Разбрасывание 50%-й дозы известковых материалов	Норма внесения 2...6 % массы мелиорируемого слоя (2...10 т/га) в зависимости от рН	Разбрасыватель удобрений (РУМ-8, РУП-8 к трактору Т-150К или РУМ-16 к трактору К-701)
Перемешивание извести с верхним слоем почвы	На глубину 0,1 м или на половину пахотного слоя	Борона дисковая навесная (БДН-3 и трактор Т-75)
Вспашка с оборотом пласта	На глубину 0,2 м пахотного слоя	Плуги общего назначения (ПЛП 6-35 и трактор Т-150К)
Разбрасывание оставшихся 50 % дозы известковых материалов	Норма внесения 2...6 % массы мелиорируемого слоя (2...10 т/га) в зависимости от рН	Разбрасыватель удобрений (РУМ-8, РУП-8 к трактору Т-150К или РУМ-16 к трактору К-701)
Перемешивание в обратном направлении	На глубину 0,1 м или на половину пахотного слоя	Борона дисковая навесная (БДН-3 и трактор Т-75)

Рекультивацию карьеров облесением проводят в следующей последовательности. Вначале выравнивают дно карьера и выполаживают откосы до $m = 1,5$ и более, а при глубине карьера более 5...6 м на откосах устраивают бермы шириной не менее 3 м через каждые 5 м по высоте склона. После завершения этих работ выполняют рыхление уплотненных горных пород на дне карьера, а затем высевают бобовые культуры, способствующие образованию

гумуса и накоплению азота. В последующем закладывают лес, избегая монокультуры. Одни лишь хвойные породы деревьев не способствуют полному развитию потенциала территории. Их дополняют лиственными породами деревьев, соответствующих местным условиям.

5.2. Состав процессов при выполнении работ на биологическом этапе рекультивации нарушенных земель

Вид работы	Основные агротехнические и технологические требования	Применяемые машины
Дополнительное выравнивание и планировка после завершения осадок поверхности	Ликвидация возвышений и понижений в целях равномерного распределения выпадающих осадков и недопущения вымочек	Выравниватель-планировщик навесной к трактору 1,4 т (МТЗ) ВПН-5.6
Внесение химических мелиорантов	Виды и дозы внесения устанавливают на основании анализов почв, выполняемых агрохимлабораторией	Комплекс машин по транспортированию, разбрасыванию и заделке химических мелиорантов в почву Разбрасыватели удобрений
Комплекс работ по первичному освоению с посевом злакобобовых многолетних трав на 2...3 года:	В установленные сроки и с учетом запасов питательных веществ в почве	Плуги дисковые и зубчатые бороны, культиваторы
внесение удобрений	На глубину 0,1 м	
предпосевная обработка с заделкой удобрений		
Посев травосмесей	В соответствии с нормами посева после протравливания семян	Сеялки травяные и лугопастбищные с междурядьями 7,5 или 15 см
Уход за посевами (рыхление, борьба с сорняками, орошение)	По мере необходимости; при образовании корки	Культиваторы, бороны игольчатые и др.
Уборка	Злаковые — в фазе выколашивания; бобовые — в начале цветения	Косилки, валкообразователи, грабли-ворошилки, подборщики, погрузчики и прочие машины
Введение специального переходного севооборота (на 5...9 лет)	В соответствии с агротехникой каждой культуры, принятой в севообороте	Комплексы сельскохозяйственных машин в соответствии со спецификой возделываемых культур
Введение зонального севооборота, характерного для региона	—	—

При посадке смешанных пород деревьев более полно формируется ландшафт и обеспечивается оздоровление биотипа. Лесопосадки по периметру необходимо обсадить кустарником и низкорослыми деревьями, образуя опушку шириной 3...5 м.

При добыче камня рекультивация выработанного пространства карьеров и поверхностей отвалов из скальной породы требует выполнения специальных предварительных мероприятий, так как скальные грунты и конгломераты непригодны для биологической рекультивации по физическим свойствам.

В процессе добычи камня образуются насыпи из вскрышных (поверхностный слой месторождения) пород, непригодных для производственных целей. Эти породы можно разделить на плодородный слой почвы и материнскую породу или выветренные скальные породы, снимаемые при выполнении вскрышных работ. Верхний почвенный слой должен быть сохранен и складирован во временные отвалы.

Кроме того, на некоторых горнодобывающих предприятиях в отвал отправляют отсев, а также другие производственные отходы, добытые в месторождении, непригодные для товарного использования. Объемы и доля вскрышных работ и производственных отходов в объеме добычи непостоянны и изменяются по мере разработки месторождения, однако их можно предварительно рассчитать, чтобы определить размеры отвалов временного их хранения и окончательного формирования рельефа местности в процессе рекультивации.

При рекультивации земель, нарушенных карьерами добычи камня, создание рекультивационного слоя в зоне подошвы выработки, производственных и складских площадок, а также в зоне образовавшихся склонов достаточно сложны.

Подошва выработанного пространства в карьерах скального грунта, а также уплотненные в процессе производства горных работ и движения транспортных средств производственные и складские площадки непригодны для озеленения без предварительного проведения земляных работ по их рекультивации. В связи с этим перед планомерной высадкой саженцев древесно-кустарниковой растительности в пределах подошвы карьера, производственных и складских площадок, освобожденных от временных строений и складированного материала, отсыпают слой рыхлых вскрышных пород толщиной не менее 1 м и плодородный слой почвы — не менее 0,1 м.

Для погрузки в автосамосвалы вскрышных пород и почвенного грунта из временных отвалов используют одноковшовые экскаваторы или фронтальные погрузчики. Доставляемый автосамосвалами вскрышной и почвенный грунт поочередно разравнивают бульдозерами по рекультивируемой поверхности.

Разрабатывают скальные породы, предварительно разрыхляя их. Независимо от способа рыхления скального грунта после завершения работ в карьере остаются крутые склоны. При обустройстве таких склонов придавать им пологую форму необязательно. Примером их обустройства могут служить отвесные скалы, оставляемые после выемки камня. Однако крутизна оставляемого откоса зависит главным образом от прочностных характеристик горных пород, слагающих склон. В принципе должна быть сформирована вполне устойчивая скала крутизной около 60° к линии горизонта, расчлененная по высоте через каждые 10...30 м горизонтальными уступами шириной не менее 3 м.

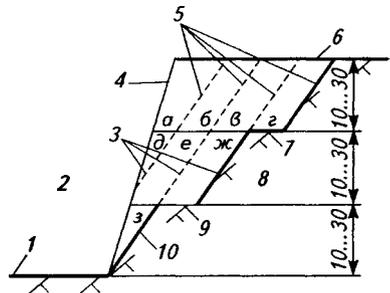
Если в процессе разработки месторождения эти условия не были выдержаны, то устойчивое положение склонам придают, выполаживая их, проводя дополнительные земляные работы буровзрывным способом (рис. 5.6).

После того как будет сформирован устойчивый скальный склон, его начинают обустраивать, ссыпая сверху на его поверхность вначале мелкозернистые минеральные породы, а затем плодородную почву из временных внешних отвалов, которые были размещены на верхних отметках вблизи карьера при производстве вскрышных работ. При падении часть грунта задерживается на уступах и неровностях рекультивируемого склона, создавая условия для естественного распространения травянистой и древесно-кустарниковой растительности. Для ускорения и планомерного достижения этой цели можно использовать гидропосев семян и внесение химических удобрений, а также других питательных веществ. Для выполнения этих работ применяют гидросеялки, используемые в мелиоративном, гидротехническом и дорожном строительстве. Схема обустройства склонов карьера после выработки камня показана на рисунке 5.7.

Использование выработанного пространства карьеров после добычи камня для водохозяйственных целей проблематично из-за непостоянства уровня воды в них после их затопления и опасных отвесных берегов.

Рис. 5.6. Пример формирования устойчивого склона в скальных породах (размеры в м):

a...з — очередность разработки скальных массивов; *1* — подошва выработки; *2* — выработанное пространство карьера; *3, 5, 10* — скважины для закладки ВВ во втором, первом и третьем ярусах склона; *4* — склон, оставленный после выемки камня; *6* — дневная поверхность земли; *7, 9* — уступы в подошве первого и второго ярусов; *8* — скальный массив



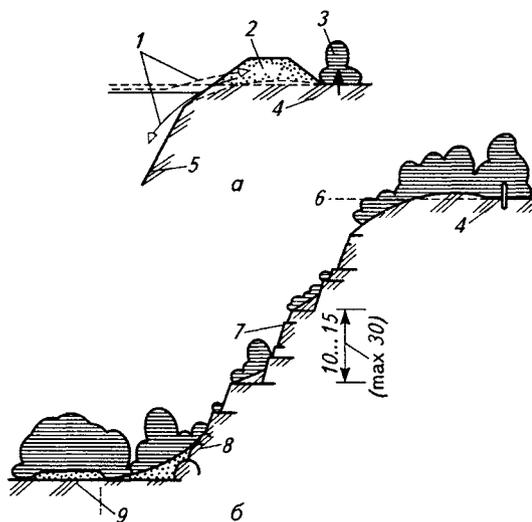


Рис. 5.7. Пример обустройства склона выработки скального грунта (размеры в м):

a — схема перемещения вскрышного грунта; *б* — обустройство склона; 1 — направления перемещений грунта при вскрытии карьера и обустройстве склона; 2 — временный отвал почвенного слоя грунта; 3 — защитные насаждения; 4 — ограждение; 5 — склон выработки; 6 — закругленная верхняя кромка выработки с насыпанным верхним слоем почвы и посаженными защитными насаждениями; 7 — устойчивая стенка склона; 8 — насыпной грунт; 9 — подошва выработки покрытия мелкозернистой почвы для посадки деревьев и кустарников

Наряду с сельскохозяйственным и лесохозяйственным целевым использованием нарушенных земель необходимыми карьерами их также можно использовать и для других целей — для создания спортивных и игровых площадок, устройства кемпингов и отвода участков под строительство.

Не исключается и обратная засыпка выработанного пространства карьеров неопасными с точки зрения загрязнения материалами, например отвальными породами, образующимися при проходке тоннелей метрополитена или другого назначения, безопасными строительными отходами после слома домов и другими безвредными материалами. После заполнения карьера этими материалами формируют верхний рекультивационный слой, отсыпаемый из минерального потенциально-плодородного грунта толщиной до 0,5 м и почвенного — не менее 0,15 м, с последующей рекультивацией территории для сельскохозяйственного или иного использования.

Рекультивация и обустройство обводненных карьеров. Затопленные карьеры после прекращения добычи в них полезных ископаемых и нерудных материалов, будучи заброшенными, представляют собой опасность, и их интеграция в ландшафт силами самой природы происходит чрезвычайно медленно. Рекультивация и обустройство затопленных карьеров ускоряют процесс интеграции их в природную среду и позволяют уменьшить негативное их воздействие на ландшафт и превратить нарушенные территории в среду обитания животных, растений и в прекрасное место отдыха человека.

Грунтовые воды в затопленных карьерах после завершения в них горных работ переходят в разряд поверхностных или озерных вод, качество которых с санитарной точки зрения можно считать безупречным.

Глубина карьера формируется в процессе добычи полезных ископаемых или нерудных материалов и определяется уровнем залегания полезных ископаемых или нерудных материалов и способом их добычи. Разработку горных пород в обводненных карьерах ведут механизированным, гидромеханизированным и комбинированным способами. Механизированный способ позволяет вести разработку горных пород до глубины 5...6 м, гидромеханизированный — до 18...20 м. При комбинированном способе разработку горных пород, расположенных выше уровня грунтовых вод, — ведут механизированным способом, ниже уровня грунтовых вод — ведут землесосными снарядами, что способствует образованию достаточно глубоких обводненных карьеров.

Для водохозяйственного использования обводненных карьеров вода в них должна отвечать рыбохозяйственным и санитарно-эпидемиологическим нормам. Площадь зеркала водной поверхности в рекультивируемых карьерах должна быть не менее 5 га для купален и не менее 10 га — для рыбоводства и спортивного рыболовства. Для целей рыбоводства наиболее благоприятные глубины — 0,5...2 м, площадь акватории с глубинами 0,15...0,5 м должна составлять около 20 %. Для целей рекреации и поддержания процессов саморегенерации в водных объектах благоприятными глубинами считают 0,5...2 м и более, общая площадь акватории с такими глубинами должна составлять около 80 %.

Поддержание качества воды во вновь создаваемых водных объектах со временем становится проблемой. Поэтому в состав работ технического этапа рекультивации и обустройства водоема необходимо включать мероприятия, направленные на уменьшение поступления загрязняющих веществ или их консервацию на подступах к водному объекту.

Качество воды часто страдает не только от количества загрязняющих веществ, поступивших в водный объект, но и от общего избытка питательных веществ (биогенов), поступивших извне, либо вследствие подкормки рыб и большого скопления водоплавающих птиц. Избыточное накопление питательных веществ в воде оказывает негативное воздействие в большей степени на мелководные объекты, способствующее нарушению процессов самоочистки. Мелкие водоемы быстро загрязняются и зарастают водными растениями, становясь непригодными для использования.

Не менее важны требования, предъявляемые к форме водного объекта в плане и очертанию его береговых склонов.

Чем больше размеры карьера, тем многообразнее последующее использование его как водного объекта. В небольших водных объектах, создаваемых в обводненных карьерах площадью до 5 га, наиболее вероятен экологический дисбаланс, и их рекультивация менее эффективна по сравнению с рекультивацией крупных обводненных карьеров.

Формирование ландшафта будущего водного объекта зависит от придаваемой в плане формы карьерной выработки. Из условия удобства производства земляных работ при добыче полезных ископаемых и нерудных материалов карьерам стараются придать в плане, как правило, прямолинейную форму с соотношением сторон $L = 2B$, где L и B — соответственно длина и ширина карьера (рис. 5.8, *a*).

При глубоком залегании грунтовых вод после выемки горных пород образуются протяженные сухие береговые склоны, недостаточно устойчивые к эрозионным процессам. Внешний вид таких береговых склонов и форма их очертания плохо удовлетворяют условиям формирования ландшафта водного объекта. После прекращения добычи полезных ископаемых или нерудных материалов в таких карьерах необходимо придание овалных форм береговой линии в плане и устройство плавных плоскостей береговых склонов, сопряженных с горизонтами выработки и естественной поверхности земли (рис. 5.8, *б*). Очертание береговых склонов определяется их устойчивостью и целевым использованием создаваемого водного объекта.

Для обеспечения устойчивости береговых склонов необходимо их выполаживание. Крутые береговые склоны менее устойчивы и более подвержены эрозионным процессам, затруднено их озеленение, что препятствует интеграции водного объекта в структуру культурного ландшафта. Пологие береговые склоны желательно создавать в процессе добычи полезных ископаемых или нерудных материалов. Любая доработка по превращению крутых береговых склонов в пологие после окончания работ в карьере ведет к значительному увеличению стоимости рекультивации нарушенных земель. Особенно трудно дорабатывать береговые склоны, расположенные ниже уровня воды. На форму очертания береговых склонов также

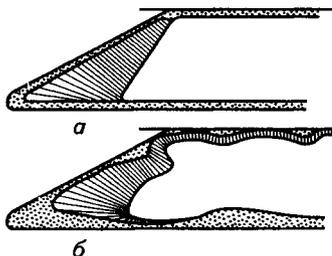


Рис. 5.8. Карьерные выработки:

a — прямолинейная форма карьерной выработки в плане после завершения добычи полезных ископаемых или нерудных материалов; *б* — формирование извилистой береговой линии в процессе технического этапа рекультивации обводненного карьера

влияет планируемое целевое использование, например, для водного объекта или его части, предназначенных для купания и отдыха, рекомендуется создавать более пологие склоны, а для рыбной ловли, гребно-парусного спорта или другого назначения — более крутые. Возможные профили береговых склонов, искусственно создаваемых в карьерах водных объектов с учетом последующего их целевого использования, показаны на рисунке 5.9.

На границе водного пространства береговые склоны должны быть особенно пологими, чтобы предотвратить несчастные случаи на воде и обеспечить благоприятные условия для развития при-

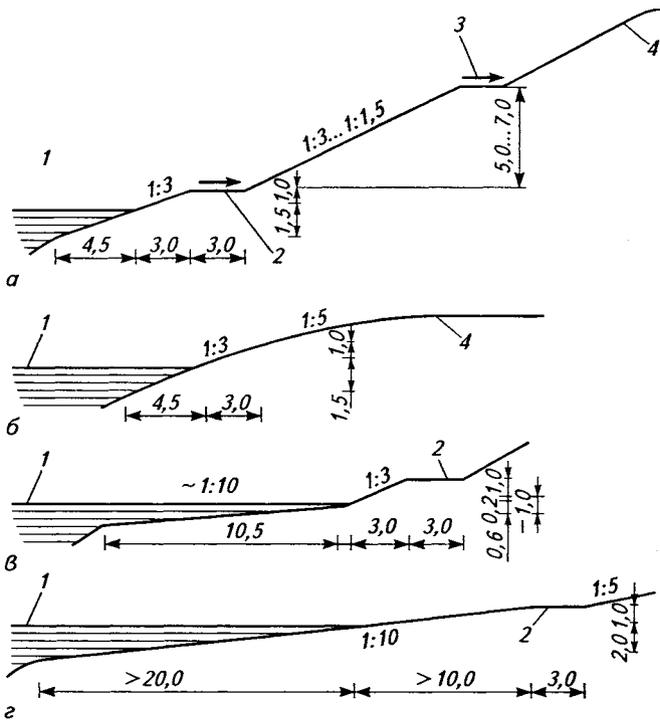


Рис. 5.9. Профили береговых склонов водных объектов, образуемых в карьерах (размеры в м):

a — высокий береговой склон водного объекта, образованного в глубоких обводненных карьерах; *б* — невысокий береговой склон водного объекта, образованного в неглубоком обводненном карьере; *в* — мелководный участок берегового склона для нужд рыбоводства; *г* — пляжный участок берегового склона; 1 — уровень воды в водном объекте; 2 — берма для размещения окружной дороги; 3 — промежуточная берма; 4 — плавное сопряжение склона с рельефом местности

брежной растительности, служащей снижению эрозионных процессов и закреплению берегов. Крутизна береговых склонов в таких местах должна быть не менее $m = 3...10$, обеспечивая глубину воды в прибрежной зоне $0,5...2$ м. На большей глубине подводные береговые склоны могут иметь большую крутизну, оставаясь устойчивыми длительное время.

Выше уровня воды в неглубоких карьерах береговой склон переходит в берму, устраиваемую шириной не менее 3 м на высоте не менее 1 м над максимальным уровнем воды, которую затем сопрягают с естественной поверхностью земли.

По условиям производства работ в глубоких карьерах образуются протяженные откосы с более крутым заложением $m = 1,5...2$. В карьерах береговые склоны при заложении $m = 2$ и более, расположенные выше уреза воды, как правило, сухие и обладают достаточной устойчивостью. Береговые склоны, имеющие заложение $m = 1,5$ и менее, при отсутствии на них сплошной древесной растительности недостаточно устойчивы к эрозионным процессам. Внешний вид таких склонов и форма их очертания плохо удовлетворяют условиям формирования на них устойчивого культурного ландшафта.

При разработке горных пород в обводненных карьерах землесосными снарядами образуются крутые надводные береговые склоны, равные откосам естественного обрушения, и подводные — близкие к вертикальным. Формирование в таких случаях пологих береговых склонов землесосными снарядами практически невозможно. Поэтому при формировании береговых склонов с приданием им проектных размеров в зависимости от последующего использования создаваемого водного объекта горные породы в пределах береговой зоны вынимают экскаваторами, перемещая их в рабочую зону (забой) землесосного снаряда (рис. 5.10). При разработке горных пород в карьере экскаваторами можно получить береговые склоны практически любых размеров и заложения.

После завершения формирования береговых склонов и создания на них рекультивационного слоя проводят работы по озеленению. Деревья и кустарники, водные растения и тростник способствуют восстановлению полноценной и стабильной природной среды и обеспечивают одновременную защиту береговых склонов от разрушения. Правильное расположение растительного покрова способствует поддержанию чистоты воды в водоеме и достижению живописного и разнообразного пространственного расчленения прибрежной территории.

После завершения горных работ и проведения работ по рекультивации и обустройству обводненного карьера он превращается в непроточный водный объект искусственного происхождения. В зависимости от сезонного колебания уровня воды и размеров

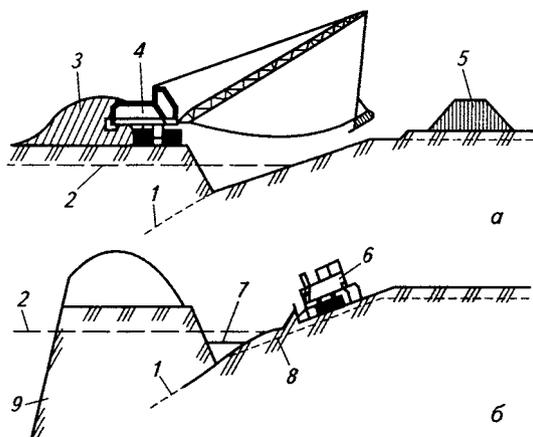


Рис. 5.10. Формирование пологих береговых склонов при выемке горных пород землесосами в мокрых карьерах:

а — формирование пологого откоса экскаватором; *б* — нанесение слоя почвенного грунта перед повышением уровня воды; 1 — формируемый пологий откос; 2 — уровень грунтовых вод; 3 — вынутый минеральный грунт при формировании пологого откоса экскаватором; 4 — экскаватор; 5 — временный кавальер почвенного грунта; 6 — бульдозер; 7 — частичное понижение уровня грунтовых вод в пределах забоя экскаватора; 8 — нанесение слоя почвенного грунта на сформированный откос; 9 — часть грунтового массива, разрабатываемого земснарядом

береговых склонов можно выделить четыре пояса, характеризующиеся различными условиями для развития прибрежной растительности.

Подводный пояс — часть берегового склона, постоянно покрытая водой.

Пояс переменного уровня — часть берегового склона, периодически затопляемая водой. Степень увлажнения почв в этом поясе меняется в зависимости от сезонного колебания уровней воды и наката волн.

Первый надводный пояс — часть берегового склона, расположенная выше максимального уровня воды, почвы которого недостижимы воздействию наката волн, но находятся под влиянием воздействия капиллярного поднятия грунтовых вод.

Второй надводный пояс — часть берегового склона, расположенная выше первого надводного пояса, почвы которого недостижимы воздействию грунтовых вод.

Размеры каждого из поясов определяются природными условиями конкретного объекта рекультивации.

Особое внимание при выполнении работ по закреплению береговых склонов озеленением необходимо придавать формирова-

Не все водные объекты могут служить для купания, а также других видов отдыха на воде: любительского рыболовства, гребли, парусного спорта и т. д. Только крупные водные объекты площадью более 30 га позволяют, например, заниматься парусным спортом или допускают параллельно водный спорт и рыбную ловлю. В любом случае нельзя превращать водоем исключительно в место только для купания. Обязательно следует создавать участки берега с растительным покровом. Во-первых, они выполняют регенерационную роль, а во-вторых, позволяют искусственный водный объект приблизить к естественному виду, делая его более живописным и привлекательным для отдыха и вне купального сезона. Водный объект, используемый только для купания, обладает ограниченной способностью к регенерации.

Важнейшее условие пригодности водного объекта для купания — безупречное качество воды. Его постоянно контролируют органы здравоохранения согласно существующим правилам и инструкциям. В компетенцию органов надзора входит выдача и изъятие разрешений на использование водных объектов для купания. Необходимые условия для организации купания — надлежащий надзор, достаточное количество санитарных сооружений, наличие свободного пространства и места для стоянки автомобилей.

Берега в местах купания обязательно должны быть пологими. Минимальный уклон составляет 1 : 5 (20 %). Еще лучше, если уклон составит 1 : 15 или вообще будут созданы широкие зоны мелководья перед пляжем, рассчитанные на людей, не умеющих плавать, и для детских игр. Такие пологие откосы сооружают до глубины 2 м. Зоны купания людей, не умеющих плавать, обязательно четко огораживают, а на крупных водоемах, где имеются сооружения для занятий другими видами водного спорта, всю зону для купания ограничивают буями или другой маркировкой.

Предпочтительнее располагать пляж на северном берегу, как на наиболее солнечном месте. Такое же место есть и на восточной стороне, но туда сносит попадающий в озеро мусор, который загрязняет пляж. В зонах тростника опасность загрязнения незначительна.

При хорошем качестве песка устраивают широкие пляжи. Предела их ширине нет, все решают местные условия. Обязательно надо учитывать дифференциацию всей зоны купания. Разнообразная форма этой зоны создает возможности для разных видов отдыха и позволяет более интенсивно использовать территорию.

То же самое касается и прилегающих к водоему лужаек для отдыха, а также зон для игр. Здесь учитываются такие требования, как защита от ветра, создание затененных мест, тихих лужаек, открытых площадок для игр с мячом и т. п. Целесообразно проло-

жить четкую границу между пляжем и газоном, например дорожку. Прокладку остальных дорожек сводят до минимума.

Размещение автомобильных стоянок на газоне с деревьями следует рассматривать как временное. Существуют более удачные решения, когда автотурист со всей экипировкой для пикника может подъехать к открытым площадкам, не приближаясь на автомобиле к воде.

Все искусственные насаждения, создаваемые вокруг рекультивируемого объекта, требуют на начальной стадии их развития защиты от вандализма, проявляющегося в период массового отдыха людей в летнее время. Даже еще до завершения работ по рекультивации и созданию водного объекта его обычно используют для купания. Чтобы намеченные и необходимые насаждения на берегу или на открытых площадках могли выполнять желаемые функции (защита берега от разрушения, ограждение, защита от ветра), нужно их защитить от посетителей. В связи с этим поначалу не обойтись без изгороди, как бы не эстетично она ни выглядела.

Надо определиться, до какого предела можно использовать водный объект в целях отдыха, сколько можно предусмотреть причалов для лодок, открытых площадок, прибрежных зон и, наконец, стоянок для автомобилей.

Исходить следует из качества воды. Надо предвидеть, какую техногенную нагрузку может выдержать водный объект определенного размера без нанесения вреда качеству воды.

В качестве приближенной ориентировки при планировании служат следующие данные. Площадь акватории водного объекта, используемого для купания, должна составлять не менее 5 га. На каждого посетителя должно приходиться 20 м² акватории. По протяженности пляж может занимать не более 1/3 берега. На каждого посетителя должно приходиться не менее 10 м² открытых площадок и около 5 м² площади автомобильной стоянки.

Из 1000 посетителей в воде находятся 100. Пловцу требуется 3 м² акватории, не умеющему плавать — 1,5 м². Для открытых купален действуют следующие нормы распределения территории, %: 10 — водной поверхности; 10 — древесно-кустарниковых насаждений; 10 — дорог и стоянок; 5 — строительных сооружений (кабины для переодевания и т. д.); 65 — открытых площадок (лужайки для отдыха, игр).

Для водного спорта применимы следующие параметры: парусные лодки в движении — 1,2...1,5 на 1 га акватории; парусные лодки на якоре — 2,5...3; весельные лодки и т. п. — 3...5 на 1 га акватории.

Рекультивация торфяников. Торф — это относительно молодое геологическое образование, образующееся в результате отмирания болотной растительности при избыточном количестве влаги и не-

достаточном доступе кислорода. По внешнему виду торф представляет собой волокнистую (при малой степени разложения) или пластичную (при высокой степени разложения) массу. Конечный продукт распада растений в условиях повышенной влажности — гумус, в том числе гуминовые кислоты, которые придают торфу коричневую или черную окраску. Торф в естественном состоянии содержит большое количество воды, чем он резко отличается от других видов твердых ископаемых топлива — бурого и каменного углей.

Скопление торфа на определенной площади в виде однородных или различных по генезису и мощности слоев называют торфяной залежью, которая в неосушенном состоянии имеет глубину более 0,7 м, образуя геологические запасы торфа. Отложения меньшей глубины, примыкающие непосредственно к границам геологических запасов, называют *окрайками*.

Участок земной поверхности с торфяной залежью по нулевой глубине ее залегания (включая крайки) называют *торфяным месторождением*.

Слой торфа, состоящий из остатков растений, является первичной классификационной единицей.

Торф имеет сложный химический состав, который определяется условиями генезиса, химическим составом растений (торфообразователей и степенью разложения). Элементарный состав торфа, %: углерод 50...60, водород 5...6,5, кислород 30...40, азот 1...3, сера 0,5...2,5 органической массы.

В органической массе торфа содержатся водорастворимые вещества — 1...5 %, битумы — 2...10, легкогидролизуемые соединения — 20...40, целлюлоза — 4...10, гуминовые кислоты — 15...50, лигнин — 5...20 %.

Химический состав древесины и торфа практически идентичен, отличается только процентным содержанием кислорода и азота, а вот присутствие в торфе серы дает в результате взаимодействия с кислородом сернистый газ (SO_2), который раздражающе действует на верхние дыхательные пути человека и глаза, и сероводород (H_2S) — токсичное газообразное вещество.

В зависимости от условий образования торфяного болота выделяют два основных типа торфа, различающиеся по агротехническим свойствам.

Низинный торф накапливается в пониженных местах, обводненных грунтовыми и поверхностными водами. После отмирания растений (осоки, кустарников, деревьев) и их разложения, образуется слабокислая, высокозольная коричнево-черная масса, похожая на чернозем, которая обладает богатым содержанием питательных веществ.

Верховой торф откладывается в повышенных местах болота,

при увлажнении, в основном атмосферными осадками. Верховой торф сильноокислый, малозольный, волокнистый желто-коричневого цвета, формируется преимущественно из сфагновых мхов.

На свойства торфа сильное влияние оказывает степень разложения — показатель, выражающий содержание в массе торфа разложившейся гумусовой части. Торф высокой степени разложения более ценный и по цвету темнее. В естественной залежи торф имеет влажность 85...94 %, т. е. в 1 т содержится 850...940 кг воды и лишь 60...150 кг торфа.

Зольность торфа оценивают по содержанию в сухом торфе минеральных составляющих. Зольность торфа обычно находится в следующих пределах: для верхового — 5...15 % и для низинного — 10...25 %. В естественном сложении в торфе имеется избыток закисных форм железа. Содержание органики в торфе составляет 75...90 %. Пористость торфа составляет 0,70... 0,95, а плотность — 80...500 кг/м³. Торф является мощным водопоглотителем — 1 кг торфа может удерживать до 15 кг воды, также он обладает большой поглотительной способностью по отношению ко многим элементам. Классификация видов торфов приведена в таблице 5.3. Химические свойства торфяных почв приведены в таблице 5.4.

5.3. Классификация видов торфа

Тип	Подтип	Группа	Вид
Низинный	Лесной	Древесная	Ольховый, березовый, еловый, сосновый низинный, ивовый
		Древесно-травяная Древесно-моховая	Древесно-осоковый, древесно-тростниковый, древесно-гипновый, древесно-сфагновый низинный
	Топяной	Травяная	Хвощовый, тростниковый, вахтовый, осоковый, шейхцериевый низинный
		Травяно-моховая	Осоково-гипновый низинный, осоково-сфагновый низинный
		Моховая	Гипновый низинный, сфагновый низинный
	Переходный	Лесной	Древесная
Древесно-травяная Древесно-моховая			Древесно-осоковый переходный, древесно-сфагновый переходный
Топяной		Травяная	Шейхцериевый переходный, осоковый переходный
		Травяно-моховая Моховая	Осоково-сфагновый переходный Гипновый переходный, сфагновый переходный
Верховой	Лесной	Древесная	Сосновый верховой
		Древесно-травяная	Сосново-пушицевый, сосново-сфагновый
		Древесно-моховая	

Продолжение

Тип	Подтип	Группа	Вид
	Топяной	Травяная	Пушицево-сфагновый, шейцериновый верховой
		Травяно-моховая	Пушицево-сфагновый, шейцериново-сфагновый
		Моховая	Фускум-торф, медиум-торф, комплексный верховой, сфагно-мочажинный

5.4. Агрохимические свойства торфяных почв (подвижные формы по Кирсанову)

Почвы болот	Степень разложения, %	Зольность, %	Общий азот, т/га	рН, КСl	Подвижные формы, мг/100 г почвы	
					P ₂ O ₅	K ₂ O
Верховых	5...15	1...3	0,1...0,3	2...4	1...5	5...10
Переходных	10...20	4...5	0,3...1,4	3...4,5	5...10	10...15
Низинных:						
слабозольных	15...25	5...10	1...2	4...5	5...12	10...15
среднезольных	20...30	10...15	1,5...3	4,5...5,5	10...18	10...20
высокозольных	25...40	15...20	2,5...5	5...6	15...20	15...25

Торфяная почва, оставшаяся после разработки месторождения, относится к среднезольным (зольность — 10 %) и имеет следующие химические свойства: рН 4,5; N — 1,5 т/га; P₂O₅ — 15 мг/100 г почвы; K₂O — 20 мг/100 г почвы.

Водно-физические свойства торфов и подстилающих пород приведены в таблице 5.5.

Основные показатели, характеризующие торфяное сырье как торфяное топливо, — степень разложения, влажность, зольность, теплота сгорания и плотность объемной массы торфа.

5.5. Водно-физические свойства торфов и подстилающих пород

Почва, породы	Плотность, т/м ³	K _ф , м/сут	H _к , м	P, %	Водоотдача, относит. ед.
Ат — торф:					
верховой	0,05...0,1	0,3...0,8	0,55...0,65	90...95	0,02...0,1
переходный	0,11...0,2	0,5...1,5	0,6...0,8	85...90	0,05...0,1
низинный	0,2...0,3	1...2	0,65...0,9	75...85	0,08...0,14
AG — суглинок оглеенный	1,4...1,6	0,1...0,3	1...2	45...50	0,01...0,03
G — подстилающая порода:					
сулинок легкий	1,3...1,5	0,6...1	1...1,5	40...45	0,05...0,08
супесь	1,3...1,5	0,8...1,5	0,4...0,6	35...40	0,08...0,14
песок	1,5...1,6	1...2	0,1...0,2	30...40	0,1...0,2

Степенью разложения торфа, или его гумификацией, называют содержание в нем бесструктурной массы — гумуса в процентах по

отношению ко всей массе торфа. По этому показателю торфяные залежи разделяют на залежи низкой степени разложения — до 20 %, средней — 20...35 и высокой — более 35 %.

Влажностью торфа называют отношение количества влаги, содержащейся в образце, к массе влажного образца (относительная влажность) или к массе сухого (абсолютная влажность), выраженное в процентах.

Зависимость относительной влажности торфа в естественном сложении неосушенной залежи от типа залежи и степени разложения торфа приведена в таблице 5.6.

5.6. Зависимость относительной влажности неосушенной залежи от типа залежи и степени разложения торфа

Тип залежи	Степень разложения, %				
	10	20	30	40	50
Верховой	94,6	93,2	91,8	90,4	89
Низинный	93	91	89	87	85

Зависимость между естественной влажностью W и степенью разложения торфа R выражается следующими эмпирическими уравнениями: для верхового торфа $W = 96 - 0,14R$; для низинного торфа $W = 95 - 0,2R$.

После осушения торфяного месторождения средняя влажность верховой залежи понижается на 2,5...3 %, а низинной — на 3,5...5 %.

Расчет массы товарного торфа проводят с пересчетом на расчетную или условную влажность. Масса товарного торфа при условной влажности

$$P_2 = \frac{P_1(100 - W_1)}{100 - W_2},$$

где P_1 — масса торфа при фактической (естественной) влажности, т, W_1 и W_2 — естественная и условная влажность торфа, %.

Условную влажность для кускового торфа принимают равной 33 %; для фрезерного (на топливо) и для подстилки — 40; для компостов — 55 %.

Зольностью торфа называют отношение массы минеральных составных частей к массе абсолютно сухого торфа, выраженное в процентах. Зависимость между зольностью A и степенью разложения R можно описать уравнениями:

для верхового торфа

$$A = 1,5 + 0,07R;$$

НИЗИННОГО

$$A = 3,0 + 0,2R.$$

Средние значения степени разложения, зольности и естественной влажности для разных групп торфа приведены в таблице 5.7.

5.7. Средние значения степени разложения, зольности и естественной влажности групп торфа

Тип торфа	Группа	Средний показатель, %		
		степень разложения	зольность	влажность
Низинный	Древесная	50	12	87
	Древесно-травяная	45	9	88
	Древесно-моховая	40	7	90
	Травяная	30	7	91
	Травяно-моховая	30	6	91
	Моховая	20	6	92
Переходный	Древесная	50	5	88
	Древесно-травяная	40	4	89
	Древесно-моховая	35	55	90
	Травяная	35	5	92
	Травяно-моховая	35	4,3	91
	Моховая	50	4,5	91,5
Верховой	Древесная	55	3,5	87
	Древесно-травяная	50	3,4	88
	Древесно-моховая	40	3	88
	Травяная	45	3	90
	Травяно-моховая	30	2,5	92
	Моховая	15	2,5	93

Теплотой сгорания торфа называют количество тепла, выделяемое одной весовой единицей топлива при полном его сгорании. Для сравнения различных видов природного топлива по теплотенности служит так называемое условное топливо с теплотой сгорания 30 000 кДж/кг.

Средние значения теплоты сгорания различных видов торфяного топлива следующие, кДж:

Топливо	Торфяной кокс	Торфяные брикеты	Торф кусковой	Торф фрезерный
Значение	30 500	17 600	12 600	10 900

Торф добывают для использования в энергетике, промышленности, сельском и городском хозяйстве. В результате добычи торфа происходит нарушение земель. По материалам Государственного доклада «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1996 году» общая площадь нарушенных зе-

мель при добыче полезных ископаемых и геологоразведочных работах составила 697,6 тыс. га, нарушенных при торфоразработках — 300,5 тыс. га.

За последние десятилетия наиболее актуальной в России становится проблема лесных и торфяных пожаров. Чаще горят ранее выработанные торфяники, защита которых от пожаров — своевременная их рекультивация.

Лесные и торфяные пожары чрезвычайно опасны, поскольку, как правило, быстро распространяются, охватывая большие территории. Этот процесс сопровождается плотным задымлением и интенсивным тепловым излучением. Пожары возникают как в результате воздействия природных явлений (пожары от молний), так и антропогенных факторов. По данным Минприроды РФ, 14 % лесных и торфяных пожаров возникают от грозовых разрядов, а остальные по вине человека. Таким образом, основная причина возникновения лесных и торфяных пожаров — человеческий фактор.

Лесные и торфяные пожары при провоцирующих метеорологических и гидрогеологических условиях (высокая плюсовая температура воздуха, сильный ветер, малое количество осадков, низкое содержание влаги в почвенном и подпочвенном слоях, низкий уровень грунтовых вод) охватывают большие территории, нанося ущерб не только лесному фонду, но также социальной сфере и экономике России. При этом нарушается хозяйственная деятельность и причиняется значительный экологический ущерб на больших по площади территориях. Например, в 1998 г., по данным Федеральной службы лесхоза России, экономический ущерб, нанесенный лесными и торфяными пожарами, был оценен в 3 млрд руб., экологический — в 45 млрд руб.

Лесные и торфяные пожары влияют на изменение экологической обстановки, например, после пожара остаются пирогенные залежи, состоящие из золы и пепла, задымление атмосферного воздуха усиливает парниковый эффект, вызывая повышение температуры в приземном слое, а продукты горения, содержащиеся в воздухе, негативным образом влияют на окружающую среду и здоровье человека.

По статистическим данным Минприроды, в России ежегодно возникают от 10 до 35 тыс. лесных и торфяных пожаров, охватывающих площадь 0,35...2,5 млн га, а за последние пять лет среднегодовая площадь одного пожара увеличилась в 1,8 раза.

Рекультивация земель, нарушенных в результате добычи торфа. Ускорить вовлечение выработанных торфяников в хозяйственный оборот и уменьшить риск их стихийного возгорания возможно путем их рекультивации. Рекультивация выработанных торфяников зависит от направления

возможного последующего использования нарушенных земель, способа добычи торфа, водного режима, возраста выработки, степени задернения и т. д.

Характерная черта выработанных торфяных месторождений — существенное различие физических свойств оставшегося слоя торфа и нижележащей породы, выраженное резким переходом от рыхлого торфа к минеральному грунту. Почвенный профиль имеет трехслойное строение, состоящее из верхнего придонного слоя торфа, переходного и подстилающей породы.

В придонном слое торф характеризуется рядом морфологических признаков и степеней разложения. Одно из неблагоприятных свойств торфа — его высокая влагоемкость. Для этого же слоя характерна неудовлетворительная водопроницаемость. Интенсивность просачивания осадков связана с состоянием почвенных коллоидов. В засушливые периоды коллоиды свертываются, и водопроницаемость возрастает. В дождливую погоду коллоиды набухают и тормозят передвижение влаги в силу слабой капиллярной связи между торфом и подстилающей породой.

Переходный слой между подстилающей породой и торфом, как правило, сильно гумусирован и оглеен, обладает большой плотностью и вязкостью, сдерживает фильтрацию нисходящего тока воды, затрудняет использование ее растениями, тормозит распространение корневой системы в подпахотные горизонты. Высохший контактный слой приводит к тому, что растения потребляют воду только из торфяного горизонта, а в периоды снеготаяния или обильных атмосферных осадков создаются условия появления верховодки в торфяной почве. В связи с этим почвы в выработанных торфяниках часто переувлажнены, что отрицательно сказывается на их освоении. Подстилающая порода представлена в основном песчаными, речными и озерными отложениями.

С точки зрения экономической целесообразности и охраны природных ландшафтов направление дальнейшего использования выработанных торфяных месторождений определяется в основном геоморфологическими условиями образования торфяного месторождения. В зависимости от того, в какую геоморфологическую группу входит месторождение, рекомендуют и направление использования выработанного пространства после выемки торфа. Например, при расположении месторождения на склонах надпойменных террас или староречий предпочтительнее сельскохозяйственное использование; возможно многоцелевое использование выработанных торфяников, расположенных в сточных котловинах на равнинных землях.

Выработанное месторождение, находящееся в бессточных котловинах на поймах или в бессточных межморенных котловинах на участках обвалованной поймы, в дальнейшем, как правило, ис-

пользуют как водохозяйственное, а при расположении в неглубоких междуречных впадинах — как лесохозяйственное.

Торф добывают фрезерным, гидравлическим, машиноформовочным (экскаваторным) и резным (ручным) способами.

Наибольшее распространение получил фрезерный способ добычи торфа. При послойно-поверхностном фрезеровании залежей торфа образуются участки с выровненной поверхностью дна забоев, заключенные между валовыми каналами, располагаемыми друг от друга через 500 м, которые называют фрезерными полями. Длина валовых каналов может достигать 3 км. Внутри каждое фрезерное поле поделено регулирующей сетью каналов на прямоугольные карты шириной по 20 м в залежах верхового и переходного типов торфа и по 40 м — в залежах низинного торфа. Картовые каналы имеют глубину 0,5...1 м, а ширину по верху — 1,5...3 м.

Дневная поверхность участков временного складирования добытого торфа на 0,3...0,5 м выше поверхности выработанного пространства, а в отдельных случаях — на 2,5 м. Мощность оставшегося слоя торфа в карьере составляет 0,1...0,7 м, а в отдельных местах достигает более 1 м.

Недавно выбывшие из эксплуатации фрезерные поля практически не покрыты растительностью. Осушительная сеть имеет удовлетворительное состояние. Вдоль бровок каналов расположены кавальеры минерального грунта. Увлажненность фрезерных полей в таких условиях незначительна.

Фрезерные поля прошлых лет зарастают травой, кустарником и мелкоколесем, особенно бровки и откосы каналов, кавальеры. Осушительная сеть не работает — каналы разрушены и заилены, насосные станции осушения не работают, и выработанное пространство постепенно затапливается водой.

Карьеры гидроторфа — выработанное пространство, оставшееся после добычи торфа гидравлическим способом и представляющее собой чередующиеся котлованы, разделенные на рабочие карты перемычками, имеющие сравнительно правильную, обычно прямоугольную, форму с размерами сторон: ширина до 60 м и длина до 200 м. Максимальная глубина выработки до 5 м, длина сезонных проходов агрегатов до 2 км. Рабочие карты отделены друг от друга поперечными перемычками шириной по верху 0,6...1 м, а сезонные проходы агрегатов — продольными перемычками шириной по верху около 4 м. В заброшенных карьерах гидроторфа перемычки разрушены, заросли кустарником и мелкоколесем, а мелководные участки карьера — тростником и рогозом. Как правило, карьеры гидроторфа заполнены водой, оставшимся торфом и замусорены вымытыми из залежи древесными остатками.

Карьеры машиноформовочной добычи торфа образуются после

выработки торфяного месторождения экскаваторным способом и представляют собой выемки в виде чередующихся траншей и перемычек. Траншеи имеют ширину 4...10 м и достигают длины, равной 2 км. Траншеи по длине через каждые 10...80 м разделены поперечными перемычками шириной 0,5...2,5 м. Глубина траншей зависит от первоначальной мощности залежи торфа, возможной глубины его экскавации и обычно не превышает 4 м. После прекращения добычи торфа машиноформовочным способом перемычки и дно траншей завалены пнями и покрыты древесной растительностью. Траншеи заполнены водой и на мелководных участках зарастают тростником, рогозом и осокой.

Карьеры резной добычи торфа — участки торфяных месторождений, изрытые отдельными ямами при ручной добыче торфа на топливо, для внесения в почву на садово-огородных участках и для других непромышленных целей. Они чаще всего имеют неправильную форму со сложной конфигурацией границ. Глубина их достигает 2 м. Ширина перемычки между ними зависит от густоты ям.

Неэксплуатируемые участки, противопожарные зоны, поля сушки, окрайки, дамбы, поверхность которых выше выработанных площадей, часто захламлены, заросли кустарником и сорной травой.

Техническую рекультивацию выработанных месторождений торфа, как правило, выполняют в три этапа:

подготовительный;

создание осушительно-увлажнительной системы, обеспечивающей быстрый отвод воды с площадей во влажные периоды и увлажнение корнеобитаемого слоя почвы в засушливые периоды, а также обеспечение увлажнения корнеобитаемого слоя почвы путем шлюзования в вегетационный период;

технической рекультивации — проведение культуртехнических и планировочных работ.

Заканчивают техническую рекультивацию послеосадочным ремонтом осушительной сети, укреплением откосов и дна каналов, сооружением устройств наблюдения за водным режимом в корнеобитаемом слое почвы и выполнением других видов работ.

К рекультивации желательнее приступать не позднее чем через год после окончания добычи торфа.

В подготовительный период перед проведением технической рекультивации отлавливают и переселяют в специальные места обитания ценные породы животных (бобров, ондатру и т. д.).

Создание осушительно-увлажнительной системы включает переустройство существующей осушительной сети. Магистральные, валовые каналы или коллекторы, а также нагорные и водоподводящие каналы, как правило, не переустраивают. Картовые кана-

лы-осушители при необходимости углубляют и расширяют, а ненужные засыпают. При сельскохозяйственном направлении рекультивации торфяников расстояние между осушителями в залежах низинного торфа принимают 80, 120, 160, 200 м, в залежах верхового торфа — 60, 80, 100, 120 м, а при лесохозяйственном — 100 и 200 м. В торфяных грунтах минимальную глубину осушителей принимают 1,2 м, а в минеральных — 1 м. Уклон дна каналов-осушителей принимают не менее 0,0003, а в условиях плоского рельефа местности 0,0002. Поперечное сечение открытой сети обычно устраивают трапецидальной формы. Минимальную ширину канала по дну принимают в зависимости от вида используемой строительной техники, например для экскаваторов с обратной лопатой — 0,4 м, для драглайнов — 0,6 м. При углублении существующих каналов ширину по дну принимают равной полуторной длине ковша экскаватора. Устойчивое состояние откосов каналов зависит от вида грунтов и глубины канала. Значения коэффициентов заложения откосов канала, обеспечивающих их устойчивое положение, зависят от глубины каналов и вида грунтов. Например, при H до 1,5 м $m = 1...2$, при $H = 1,5...2,5$ м $m = 1,5...2,5$, при $H > 2,5$ м $m = 1,5...3,5$. При этом меньшие значения коэффициентов заложения откосов соответствуют каналам, устраиваемым в устойчивых связных и полусвязных грунтах, большие значения соответствуют каналам, устраиваемым в неустойчивых, оплывающих грунтах (пески пылеватые, сапропели и др.).

В процессе рекультивации стараются сохранить существующие проводящую и ограждающую сети. Учитывая, как правило, неудовлетворительное состояние этих сетей, их расчищают от завалов и обрушений, планируют откосы и углубляют каналы.

Все картовые переезды и временные гидротехнические сооружения на магистральных и валовых каналах разбирают. Взамен их строят постоянные. Затем вручную или специальными машинами сводят древесно-кустарниковую растительность вдоль водоприемника и магистрального канала. Бульдозером разравнивают отвалы грунта, расположенные вдоль каналов.

Переустройством осушительной сети при рекультивации выработанных фрезерных полей особых затруднений не вызывает. Площади уже осушены, проходимость землеройной техники обеспечена. Обычно земляные работы начинают с углубления или расчистки водоприемника и магистрального канала. Затем углубляют или прочищают проводящую сеть второго порядка — валовые каналы или коллекторы. И в последнюю очередь нарезают регулируемую сеть — осушители. При наличии вдоль магистральных и коллекторных каналов несработанных подштабельных полос или кавальеров минерального грунта эти каналы засыпают при разравнивании подштабельных полос и кавальеров, а затем на расстоя-

нии 50...100 м параллельно им нарезают новые. Если картовые каналы имеют малую глубину (до 0,5...0,8 м) и ширину по дну (до 1 м) и вдоль бровок расположены кавальеры минерального грунта, то в таких случаях все старые картовые каналы засыпают, а затем нарезают новые осушители.

Переустройство осушительной сети на площадях выработанных торфяных карьеров экскаваторным и гидравлическим способами добычи из-за сильной их изрытости и обводненности выполнить в той же последовательности, как на фрезерных полях, нельзя.

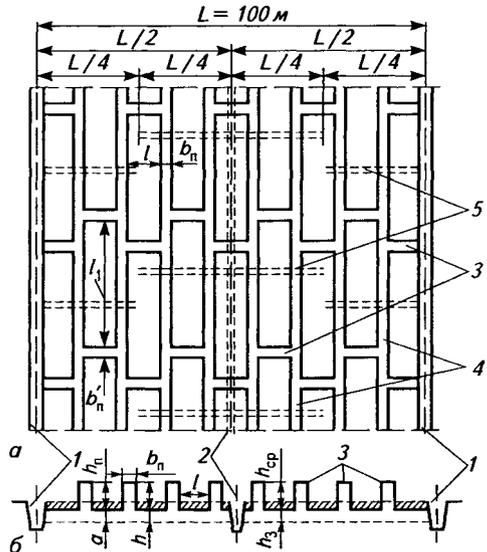
Строительство осушительной сети и разравнивание перемычек при проведении технического этапа рекультивации карьеров торфа выполняют обычной строительной и мелиоративной техникой и сводится оно к поэтапному выполнению строительных работ. Предварительно территорию карьера осушают, строя временную осушительную сеть, которая обеспечивает сброс воды с карьеров, и проводят работы по разравниванию перемычек и недоборов. Затем строят постоянную регулирующую сеть каналов, обеспечивающую норму осушения для заданных конкретных условий.

Схема устройства временной осушительной сети на площадях выработанных торфяных карьеров машиноформовочным способом показана на рисунке 5.12.

При предварительном осушении по периметру карьера отрывают каналы или используют построенные ранее в период добычи торфа каналы-осушители, обеспечивающие отвод воды в водо-

Рис. 5.12. Схема расположения временной осушительной сети в карьере экскаваторного способа добычи торфа:

a — план карьера; b — поперечное сечение карьера; 1 и 2 — постоянный и временный осушители; 3 и 4 — поперечные и продольные перемычки; 5 — временные прокопы; l и l_1 — расстояния между продольными и поперечными перемычками; b_n и h_n — ширина и высота продольной перемычки; h — глубина временного прокопа в продольной перемычке; a — заглубление временного прокопа ниже дна карьера; h_{cp} — глубина срезы перемычек при разравнивании по поверхности карьера; b_n — ширина поперечной перемычки; h_n — глубина засыпки временных прокопов; L — расстояние между постоянными каналами-осушителями, построенными в период добычи торфа



приемник и используемые впоследствии как постоянные. Далее между постоянными каналами вдоль продольных перемычек устраивают временные осушители, также связанные с водоприемником. Перпендикулярно осушителям в шахматном порядке устраивают поперечные прокопы длиной, равной половине расстояния между временными осушителями, а расстояние между поперечными прокопами принимают равным расстоянию между поперечными перемычками. Поперечное сечение каналов временной осушительной сети имеет трапецеидальную форму, с шириной по дну 0,4...0,6 м и заложением откосов $m = 0,25...0,5$. Прокопы в продольных перемычках заглубляют на 0,5 м ниже дна карьера. Постоянную регулирующую сеть возводят с учетом образующейся поверхности после разравнивания перемычек и недоборов грунта в карьере.

Культуртехнические работы включают расчистку площадей от древесно-кустарниковой растительности, которая, как правило, заключается в ее срезке, корчевании, фрезеровании и запашке.

Корчевание состоит из очистки рекультивируемых участков от кустарников и пней вместе с корнями корчевателями, экскаваторами и бульдозерами. При корчевании вместе с корнями удаляется достаточно большое количество торфа, что является существенным недостатком корчевания. Чтобы избежать потерь торфа, выкорчеванную массу 2...3 нед подсушивают, а затем отряхивают от торфа, перемещая подсушенную массу бульдозером. Далее выкорчеванный древесный материал собирают в валы, а затем вывозят за пределы рекультивируемой площадки на уничтожение или на дрова. Образовавшиеся при отряхивании кучи торфа разравнивают бульдозером по всей площади или подсыпают в места выклинивания минерального грунта и там разравнивают.

При расчистке площадей от древесно-кустарниковой растительности, состоящей из неивовых пород, деревья диаметром стволов до 0,2 м срезают кусторезами или бульдозерами, а корневую систему выкорчевывают корчевателями или запахивают кустарниково-болотными плугами. В этом случае увеличивается производительность, сохраняются торф и гумусовый горизонт и можно работать в зимний период по снежному покрову слоем до 0,3 м.

Сведенную древесно-кустарниковую растительность при корчевании или срезке сгребают кустарниковыми граблями в валы, размещаемые параллельно на расстоянии 100...150 м друг от друга. При сгребании допускаются потери (3...4 %) мелких остатков древесины.

Площади от древесно-кустарниковой растительности расчищают фрезерованием мелиоративной машиной МТП-42, предназначенной для глубокого фрезерования торфяной залежи и измельчения древесно-кустарниковой растительности до размера, не пре-

вышающего 0,2 м, с заделкой ее в почву на глубину до 0,4 м. После фрезерования площади вспахивают с целью заделки оставшихся древесных остатков. Преимущество фрезерования заключается в том, что после него получают готовое поле для сельскохозяйственного использования. Следует отметить, что заделываемая измельченная древесина вводится в баланс органического вещества почв рекультивируемых площадей, однако при большом количестве снижает плодородие за счет изъятия части азота из почвы для разложения древесины.

После фрезерования поверхность торфяного поля прикатывают водоналивными катками с целью предотвращения ветровой эрозии и создания лучшего водного режима.

При зарастании рекультивируемых площадей кустарником высотой до 6 м и диаметром стволов у корневой шейки до 0,09 м расчистку выполняют запашкой кустарника кустарниково-болотными плугами под пласт. Количество незаделанных древесных остатков на поверхности не должно превышать 1 %. Требуется 3...4 года для перегнивания запаханной древесины, в течение которых ее нельзя перепахивать. При этом способе исключены такие операции, как сбор древесины в валы, вывоз и уничтожение ее.

В отдельных случаях древесную растительность сводят вручную. Древесину, извлеченную из залежи в процессе добычи торфа, а также порубочные остатки древесины и пни из валов используют в качестве твердого топлива. В противном случае древесину сжигают на месте или вывозят на минеральные земли и там сжигают, соблюдая правила пожарной безопасности, в период с ноября по март.

При рекультивации площадей выработанных месторождений торфа под залесение по согласованию с лесхозами сведенную древесную растительность оставляют на месте, предварительно утрамбовав ее тракторами.

Наиболее дорогостоящая и трудоемкая работа — выравнивание (планировка) рекультивируемой поверхности, которую выполняют в два этапа.

Первый этап — грубое выравнивание, включающее срезку подштабельных полос, засыпку старой осушительной сети на фрезерных полях, разравнивание продольных и поперечных перемычек и дамб торфяных карьеров, засыпку ям, старых пожарных водоемов, западин и глубоких понижений. Грубое выравнивание выполняют бульдозерами после проведения осушительных работ.

Второй этап — качественное выравнивание поверхности, способствующее улучшению организации поверхностного стока, обеспечению равномерности увлажнения верхнего слоя почвы, улучшению условий применения широкозахватной и скоростной сельскохозяйственной техники. Качественное выравнивание по-

верхности выполняют длиннобазовыми планировщиками, которыми засыпают понижения глубиной до 0,25 м и шириной до 20...30 м, после первичной обработки площадей в сочетании со вспашкой, дискованием и прикатыванием.

Биологическую рекультивацию выработанных месторождений торфа выполняют после завершения технической рекультивации. Биологическая рекультивация выработанных торфяников при их использовании 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 эффективности выращиваемых культур (табл. 5.8).

5.8. Продолжительность биологической рекультивации в зависимости от мощности и свойств оставшегося после разработки слоя торфа

Торф	Степень разложения	Мощность, м	Продолжительность биологической рекультивации, лет
Низинных болот	Высокая	Более 3	1
		0,3...0,5	2
	Средняя	Более 0,5	2
			3
Верховых и переходных болот	Слабая	—	3
		—	3

В качестве предварительных культур используют однолетние травы на зеленые удобрения, семена, зеленый корм, сено и травяную муку. Для этого выполняют первичную обработку почвы, выбирают предварительные культуры для посева, вносят химические мелиоранты и удобрения.

Первичная обработка способствует сохранению и накоплению влаги, очищению почвы от сорной растительности, регулированию водного и питательного режимов, повышению в ней процессов аэрации, активации биологических процессов, разложению вредных соединений. В состав операций первичной обработки входят вспашка, дискование, фрезерование и прикатывание. Вначале проводят плужную вспашку с последующей разделкой пласта дисковой бороной. Качество разделки пласта зависит от угла атаки дисковых батарей, направления перемещения бороны относительно разделяемого пласта и глубины вспашки.

В случае неглубокой вспашки пласт разделяют под небольшим (8...11°) углом атаки дисковых борон, а дискование проводят сначала вдоль пласта, чтобы исключить извлечение древесных остатков и дернины на поверхность, а затем под некоторым углом к

основному направлению пласта для выравнивания поверхности. При глубокой вспашке пласт разделяют под большим (до 90°) углом атаки дисковых борон, а дискование проводят диагонально-перекрестным способом перемещения дисковой бороны. Дискование болотно-торфяных почв начинают спустя 3...5 сут после вспашки, а на минеральных участках — вслед за вспашкой.

На мелкозалежных торфяных почвах более рациональный способ первичной обработки — фрезерование. Оно способствует сохранению органического вещества торфяной залежи, не нарушает естественного распределения биологической активности по слоям торфа.

После первичной обработки почвы рекультивируемые площади прикатывают до посева или после посева с целью уплотнения и выравнивания поверхности для равномерной заделки семян по глубине. Кроме того, прикатывание способствует увлажнению пахотного слоя торфа за счет капиллярного подпитывания из нижних слоев почвы, предотвращая иссушение верхнего слоя. В качестве предварительных культур рекомендуют возделывать овес, корнеплоды, картофель, озимую рожь, горохоовсяную смесь, люпин. Выбор предварительных культур определяется потребностью в них хозяйств, почвенно-климатическими условиями района, степенью разложения торфа. При возделывании предварительных культур происходит усадка и уплотнение торфа, усиливаются микробиологические процессы и минерализация его.

Придонный слой торфа многие столетия находился в анаэробных условиях, и поэтому процессы разложения органического вещества и накопление подвижных форм элементов питания в первые годы освоения протекают медленно. Источником питания в этот период для растений служат в основном вносимые минеральные и органические удобрения. Дозы минеральных удобрений зависят от сроков и способов их внесения, планируемой урожайности, обеспеченности почвы элементами питания, коэффициента использования растениями питательных веществ из удобрений, биологических особенностей культур. Для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур на выработанных торфяниках в качестве минеральных рекомендуют вносить калийные удобрения. Минеральные удобрения вносят в почву как осенью под озимые, так и ранней весной как подкормку или при посеве. Средние нормы калийных удобрений при окультуривании 1 га выработанных площадей торфяных месторождений составляют:

Культура	Травы однолетние и многолетние	Корнеплоды и клубнеплоды	Зерновые и бобовые
Доза, кг	180...240	200...240	150...180

Органические удобрения вносят в зависимости от мощности остаточного торфа, но не менее 30...40 т/га рекультивируемой площади.

Наибольшей эффективности в период биологической рекультивации достигают при выращивании культур в таком порядке:

первый год: викоовсяная травосмесь; горохоовсяная травосмесь; люпиноовсяная травосмесь;

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 участках, незатопляемых в половодье. Способ обработки торфяной почвы зависит от засоренности остатками древесно-кустарниковой растительности и мощности оставшегося слоя торфа. Последний год биологической рекультивации заканчивается планировкой торфяной поверхности.

Лесохозяйственную рекультивацию проводят также после мелиоративного обустройства территории и создания условий для выращивания лесных культур. При лесоразведении используют районированные породы деревьев, предварительную посадку пионерных культур не проводят. Затопленные карьеры можно использовать для регулирования поверхностного стока, в качестве источников орошения, рыбоводных предприятий, зон отдыха, звероводческих хозяйств и охотничьих угодий.

Наибольшей эффективности в период биологической рекультивации достигают при выращивании культур в следующем порядке:

первый год: викоовсяная травосмесь; горохоовсяная травосмесь; люпиноовсяная травосмесь;

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.

Рекультивируемые земли и прилегающая к ним территория после завершения всего комплекса работ должны представлять собой оптимально организованный и экологически сбалансированный устойчивый ландшафт.

Методы и способы обнаружения и тушения торфяных пожаров. Своевременно нереккультивированные торфяные выработки по тем или иным причинам возгорают, нанося соответствующий ущерб окружающей среде. Борьба с лесоторфяными пожарами включает в себя профилактические меро-

рия, направленные на ограничение возможности возникновения и распространения пожаров, а также мероприятия по своевременному обнаружению возникающих пожаров и собственно тушение лесоторфяных пожаров.

При *тушении лесоторфяных пожаров* мероприятия по обнаружению и тушению их проводят:

специализированная служба авиационной охраны лесов (авиалесоохрана);

лесопожарные подразделения;

персонал и технические средства лесхозов (лесная наземная охрана);

персонал и технические средства других предприятий и организаций, привлекаемых для борьбы с огнем в условиях высокой и чрезвычайной степени горения лесов.

Специализированная служба авиационной охраны лесов представляет собой сеть, состоящую из региональных авиабаз и отделений с приданными им воздушными судами, средствами пожаротушения, связи и транспорта. Из общей активно охраняемой площади территория, обслуживаемая авиацией, охватывает около 725 млн га лесов и около 110 млн га оленьих пастбищ.

При этом около 550 млн га лесов, расположенных в таежной зоне с редкой сетью дорог, отнесены к районам преимущественного применения авиационных сил и средств пожаротушения, а остальные 175 млн га — к районам преимущественного применения наземных сил и средств пожаротушения с авиапатрулированием.

Борьба с пожарами и ликвидация пожара состоит из остановки пожара, его локализации, дотушивания и охраны.

Защита лесов от пожаров, своевременная их локализация и тушение — актуальные государственные проблемы. Лесные пожары чрезвычайно опасны, поскольку, как правило, быстро развиваются, охватывают большие территории, сопровождаются плотным задымлением и интенсивным тепловым излучением. Они наносят огромный ущерб национальной экономике, нередко приводят к гибели людей.

Пожары возникают на всей территории страны (в обжитых регионах с развитой инфраструктурой; в глухих, недоступных в летний, самый пожароопасный период таежных массивах), будучи поистине катастрофическим явлением.

Ликвидация массовых лесных и торфяных пожаров часто осложняется труднодоступностью к очагам возгорания и удаленностью их от источников водоснабжения, нерациональностью, а порой и невозможностью привлечения автотранспорта для доставки воды. Торфяные пожары имеют свою особенность — горение происходит на глубине. Для локализаций очага пожара применяют

бульдозеры, при помощи которых вскрывают землю до минерального слоя, что не всегда возможно, особенно в лесу; для тушения торфяных пожаров используют воду из пожарных машин или водоемов. Для тушения необходимо не менее 500...600 л воды на 1 м². Тушат торф, поливая его из шланга или подавая воду в торф через стволы, заглубленные на 0,8...1 м.

Основные способы тушения лесных пожаров: захлестывание или забрасывание грунтом кромки пожара, устройство оградительных и минерализованных полос и канав, тушение пожара водой или растворами огнетушащих химикатов, отжиг (пуск встречного огня).

Тушение торфяных пожаров чрезвычайно сложно и трудно, когда горит слой торфа значительной толщины. Торф может гореть во всех направлениях независимо от направления и силы ветра, а под почвенным горизонтом он горит и во время умеренного дождя и снегопада.

Главный способ тушения подземного торфяного пожара — окапывание горячей территории торфа оградительными канавами шириной 0,7...1 м и глубиной до минерального грунта или до уровня грунтовых вод. При проведении земляных работ используют мелиоративную и строительную технику: канавокопатели, экскаваторы, бульдозеры, грейдеры, другие машины, пригодные для этой работы. Окапывание начинают со стороны объектов и населенных пунктов, которые могут загореться от горящего торфа. Для тушения горящих штабелей торфа, а также подземных торфяных пожаров пользуются водой в виде мощных струй, заливая места горения торфа под землей и на поверхности земли.

При ликвидации горения необходимо:

определить направление и скорость движения огня, толщину слоя торфа и его однородность, наиболее опасные участки, а также наличие строений и угрозы для них;

наличие всех водоисточников, их объем и возможность использования для прекращения пожара;

создать при необходимости запас воды путем строительства новых водоемов и поднятия уровня воды в каналах;

наметить рубежи локализации и распределять по ним силы и средства;

организовать круглосуточное несение постовой и дозорной службы силами населения в поселке, а также в местах, где возможен переход огня с торфяного предприятия или месторождения;

руководствоваться заблаговременно разработанными планами эвакуации населения при эвакуации людей из населенных пунктов;

организовывать защиту не горящих штабелей путем обильного

их увлажнения распыленными струями, забрасывая сырой торфяной массой и выставляя посты;

использовать стволы большой подачи при тушении горящих штабелей;

пользоваться при тушении кускового торфа стволами с распыленными струями воды со смачивателями с одновременным удалением (очесыванием) сгоревшего слоя торфа;

использовать технические средства для создания противопожарных разрывов и разборки штабелей имеющимися на торфопредприятии машинами;

выставить после ликвидации пожара штабелей торфа постовых и установить общее наблюдение за территорией.

В целях профилактики торфяных пожаров необходимо развивать дорожную сеть с кюветами и пожарными водоемами, а на объектах осушения проектировать и строить противопожарные разрывы с каналами и отделять такими каналами суходолы от болот.

Наиболее эффективно при борьбе с крупными лесными пожарами создание противопожарных барьеров — участков территории, препятствующих распространению и развитию лесных пожаров. Действие противопожарных барьеров основано на том, что они или не содержат горючих материалов, или количество, состав и свойства их таковы, что первичные загорания на территории барьера маловероятны, а движущиеся фронты огня не находят на таких участках материала для поддержания горения.

Противопожарные барьеры разделяют на четыре основные группы:

практически негорючие противопожарные барьеры, включающие участки земной поверхности, которые не содержат горючих материалов, это прежде всего водные преграды (реки, озера, водохранилища, каналы, не заросшие растительностью), дороги, вспаханные поля (не торфянистые), песчаные гряды, каменистые россыпи;

с ограниченным количеством горючих материалов, т. е. с недостаточным содержанием в почве материалов, способствующих поддержанию интенсивного горения. К ним относятся лесные дороги, тропы, минерализованные полосы, разрывы, просеки;

с наличием в почве горючих материалов низкой пожарной опасности: участки с листовым или смешанным древостоем, полосы из люпина, картофеля, полосы лесной территории, обработанные растворами замедлителей горения;

комбинированные, включающие в различных сочетаниях барьеры указанных трех групп, например, противопожарные разрывы с дорогами и минерализованными полосами, листовым древостоем (опушки), расчлененным минерализованными полосами, и т. д.

Создание противопожарных барьеров третьего типа предусматривает применение специальных составов — замедлителей горения.

Для тушения лесоторфяных пожаров необходимо обеспечить следующие интенсивности подачи воды q :

Вид пожара	q , л/(м ² · с)	Время подачи $t_{\text{туш}}$
Низовой	0,1...0,15	30...60 с
Верховой	1	30...60 с
Торфяной	0,1...0,15	72 ч

Приведенные данные свидетельствуют о достаточно высоких значениях интенсивности подачи воды в сравнении с тушением пожаров в жилых домах, когда $q = 0,1$ л/(м² · с).

Поэтому для тушения крупных лесоторфяных пожаров требуется использование специальной техники с высокой производительностью пожарных насосов.

Практика тушения очагов возгорания торфа показывает, что для их ликвидации требуются большие финансовые затраты, использование технических средств и трудовых ресурсов. Однако при наличии всего этого даже в достаточных объемах не всегда удается добиться желаемого эффекта. Это объясняется физико-химическими свойствами торфа, так как торф, являясь мощным водопоглотителем, обладает большой поглотительной способностью по отношению ко многим химическим элементам и особенно к воде, что предопределяет большой расход воды и затрат огнетушащих растворов для его тушения.

Еще один неблагоприятный фактор, осложняющий борьбу с пожарами на торфяниках, — высокая теплопроводность торфа из-за содержания в нем битумов (до 25 %). Как уже отмечалось ранее, горение битумов сопровождается повышением температуры горения и выделением парообразного парафина, который при встрече с холодными частицами торфа обволакивает их водонепроницаемой пленкой. В связи с этим наблюдается устойчивое горение нижних слоев, а тушение поверхностных очагов водой или непродолжительными осадками не дает желаемого результата.

При тушении горящих штабелей, а также подземных торфяных пожаров используют воду, формируемую в виде мощных струй. Водой заливают места горения торфа под землей и на поверхности земли. Опыт показывает, что в тушении могут быть использованы полевые магистральные трубопроводы (ПМТ), состоящие на оснащении Вооруженных сил Российской Федерации.

Комплекты ПМТ оснащены трубопроводами с условными диаметрами труб 100 и 150 мм, предназначенными для транспорти-

ровки светлых нефтепродуктов (при необходимости — нефти и воды) в полевых условиях на большие расстояния.

Каждый комплект представляет собой инженерно-технический комплекс, состоящий из труб, средств перекачки и другого оборудования, с помощью которого можно развернуть магистральную линию или необходимое число локальных линий суммарной протяженностью до 150 км.

Для раннего обнаружения лесоторфяных пожаров и оперативного тушения выявленных очагов загораний разработан передвижной комплекс с соответствующими противопожарными средствами. В него входят: один грузо-пассажирский автомобиль УАЗ «Фермер», три разборные телескопические мачты с телеустановками «Балтика-3», системы автономного питания, средства связи и прибор спутниковой навигации. Для тушения обнаруженных очагов загораний в каждом автомобиле установлен бак для воды, бак для пенообразователя, мотопомпа с пенным насадком, катушка с рукавной линией, торфяные стволы ТС-1М, ранцевые огнетушители, зажигательный аппарат и шанцевый инструмент. Для размещения людей предусмотрены также один вагон-прицеп и две палатки. Лесная площадь, охраняемая комплексом, в среднем составляет 17 000 га.

Разработаны экономичные летательные аппараты и космические средства. Это пилотируемые мотопланеры, использующие в режиме планирования энергию воздушных потоков, мотодельтапланы, вертолеты, парaplаны, аэростаты с гиросtabilизированной платформой и беспилотные летательные аппараты.

Для обнаружения мест вероятных лесных пожаров сразу на больших территориях разработано программное обеспечение, позволяющее в автоматическом или полуавтоматическом режиме обрабатывать спутниковую информацию, полученную с метеорологических спутников. Для обнаружения скрытых очагов горения по их тепловому излучению еще в 70-х годах прошлого столетия было предложено использовать в условиях задымления инфракрасную аппаратуру. Для обнаружения пожаров с воздуха были разработаны лесопожарный авиадетектор «Тайга» и тепловизор «Тайга-2», которые успешно прошли испытания на торфяных пожарах. Для обнаружения скрытых очагов горения при сравнительно небольшой площади торфяного пожара был разработан ручной ИК-прибор «Кромка».

Для тушения лесных низовых и торфяных пожаров разработан целый ряд лесопожарных мотопомп подачей от 1 до 12 л/с и давлением $(5,5...12) \cdot 10^5$ Па, атм. Для повышения эффективности тушения лесоторфяных пожаров наземными командами рекомендуется применять систему торфяных стволов-пик ТС-1М, в комплект которой входит высокой производительности мотопомпа,

подающая универсальный огнетушащий раствор, обладающий хо-рошими смачивающими и пенообразующими свойствами.

Для тушения низовых пожаров, являющихся первопричиной многоочаговых торфяных пожаров, используют лесные ранцевые огнетушители. Для тушения лесоторфяных пожаров применяют ручной ранцевый огнетушитель тройного действия ОР-2 и ранцевый автоматический огнетушитель с газогенератором ОЛУ-16. Огнетушители могут работать компактной или распыленной струей.

Для пуска отжига от опорных полос, проведения контролируемых профилактических выжиганий, сжигания порубочных остатков разработан зажигательный аппарат АЗ-4.

Большие трудности возникают при борьбе с пожарами в лесах и на болотах, непроходимых для наземной техники, и там, где вблизи от пожара нет водосточников. В такой сложной обстановке существенную помощь при тушении пожара может оказать авиация. В 90-х годах прошлого века в России было разработано авиационное сливное оборудование для самолетов Ан-2, Бе-12 и Ил-76 с баками вместимостью соответственно 1,2; 6 и 42 м³. Более высокой огнетушащей эффективностью обладают вертолеты ВСУ-5А, оснащенные водосливными устройствами. Мягкая емкость этого устройства расположена на внешней подвеске и управляют ей с борта вертолета. В зависимости от грузоподъемности вертолета вместимость мягкой емкости можно регулировать специальной манжетой в диапазоне от 1,3 до 2,5 м³ для вертолетов Ми-8Т, Ми-8МТ и от 3 до 4,5 м³ для вертолетов Ми-8МТВ, Ка-32.

Наряду с профилактикой пожаров важная часть успешной борьбы с ними — их раннее обнаружение и отслеживание динамики их развития, т. е. ведение пожарной разведки.

Наиболее перспективный способ, позволяющий осуществлять пожарную разведку в условиях сильной задымленности, — использование аппаратуры, работающей в инфракрасной области электромагнитного излучения, поскольку это излучение обладает большей проникающей способностью в аэродисперсных системах, чем видимое излучение. Для оценок предельных значений задымленности, при которых можно реально наблюдать очаг пожара, были выполнены лабораторные и натурные эксперименты с использованием лазера ЛГ-73 и комплектов тепловизионной аппаратуры отечественного производства КТА-1 и ТВ-03.

Также для тушения торфяных пожаров можно использовать устройство АСП-500, представляющее собой пластиковую цилиндрическую емкость вместимостью 450 л, диаметром 0,5 м, длиной около 3 м и заполненную огнетушащим составом. Внутри емкости, вдоль продольной ее оси, размещен линейный детонатор, генерирующий цилиндрическую волну сжатия, способную разрушать оболочку и распылять огнетушащий раствор в радиусе 15 м.

Высота волны разлета огнетушащего состава 3,5...4 м. Мощность взрывного устройства в тротиловом эквиваленте составляет 5 % массы заряда, что позволяет считать разрушение АСП-500 безопасным в части осколочного и фугасного воздействия за пределами 15-метровой зоны.

Федеральным центром ВНИИ Гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций разработана система мониторинга и прогнозирования пожарной обстановки на территории Российской Федерации, складывающейся в результате возникновения и развития лесных и торфяных пожаров. Эта система позволяет оценить риски воздействия поражающих факторов лесоторфяных пожаров на объекты антропогенной среды, оперативно выявить очаги возгорания и спрогнозировать динамику их развития с целью своевременного принятия решений, направленных на смягчение последствий и снижение экономического ущерба от воздействия поражающих факторов на окружающую среду. Ядром данной системы является ГИС «Экстремум».

С 1997 г. в МЧС России функционирует территориально-распределенная подсистема приема и обработки авиационно-космической информации, охватывающая большую часть Евроазиатского континента. Подсистема включает наземные станции приема и обработки получаемых данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), находящихся в гг. Москва, Красноярск, Владивосток, Элиста с космических аппаратов: NOAA, «Метеор-ЗМ», «Тетра». Подсистема включает также средства телекоммуникации и связи, позволяющие передавать информацию в оперативном режиме с географической привязкой к системе координат.

Территориально-распределенная подсистема приема и обработки авиационно-космической информации предназначена для оперативного выявления природных и техногенных чрезвычайных ситуаций, мониторинга потенциально опасных территорий и объектов, а также обеспечения информацией органов управления федерального и территориального уровней.

Для решения задачи мониторинга пожарной обстановки Центр приема и анализа авиационно-космической информации постоянно проводит мониторинг всей территории Российской Федерации. Видовая и аналитическая информация о местах возникновения пожаров и их параметрах по каналам связи в оперативном режиме передается в Центр управления, в кризисных ситуациях — МЧС России, МЧС Республик Российской Федерации, Региональным центрам по делам ГОЧС МЧС России, Главные управления по делам ГОЧС субъектов Российской Федерации, Администрации субъектов Российской Федерации.

Технология мониторинга лесных (степных, торфяных, крупных техногенных) пожаров позволяет МЧС России получать и анали-

зировать пожарную обстановку 3...4 раза в сутки с определенных территорий по всей территории Российской Федерации и приграничных районов.

Почвоохранные системы земледелия в снижении пожароопасных ситуаций на осушенных торфяниках. Одним из способов борьбы с лесоторфяными пожарами может служить правильно организованная культура земледелия.

На осушенных торфяных почвах используют четыре культуры земледелия — черную, смешанную (северную), покровную (римпаускую) и немецкую песчаную смешанослойную (рис. 5.13). Три последние можно рассматривать как почвоохранные.

Черная культура земледелия предполагает использование торфяных почв без внесения минеральных добавок.

Прямое использование торфяных почв в земледелии без дополнительных мероприятий по изменению зольности поверхностного слоя или его перекрытия минеральным субстратом получило название *черной культуры земледелия* на низинных осушенных болотах.

При черной культуре особенно на фоне использования почв для возделывания пропашных растений органическое вещество торфа интенсивно разлагается.

Черный (или обыкновенный) способ культуры торфяных почв наиболее широко применяют в России при освоении низинных болот. Выращивают растения на хорошо обработанном, удобренном торфянике при отрегулированном водно-воздушном режиме. Особый интерес представляют вопросы регулирования режима грунтовых вод, поскольку темпы сработки торфа резко замедляют-

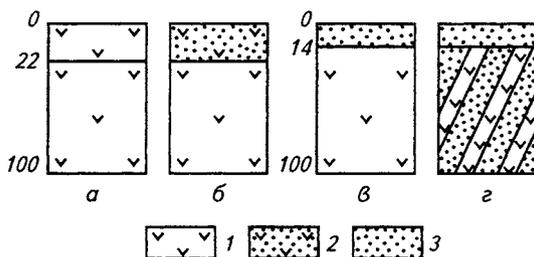


Рис. 5.13. Схема изменения строения почвенного профиля при применении разных культур земледелия на осушенных болотных массивах:

а — черная (обыкновенная); б — смешанная (северная); в — покровная (римпауская), или насыпная; г — немецкая песчаная смешанослойная культура земледелия: 1 — торф; 2 — торф; смешанный с песком; 3 — песок, супесь

ся, когда осушение болотных почв сопровождается поддержанием лугового типа водного режима, т. е. когда капиллярная кайма, поднимающаяся от грунтовых вод, устанавливается в поверхностных горизонтах почвенного профиля. Этим требованиям полнее всего отвечают мелиоративные системы с машинным водоподъемом (системы польдерного типа), в границах которых с помощью насосных станций можно активно регулировать уровни грунтовых вод. Однако даже регулирование уровней грунтовых вод не исключает самовозгорания торфяников.

Наибольшего противопожарного эффекта можно достичь применением песчаной культуры земледелия. Песчаные культуры земледелия наиболее широко применяют в странах северной и средней Европы (Финляндии, Швеции, Норвегии, Дании, Германии). В России такие системы использования торфяных почв распространены ограниченно. Тем не менее они были достаточно широко известны еще в начале XX столетия как пескование торфяных почв.

Под *пескованием* (синонимы — северная, смешанная, шведская культуры земледелия на осушенных торфяных почвах) понимают внесение песка в пахотный горизонт. Пескование в Германии, где этот прием рассматривают как обязательный при освоении болотных органогенных почв, называют смешанно-песчаной культурой. Нормы внесения песка обычно 300...600 т/га. Вначале песок распределяют с помощью тележек или автомобилей с автоматическими разбрасывателями, дискут тяжелыми дисковыми бородами и затем тщательно перемешивают с торфом пахотного горизонта в процессе многолетней систематической пахоты. Этот способ агромелиорации способствует улучшению физических и химических свойств, водного, теплового и питательного режимов торфяных почв и в целом снижению пожароопасности.

При создании покровной культуры на поверхности торфяной почвы формируют пахотный песчаный горизонт мощностью 16 см с последующей припашкой 2...3 см торфа для его обогащения органической массой. Этот прием получил название *покровной*, или *римпауской*, культуры (по фамилии землевладельца, впервые в 1887 г. предложившего такой способ использования осушенных торфяных почв). Для формирования песчаного пахотного слоя на поверхности осушенных торфяных почв необходимо разместить 1800...2200 т/га песка. Бурты вывезенного на поле песка тщательно распределяют по спланированной территории грейдерами.

Процесс формирования песчаного горизонта дорог и трудоемок. Но он быстро (через 2...3 года) окупается значительным дополнительным урожаем (до 20...30 % и более). Кроме того, продолжительность последствий этого эффективного агромелиоративного мероприятия остается неопределенно долгой. Покровная

культура осушенных торфяных почв имеет и другие существенные преимущества. Резко повышается несущая способность почв, улучшаются условия работы сельскохозяйственной техники и транспортных средств, снижается или полностью исключается угроза пожаров и сокращается опасность эрозии. Наконец, покровная культура существенно снижает вынос органической массы торфа с урожаем. Известен положительный опыт полной механизации этих работ. Так, в последние годы в Германии широко используют шнековое устройство, смонтированное на тракторе. Особенность такой машины заключается в том, что шнеком на поверхность извлекают песок, непосредственно подстилающий толщу торфа (рис. 5.14). С помощью специального устройства пе-

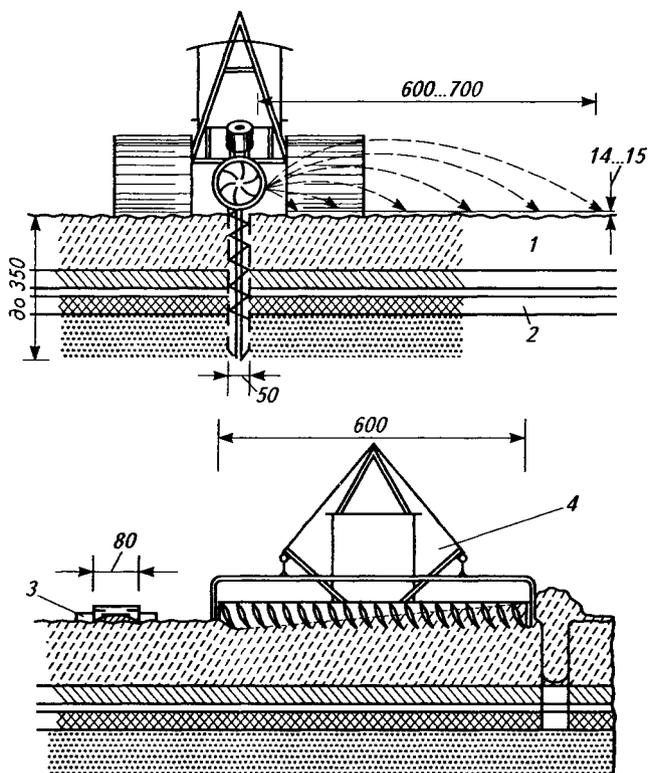


Рис. 5.14. Машина для извлечения на поверхность осушенных торфяных почв песка (супеси) и формирования насыщенного минерального пахотного горизонта (размеры в см):

1 — торф; 2 — песок; 3 — фреза; 4 — шнек-планировщик

сок выбрасывается на поверхность лентой шириной 6...7 м за один проход машины. Затем глубокая борозда, образующаяся после прохода шнека, заполняется торфом с помощью фрезы.

Следует отметить и то, что покровная культура расширяет возможность использования осушенных торфяных почв. После применения этой культуры земледелия можно возделывать не только многолетние травы, но и пропашные, а также зерновые культуры. В северных странах европейского континента (Швеции, Дании, Германии и др.) в условиях покровной культуры используют тысячи гектаров таких земель, на которых размещаются сенокосы, пастбища, пропашные (кукуруза, турнепс, свекла, картофель и др.), зерновые. Немецкая песчаная смешанослойная культура земледелия на осушенных торфяных почвах получила широкое распространение в Голландии, Дании и Германии на ранее осушенных массивах. Ее используют на болотных почвах с мощностью слоя торфа 0,5...2,4 м, осушенных систематической сетью открытых каналов, врезанных в мощную толщу подстилающего песка.

Подобные болотные почвы глубоко вспахивают плугами специальной конструкции В. Оттомайера с удлиненным винтовым отвалом. Плуг позволяет производить глубокую вспашку с оборотом всего торфяного слоя. В результате такой обработки торфяные горизонты размещаются в почве в виде отдельных пластов под углом 45°, между которыми залегает мощная прослойка песка. На поверхности таких торфяных почв одновременно формируется так же, как и при римпауской культуре, песчаный пахотный горизонт мощностью 14...16 см. В этот горизонт вносят органические и минеральные удобрения. Преимущество смешанослойной песчаной культуры торфяных почв заключается в том, что в этом случае тормозится разложение органики, погребенной под слоем песка, а в торфяных, косо поставленных слоях растения находят доступную влагу. Пограничные песчаные блоки обеспечивают быстрый дренаж избыточной влаги в открытую сеть каналов или в закрытый дренаж.

Такая обработка дает торфяным почвам все преимущества римпауской культуры и одновременно исключает ее существенную негативную особенность. Смешанослойная культура предотвращает возможность вторичного переувлажнения почв в результате их переуплотнения при систематической обработке.

Пескование снижает опасность возгорания с поверхности осушенных торфяных почв, а покровная культура практически исключает эту угрозу.

Смешанную и покровную культуры земледелия на осушенных торфяных почвах рассматривают как активные способы их защиты от пирогенного воздействия.

Рекультивация торфяников после пирогенной их деградаци и. Пожары на осушенных торфяных почвах — широко распространенное явление, но по ряду причин недостаточно изученное. Вместе с тем площади таких пожарищ следует рассматривать как территории экстремального экологического бедствия из-за тотальной потери почвенного слоя. Осушенные торфяные почвы в этом случае преимущественно замещаются минеральными пирогенными образованиями, отличающимися полной или частичной потерей плодородия. Однако отрицательная роль пожаров этим не исчерпывается. Они ограничивают реальные ареалы местообитания и деятельности человека, снижают видовое разнообразие флоры и фауны, являются причиной огромных одномоментных выбросов в атмосферу диоксида и окислов азота, миграции нитратов в грунтовые воды, усиливают парниковый эффект, что подтверждает многофакторное отрицательное влияние пожаров на экологическое состояние значительных территорий. Процесс уничтожения осушенных торфяных почв имеет явную тенденцию быстрого роста.

Опасность пожаров осушенных торфяных почв велика еще и потому, что уровни грунтовых вод, особенно на самотечных осушительных системах или нестабильно управляемых польдерах, подвержены значительным колебаниям. В период летней межени нередко происходит отрыв капиллярной каймы грунтовых вод от нижних горизонтов торфяной залежи, быстрое иссушение профиля торфяных почв и их сгорание. При этом на поверхность выходит бесплодный оглеенный кварцевый песок.

Территория, охваченная пожаром, полностью лишается плодородного почвенного органогенного слоя мощностью 0,5...1,2 м. Поверхность пожарища почти не занята растительностью и подвержена активной ветровой эрозии. Она обычно покрыта слоем желто-охристой золы, легко развеваемой в сухом состоянии. Ее мощность колеблется от 1...2 до 10...16 см, в зависимости от типа пирогенных образований.

На месте плодородных осушенных почв возникают вторичные пирогенные образования. Примерный профиль сгоревшего торфяного массива и структура пирогенных образований показаны на рисунке 5.15. Вторичный пирогенный покров массива после пожара весьма неоднороден по своим свойствам. На сгоревшем торфяном массиве могут быть следующие виды вторичных пирогенных образований, с которыми может быть связана дифференциация способов восстановления их плодородия. Их морфологическое строение характеризуется следующими особенностями.

Пирогенно-перегнившие образования образуют значительную (до 40 %) площадь территории сгоревшего массива. Их верхний горизонт мощностью 6...10 см образован массой желто-охристой золы,

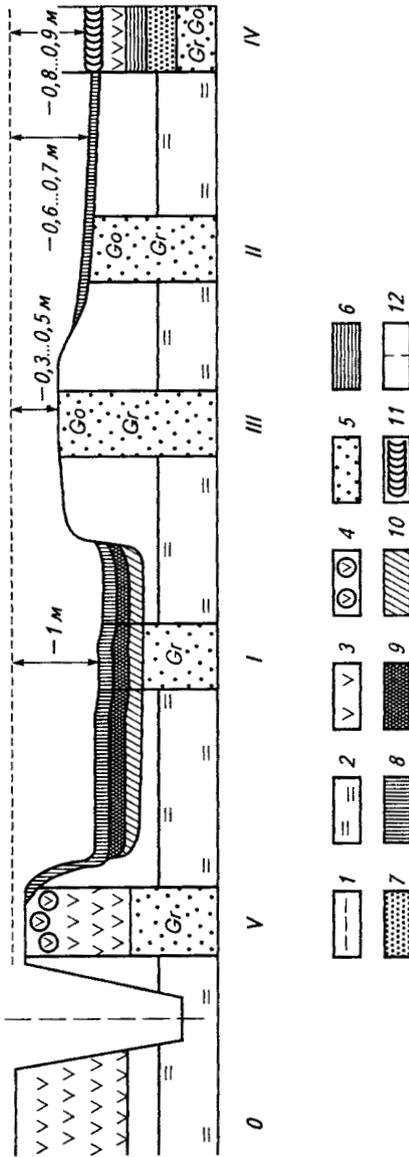


Рис. 5.15. Схематический профиль сторешего торфяного массива и структура пирогенных образований:
 I — пирогенно-перетойный; II — пирогенно-песчаный; III — песчаный; IV — пирогенно-дресивно-песчаный; V — пирогенно измененные торфяные почвы; 0 — торфяные маломощные почвы до пожара; 1 — поверхность до пожара; 2 — уровень грунтовых вод; 3 — торфяной горизонт; 4 — горизонт спекшегося торфа; 5 — песок оглеенный; 6 — суслинок; 7 — сулесь; 8 — горизонт золы; 9 — углистый торф; 10 — перегнойный горизонт; 11 — плотный слой стволов обгоревшей древесины; 12 — ось осушительного канала; G_0 , G_1 — оглеенные горизонты

содержащей значительное количество гидроокиси железа. Ниже залегает темноокрашенный слой супеси, мощность которого варьирует от 10 до 20 см. Глубже залегает светло-серый оглеенный песок.

Пирогенно-песчаные образования (15...20 % площади) отличаются от пирогенно-перегнойных отсутствием углистого и перегнойного слоев. Последний в некоторых случаях может присутствовать в профиле, но его мощность при этом не превышает 3...5 см. По всем другим признакам морфология пирогенно-песчаных образований совпадает с морфологией пирогенно-перегнойных.

Поверхностный ярко-охристый слой золы обязан своим происхождением полностью сгоревшему слою торфа. Чем мощнее был слой торфа в исходном состоянии, тем больший образуется на поверхности слой золы. Находящийся непосредственно под слоем золы материал — углистая масса не полностью сгоревшего торфа. Перегнойный горизонт унаследован вторичными пирогенными образованиями от исходных торфяных почв. Он формируется в начальной стадии их развития и затем, после накопления органического материала, залегает на контакте торфяной почвы и верхней кровли минерального дна болот.

Песчаные образования генетически связаны с подъемами минерального дна болотного массива. Они приподняты на 0,3...0,5 м над окружающей поверхностью. Песчаные образования занимают около 30 % территории пожарища. Морфологическое строение профиля следующее: 0...8 см — смесь песчаных зерен кварца и углистого крупитчатого материала темно-серого цвета, уплотнена. Верхние 5 см более рыхлые и несколько темнее за счет большей концентрации углистой массы в его составе, 8 (12)...87 см — плотный белесый однородный песок с ржавыми пятнами.

Пирогенно-древесно-песчаные образования на участках исходного торфа с массой погребенной древесины, перекрытые с поверхности слоем плотной спекшейся ствольной древесины, мощностью 0,1...0,3 м. Древесные остатки образуют своеобразный панцирь на поверхности оглеенного минерального субстрата. Отличие этих образований от остальных — присутствие в верхней части пирогенно преобразованной древесины, сохранившей свою структуру.

Необходимо отметить неоднородность сгорания торфяной толщи подобных образований. В итоге формируется специфический рельеф, представляющий собой сочетание повышенных участков, вертикально обрывающихся и переходящих в понижения, поверхность которых покрыта слоем золы (3...5 см), сходной с золой пирогенно-перегнойных образований. Причина неоднородности связана с локальным скоплением погребенной древесины в исходном торфе, а также с дефляцией золы с повышенных участков

микрорельефа в понижения. В профиле подобных почв возможен активный капиллярный переток влаги от зеркала грунтовых вод к поверхностным слоям профиля. За счет дополнительного увлажнения выгорание непосредственно прилегающего к поверхности минерного дна болота слоя древесного торфа не становится тотальным.

Пирогенно измененные торфяные почвы имеют определенное локальное распространение на осушенных массивах польдеров. Они строго приурочены к трассам открытых каналов и простираются по всей длине открытых дренажных линий узкой лентой шириной 5...8 м. Их органические горизонты могут иметь мощность 0,7...0,8 м. Особенность этих образований — интенсивное иссушение поверхностных слоев торфа (мощностью 20...25 см). В условиях высоких температур происходит необратимая коагуляция органических коллоидов. Торф в этом случае приобретает высокую гранулометрическую прочность и утрачивает способность к набуханию и смачиванию. Классификация пирогенных образований полей приведена в таблице 5.9.

5.9. Пирогенные образования после сгорания осушенных торфяных почв полевых ландшафтов

Вид вторичных пирогенных образований и почв	Исходный вид осушенной торфяной почвы (до пожара)	Особенности морфологии профиля вторичных пирогенных образований и почв		
		мощность сохранившегося торфа	мощность слоя золы, см	минеральное дно болота
Пирогенно-перегнойно-песчаная	Торфяные низинные мало- и среднемощные	Нет	6...16 и более	Оглеенный песок
Пирогенно-песчаная	Низинные торфяно-глеевые	»	3...6	То же
Песчаная	Низинные торфянисто- и торфяно-глеевые	»	Менее 3	Оглеенный песок
Пирогенно-древесно-песчаная	Торфяные низинные мало- и среднемощные с включением больших масс стволовой древесины	»	Рассеянная масса золы в верхней части профиля; самостоятельный горизонт золы не выражен	Оглеенная супесь, прослой суглинка, песок
Пирогенно измененная торфяная почва	Торфяные низинные средне-мощные	70...80 % исходной мощности в верхнем полуметре. Ниже — 100%-я сохранность	1...2	Оглеенный песок

Пирогенные образования, в профиле которых произошло практически полное выгорание органогенных горизонтов или их сгорание до уровня грунтовых вод, подлежат рекультивации.

Возможны три формы использования пирогенных образований: без восстановления гипсометрического уровня сгоревшего торфяного массива; с восстановлением гипсометрического уровня сгоревшего торфяного массива; с созданием искусственной заболоченной территории.

По *первой форме освоения* территорий, нарушенных пирогенными образованиями, необходимо учитывать возможность их использования в естественном состоянии без восстановления первоначального гипсометрического уровня. Определенные виды пирогенных образований можно рассматривать как потенциальные луговые угодья. Однако в целом перспективы такого освоения для разных видов образований различны и ограничены.

Использование пирогенных образований в сложившемся состоянии в качестве земельных угодий следует рассматривать как экстенсивную форму их сельскохозяйственного использования, с учетом дифференцированного подхода к освоению в зависимости от конкретных свойств.

Поскольку пирогенные образования отличаются значительной аккумуляцией золы, их освоение целесообразно начинать на второй год после возникновения пожара, т. е. сразу после выноса основной массы углекислого калия (поташа) с паводковыми водами и атмосферными осадками.

Пирогенные образования отличаются относительно благоприятным водным режимом, но обладают низким плодородием по сравнению с другими минеральными образованиями. Их залужение возможно только после внесения значительных масс органических (до 100...150 т/га) и минеральных удобрений, а также выборочного известкования.

Несмотря на определенные различия в свойствах и плодородии все пирогенные образования при их вовлечении в сельскохозяйственный оборот находятся в неблагоприятных условиях. На большей части их площади применение обычной сельскохозяйственной техники затруднено, так как ее проходимость резко снижается из-за близкого расположения уровня грунтовых вод. Поэтому необходимо применение легких тракторов и малотоннажных транспортных средств. Также целесообразно быстро выполнять залужение пирогенных образований, так как плодородный слой золы будет не только смыт паводковыми водами и атмосферными осадками, но и активно эродирован ветром.

По *второй форме освоения* территорий, нарушенных пирогенными образованиями, предполагается интенсивное сельскохозяй-

ственное использование пирогенных образований на сгоревших осушенных болотных массивах, для чего необходимо:

восстановление исходного гипсометрического уровня сгоревшего торфяного массива до его исходных высотных отметок путем землевания территории почвогрунтовой массой, доставляемой на рекультивируемый массив;

формирование поверхностного плодородного и влагоемкого пахотного горизонта. Мероприятия по его созданию заключаются не только во внесении в поверхностные слои искусственно формируемого почвенного профиля органических и минеральных удобрений, заправки сидератов, но и в придании пахотному горизонту способности сорбировать катионы и удерживать влагу осадков. Последнее предполагает внесение в этот горизонт небольших масс суглинистого грунта. В этом случае такие минеральные вторичные антропогенные почвы можно будет использовать не только для размещения трав, но и широкого набора районированных сельскохозяйственных растений (зерновых, картофеля, овощных культур).

Третья форма освоения пирогенных образований заключается в искусственном заболачивании территории и создании на таких массивах плантаций по производству клюквы. В частности, так используют сработанные верховые и переходные торфяные массивы в Германии. Однако такое использование пирогенных образований на сгоревших низинных торфяных почвах неперспективно для территорий, приуроченных к поймам рек.

Работы по рекультивации пирогенных образований выполняют на основе проекта, для составления которого необходимо изучение рекультивируемого массива как в зоне пожарищ, так и прилегающих к нему уцелевших от пожаров территорий. Проект разрабатывают на основе материалов натуральных изысканий, принятых для мелиоративного строительства. Для этого выполняют крупномасштабную топографическую съемку массива рекультивации в масштабе 1 : 1000 или 1 : 2000 с горизонталями через 0,25 м и полугоризонталями через 0,125 м. Топографические материалы должны обеспечить возможность тщательного проектирования земляных работ, связанных с подъемом поверхности при землевании, а также планировочных работ по всей площади сгоревшего массива.

На основе полученных топографических материалов выполняют крупномасштабную почвенно-мелиоративную съемку (на негоревших массивах) и съемку пирогенных образований (в зоне пожарищ).

В составе почвенно-мелиоративных изысканий предусматривают работы по составлению агрохимических картограмм, отражающих содержание доступных форм для растений фосфора и калия, а также картограмм рН пирогенных образований. Такие карто-

граммы составляют с учетом границ пирогенных образований. Дополнительно к этому для пирогенно-перегнойных образований приводят расчет средневзвешенного содержания фосфора, калия и рН для верхнего горизонта (слой 0...20 см).

Культуртехнические изыскания выполняют в контурах пирогенных образований, в профиле которых содержится погребенная древесина. С помощью этих изысканий оценивают каменистость подстилающих моренных отложений. В случаях, когда постпирогенный период не превышает 2 лет, а на территории массива отсутствуют отрицательные формы вторичного рельефа (ямы, крупные выемки, валы и др.), культуртехнические изыскания не выполняют. На объектах с постпирогенным периодом более 2 лет предусматривают полномасштабную культуртехническую съемку с составлением культуртехнической карты с поконтурной экспликацией, поскольку такие площади заселяются кустарником и древесной растительностью. Ботаническую съемку выполняют на массивах, постпирогенный период которых равен или превышает 4 года.

Для гидрогеологической оценки рассматриваемой территории обычно используют материалы изысканий, выполненных ранее для обоснования проекта осушения. При их отсутствии выполняют новую инженерно-геологическую съемку в М 1 : 10 000 или М 1 : 25 000. Полученные материалы изысканий необходимы и достаточны для дифференциации территории по признакам заболачивания, генезису и составу почвообразующих пород.

Для проектирования мероприятий по рекультивации пирогенных образований последние объединяют в две группы:

пирогенные образования на легководопроницаемых породах, заболоченные грунтовыми водами;

пирогенные образования на тяжелых слабоводопроницаемых породах, заболоченные поверхностными водами.

Эти группы могут занимать значительные территории. Так, пирогенные образования первой группы в ареалах активного влияния грунтовых вод на легких породах занимают практически все территории пожарищ в полесских ландшафтах. Их отличительная особенность — все элементы ландшафта находятся в тесной гидрогеологической взаимосвязи. Локальное понижение уровня грунтовых вод немедленно распространяется здесь на значительные территории. Поэтому при мелкоконтурном распространении заболоченных пирогенных образований внутри крупных массивов полнопрофильных плодородных осушенных органогенных почв применение дополнительного дренажа усилит пирогенную опасность всего массива.

Вместе с тем использование дренажа для осушения пирогенных образований на тяжелых породах в условиях поверхностного заболачивания может оказаться целесообразным.

Общая принципиальная направленность мероприятий по рекультивации пирогенных образований первой формы заключается в подъеме их гипсометрического уровня до отметок, при которых обеспечивается нормальное физиологическое развитие проектируемых культур. Поскольку рекультивированные антропогенные почвы в этом случае будут иметь минеральный состав всех горизонтов профиля, то после завершения рекультивационных работ возможно размещение любых районированных культур. При этом в поймах возможно возделывание яровых культур и устойчивых к затоплению полами водами многолетних трав. В условиях внепойменных территорий на рекультивированных почвах возможно возделывание всех районированных в рассматриваемом регионе сельскохозяйственных растений.

При проектировании мероприятий по рекультивации пирогенных образований следует учитывать распространение железистых и жестких карбонатных грунтовых вод. В условиях их близкого залегания к дневной поверхности будет происходить постоянный процесс гидрогенной аккумуляции гидроксида железа и углекислого кальция в верхних горизонтах почвенного профиля. Даже при относительно невысоких концентрациях эти соединения будут оказывать отрицательное влияние на продуктивность сельскохозяйственных растений, гидрологический режим почв и работу дренажной сети. В этих случаях должны быть предприняты дополнительные мероприятия по защите почв и растений от негативного влияния этих факторов.

Вовлечения пирогенных образований в хозяйственное использование без проведения рекультивации актуально в тех случаях, когда для этого отсутствуют необходимые средства. В этой ситуации на территориях распространения пирогенных образований благодаря близкому залеганию грунтовых вод могут быть созданы фермы для разведения водоплавающей птицы, рыбохозяйственные пруды, организованы охотничьи угодья, зоны туристического рыболовства. Массивы пирогенных образований выборочно могут быть использованы для размещения плантаций ивы корзиночной и организации на этой базе кустарного производства мебели и других изделий.

5.2. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ГОРНЫХ ОТВАЛОВ И ГИДРООТВАЛОВ

Отвалы — земляные насыпи, не имеющие делового назначения, образуемые отсыпкой грунта, разрабатываемого в выемках различного назначения. Насыпи, сформированные «пустыми» горными породами, некондиционными полезными ископаемыми и хвостами обогащения, называют породными отвалами. Отвалы,

возводимые намывным (гидромеханизированным) способом, называют гидроотвалами.

Насыпи, сформированные отсыпкой твердых отходов производства и потребления без соблюдения природоохранных требований, предъявляемых к их обезвреживанию, относят к категории несанкционированных свалок.

Необустроенные бесформенные, бросающиеся в глаза отвалы обезображивают пейзаж. Отвалы, сформированные токсичными горными породами, а также отходами производства и потребления, являются источниками распространения загрязняющих веществ и наносят серьезный ущерб окружающей среде.

Ущерб, наносимый ландшафту отвалами, можно предотвратить, если правильно выбрать место для их размещения и соответствующе обустроив их, т. е. направленно превращая отвалы, по меньшей мере, в нейтральную структуру, которая снизит негативное их воздействие на природную среду и будет способствовать интеграции их в ландшафт.

Формирование и технический этап рекультивации горных отвалов.

При любых обстоятельствах формированию отвалов горных пород должно предшествовать снятие верхнего слоя почвы в его основании. При этом желательно снимать не только гумусовую часть верхнего слоя почвы, но и подстилающую породу, пронизанную корнями растений, представляющую собой важный и ценный материал для последующей рекультивации. Норму снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ устанавливают в соответствии с рекомендациями ГОСТ 17.5.3.06–95. Объемы снимаемой почвы обычно велики. Снимают верхний слой почвы и подстилающую породу отдельно, с учетом сохранения их во временных кавальерах для последующего использования при формировании рекультивационного слоя на отвале.

При добыче полезных ископаемых образуются породные отвалы. Вновь закладываемые породные отвалы по возможности должны быть плоской формы, и располагают их в отдалении от жилых массивов и промышленных площадок на участках, непригодных для хозяйственного использования (овраги, балки, отработанные карьеры и т. д.). Не допускается размещать отвалы, сложенные пиритизированными (сульфидсодержащими) фитотоксичными породами, в понижениях рельефа без предварительного проведения защитных мероприятий против геохимической миграции загрязняющих веществ.

Параметры породных отвалов должны отвечать нормативным санитарно-гигиеническим требованиям — занимать минимальную площадь при высоте, гарантирующей их устойчивость, обладать минимальным пылеобразованием, позволять совмещать операции по доставке породы, разгрузке и разравниванию ее (в необходи-

мых случаях — с уплотнением), а также проводить предупредительные мероприятия против самовозгорания породы.

Формировать отвалы начинают от границ отведенного под них участка к его центру. Это позволяет формировать рекультивационный слой на внешних откосах частично сформированного отвала, а также обеспечивает совместное складирование твердых и жидких отходов угледобычи и отходов обогащения.

При размещении отвалов в оврагах и балках необходимо предусматривать возведение земляных дамб и прудов-аккумуляторов для отвода ливневых вод от площадок отвалов. Для сброса воды из прудов строят водоотводные каналы и сопрягающие сооружения (быстроотки, перепады).

Бывают одноярусные и многоярусные отвалы. Основные геометрические параметры формируемых отвалов определяют расчетом. Обычно высоту многоярусных отвалов принимают до 40 м, а высоту каждого яруса — по 10 м. Угол наклона межъярусных откосов к линии горизонта не должен превышать: для горных пород шахт — 30...32°, для шлама обогатительных фабрик или при совместном складировании — 25...28°. Коэффициент устойчивости внешних откосов должен быть не менее 1,2.

Для работ по формированию отвалов используют бульдозеры, а при необходимости уплотнения укладываемой породы в отвал — грунтоуплотняющие машины и механизмы.

Особые требования предъявляют к формированию отвалов пустой породы при добыче каменного угля из-за способности их к самовозгоранию. В этом случае обязательно проводят профилактические работы, направленные на его предотвращение. Для предупреждения самовозгорания породных отвалов снижают содержание горючих веществ в отвальной массе и проводят профилактику против самовозгорания в процессе формирования отвала.

Тушат горящие плоские отвалы в зависимости от характера горения полным или выборочным проливом поверхностного слоя отвальных пород пульпой, приготовляемой из антипирогенных материалов. Отдельные небольшие поверхностные очаги горения на отвалах выбирают или их подавляют, засыпая негорючим материалом (инертная пыль, глинистый и песчано-глинистый материал, песок и др.), или же замывая пульпой.

Для предотвращения распространения горения со смежного горящего отвала на закладываемый или действующий негорящий отвал на сопряжении отвалов устраивают противопожарный барьер, для чего отвальную породу в местах сопряжения отвалов проливают пульпой, состоящей из глины и воды с соотношением твердого компонента к жидкому 1 : 6...1 : 8 по объему. Пульпу закачивают через инжекторы, размещаемые по сетке 1,5 × 1,5 м, или

в траншеи, отрываемые глубиной 1,5...2,5 м. Ширину барьера принимают не менее 1,5 м.

Вновь закладываемые плоские породные отвалы формируют послойно, укладывая отвальные породы с устройством пожаробезопасных заходок. Толщина слоев отвальных пород отвала не должна превышать: на индивидуальном шахтном отвале — 1 м; на отвале, общем для шахты и обогатительной фабрики, — 0,75 м; на отвале обогатительной фабрики — 0,5 м.

Пожаробезопасные заходки формируют в процессе разравнивания и уплотнения складированной породы бульдозерами в сочетании с переслаиванием отвальной массы по контуру отвала (ширина полосы не менее 3 м) негорючими материалами слоем толщиной 0,25...0,3 м (рис. 5.16).

Устойчивую форму терриконам (конической формы) или гребневидным породным отвалам, сформированным из отвальных пород, подверженных самовозгоранию, создают путем их переформирования на прежнем месте в плоские отвалы послойным перемещением отвальной массы под откос бульдозерами с верхних отметок на нижние либо путем вывоза последних самосвалами для формирования плоского отвала на новом месте с учетом требований пожарной безопасности. При переформировании терриконов и гребневидных отвалов в плоские на прежнем месте по поверхности пониженного отвала отсыпают слой суглинка толщиной 0,3...0,35 м из условия пожарной безопасности. Перечисленные мероприятия и работы относятся к техническому этапу рекультивации.

Земли, нарушенные платообразными породными отвалами, после проведения технического и биологического этапов рекультивации могут быть использованы под сенокосы, пашни, пастбища, как площадки для строительства, лесонасаждения с задерновкой участков природоохранного назначения по склонам, под зоны отдыха и спорта.

Земли, нарушенные высокими гребневидными и коническими отвалами, используют в основном под лесонасаждения с задерновкой участков природоохранного назначения, зоны отдыха и спорта.

Перед проведением биологического этапа рекультивации на сформированных поверхностях отвала создают рекультивационный слой из по-

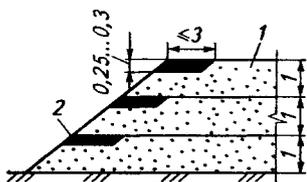


Рис. 5.16. Формирование плоского породного отвала (размеры в м):

1 — складированная горная порода; 2 — пожаробезопасная заходка из негорючего материала

тениально плодородных пород и почвы. Для этого потенциально плодородную породу и почвенный грунт забирают из временных отвалов, сформированных в период подготовки основания отвала, и наносят их поочередно на откосы и гребень отвала.

Для погрузки почвенного грунта можно применять одноковшовые экскаваторы либо фронтальные погрузчики, а в качестве транспортных средств — саморазгружающиеся на три стороны тракторные прицепы или аналогичные им автосамосвалы.

Материалы и породы, не вызывающие негативных воздействий на окружающую среду и не подверженные самовозгоранию, складировать в так называемые непородные отвалы. Это, как правило, линейно протяженные отвалы, формируемые в виде многоярусной террасированной горы (холма).

Перед формированием непородного отвала в его основании также снимают верхний слой почвы и слой потенциально плодородной породы, укладывают их отдельно во временные отвалы, которые располагают вблизи проектируемого отвала. Затем укладывают складированный материал и породы в первый ярус отвала, выполняемый высотой до 15 м с заложением откосов не менее $m = 3$ (рис. 5.17).

После завершения формирования первого яруса на отвале устраивают первую террасу в виде уступа шириной не менее 3 м. Все

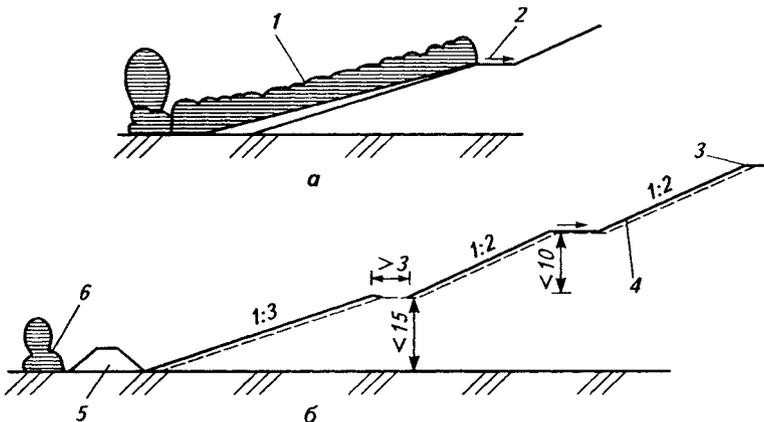


Рис. 5.17. Формирование насыпного непородного отвала в виде террасированной горы (размеры в м):

a — обустройство склона первого яруса отвала; *б* — форма склона насыпного отвала в виде террасированной горы; 1 — озеленение по нанесенному слою почвы, проводимое после завершения каждой ступени насыпки; 2 — направление уклона бермы; 3 — выступающая верхняя кромка отвала; 4 — покровный слой отвала из слоя почвы; 5 — снятый верхний слой почвы с основания отвала; 6 — окаймляющие насаждения шириной не менее 5 м

последующие ярусы формируют высотой не более 10 м с заложением откосов $m = 2$. Уступы выполняют с незначительным уклоном в сторону откоса последующего яруса. Они расчленяют откосы большой протяженности и распределяют поверхностный сток, уменьшая эрозионные процессы, и служат в качестве дорог. По завершении работ по формированию каждого яруса на откосы наносят слой потенциально плодородных пород, а по его верху — слой почвы, тем самым создают рекультивационный слой толщиной до 1 м, который поэтапно озеленяют. Такая форма отвала обеспечивает достаточно благоприятные условия для развития древесно-кустарниковой растительности.

Однако отвалы, формируемые в виде террасируемой горы, при большой высоте и размещении их на ровной местности плохо вписываются в ландшафт, даже будучи покрытыми растительностью.

Наиболее удачная форма отвала с топографической точки зрения формирования культурного ландшафта требует создания более пологих откосов слегка округленной формы в подножье с плавным переходом в естественный рельеф местности (рис. 5.18).

При создании отвалов в условиях пересеченной местности необходимо стремиться придать ему более округлую форму, способствующую достижению хорошего соответствия формы отвала рельефу местности. Однако при равной площади отчуждения земельных участков в таких отвалах помещается меньше складированного материала, чем в отвалах с крутыми склонами.

При создании отвалов округленной формы с пологими откосами обращают внимание на регулирование образующегося поверхностного стока воды с целью предотвращения возможной эрозии рекультивационного слоя и складированного материала. Для этого необходимо предусматривать прокладку уступов на от-

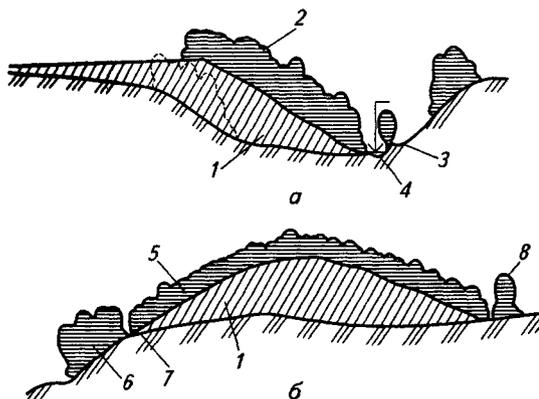


Рис. 5.18. Формирование ландшафтных отвалов:

а — в естественных понижениях; *б* — в виде достройки округлой формы, дополняющей естественный ландшафт; 1 — складированный материал; 2 — озелененная часть отвала; 3 — дорога; 4 — существующий водоем; 5 — озелененный откос, плавно переходящий в естественный рельеф местности; 6 — оставшийся зеленый массив от естественного ландшафта; 7 — защитная полоса; 8 — окаймляющая полоса зеленых насаждений, устраиваемая перед отвалом

косах или устройстве системы небольших водоотводных каналов на склонах.

Формирование и технический этап рекультивации гидроотвалов. Как уже отмечалось, что отвалы, образуемые намывным способом, называют гидроотвалами. Различают два вида гидроотвалов — отвалы, которым не требуется придавать в процессе формирования определенной конфигурации, и отвалы, намываемые по проектному профилю. В первом случае это гидроотвалы, устраиваемые путем свободного выпуска пульпы в водоем (старицу, озеро, море), а также в балку или овраг (рис. 5.19, а). Если такой возможности нет, то отвалы располагают на ровной или слабопересеченной местности вблизи устраиваемых выемок или недалеко от обогатительных предприятий с обеспечением управляемого выпуска пульпы (рис. 5.19, б).

Гидроотвалы образуют при производстве вскрышных работ в карьерах гидромеханизированным способом перед добычей полезных ископаемых и нерудных материалов, при складировании продуктов очистки (донных отложений) водных объектов в процессе их очистки.

Гидроотвалами также считают накопители жидких или пастообразных отходов предприятий лесной, бумажной, горнодобыва-

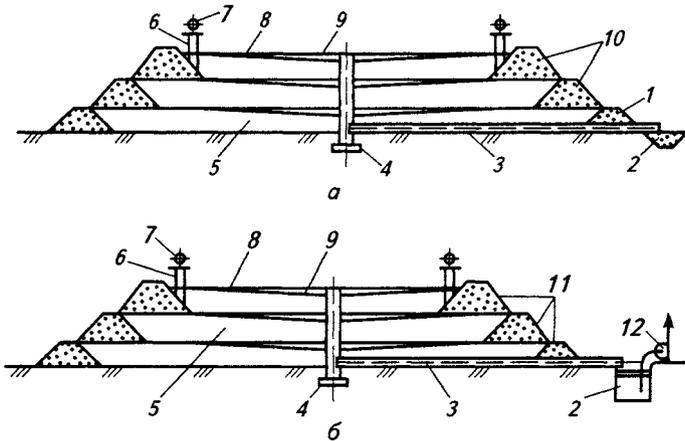


Рис. 5.19. Схема намыва:

а — гидроотвала; б — хвостов горнообогатительной фабрики в гидроотвал. 1 — дамба первичного обвалования; 2 — отводной канал; 3 — водоотводная труба; 4 — колодец для сброса осветленной воды; 5 — намываемый материал; 6 — деревянные опоры; 7 — распределительный пульпопровод; 8 — пляж намыва; 9 — прудок-отстойник; 10 — дамбы попутного обвалования; 11 — дамбы обвалования, выполняемые из минерального грунта; 12 — насосный агрегат системы обратного водоснабжения горнообогатительной фабрики

ющей и химической промышленности, в энергетике — содовых, соляных отходов, хвостов горнообогатительных фабрик, шлака и золы, других видов отходов. Эти отходы удаляют в большинстве случаев с помощью воды в виде пульпы с последующим намывом в специальные отстойники, называемые шламонаполнителями, хвостохранилищами и золошлакоотвалами.

Перед укладкой складированного материала в гидроотвалы снимают плодородный слой почвы и слой потенциально плодородного грунта с поверхности участка, отводимого под отвал, землеройно-транспортными машинами с перемещением во временные отвалы. При создании гидроотвалов в балках и оврагах предусматривают устройство сооружений для отвода поверхностных вод, поступающих с поверхности водосбора, и осветленной воды в процессе производства работ по формированию гидроотвала.

Формирование гидроотвалов проектного профиля требует устройства ограждающих дамб, предотвращающих произвольное растекание пульпы в процессе намыва. При формировании гидроотвалов на ровной местности территорию по периметру отвала ограждают дамбами первичного обвалования высотой 0,7...1,5 м, возводимыми из минерального грунта, забираемого в основании отвала. Территорию гидроотвалов, устраиваемых в оврагах, также ограждают дамбами тех же размеров, возводимых поперек оврага. По мере заполнения гидроотвала дамбы обвалования наращивают по высоте, используя намытый в гидроотвал материал, если он удовлетворяет строительным требованиям. В противном случае для этих целей необходимо запастись минеральным грунтом, который забирают из котлована, устраиваемого в пределах контура подошвы возводимого гидроотвала в объеме, достаточном для возведения ограждающих дамб в процессе намыва отвала до проектных размеров. Для предотвращения водной эрозии сформированных внешних откосов промежуточным бермам придают незначительный поперечный уклон в сторону подножья выше расположенного откоса.

Гидравлическую укладку материала в отвалы производят сосредоточенным или рассредоточенным выпуском пульпы из распределительных пульпопроводов, размещаемых на низких опорах или эстакадах.

Осветленную воду из прудка-отстойника сбрасывают через шахтные колодцы, устраиваемые в середине гидроотвала.

При формировании гидроотвала из мелкозернистых грунтов с большим содержанием глинистых частиц осветленную воду с карт намыва желательно сбрасывать в водоприемник, пропуская ее через дополнительный каскад карт-отстойников, устраиваемых в пределах формируемого гидроотвала.

При намыве отходов производства в шламонакопители или

хвостохранилища добиваются полного осаждения намываемых шламов, а сбрасываемую воду после осветления пульпы желатель-но использовать для повторного перекачивания шламов в системе оборотного водоснабжения (см. рис. 5.19, б).

Учитывая высокую производительность и комплексность выполнения земляных работ гидромеханизированным способом (разработка, гидротранспортирование и намыв — единый технологический процесс), при наличии достаточного количества воды вблизи вскрываемых карьеров и пригодности вскрышных пород для разработки их гидромеханизированным способом принимают решение по выполнению вскрышных работ гидромеханизированным способом. В практике производства вскрышных работ гидромеханизированным способом гидроотвалы занимают достаточно большие площади (от десятков до сотен гектаров), по высоте гидроотвалы достигают несколько десятков метров. Однако в строительной практике имеются примеры формирования гидроотвалов из суглинистых грунтов, например, Стрелецкий гидроотвал Семилукских карьеров занимает площадь свыше 38 га и имеет высоту 30 м.

Одна из возможных схем рекультивации гидроотвала, намытого из суглинистого грунта для целей сельскохозяйственного или рекреационного использования, показана на рисунке 5.20. После завершения работ по намыву грунта на верху отвала формируют территорию, по периметру огражденную дамбами обвалования и представляющую в поперечном сечении пляжную часть, которая состоит из трех зон.

Первая зона шириной 25...30 м, примыкающая к дамбам обвалования, образуется с уклоном до 0,03. Эта полоса достаточно быстро осушается, и через 3...4 сут после прекращения намыва по ней можно перемещаться.

Вторая зона шириной 20...25 м получается с уклоном 0,01...0,015. Консолидация грунта на этой полосе происходит в те-

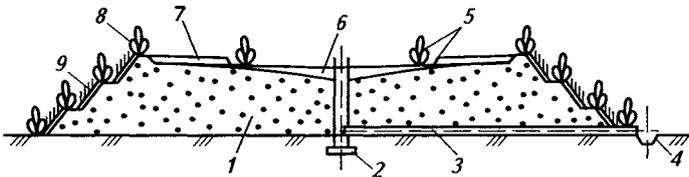


Рис. 5.20. Пример рекультивации гидроотвала вскрышного грунта:

1 — намытый грунт; 2 — сбросной колодец, дооборудованный до шахтного водосброса; 3 — водоотводящая труба; 4 — водоотводный канал; 5 — береговая водоохранная зона; 6 — прудок-отстойник; 7 — рекультивированная территория для сельскохозяйственного использования; 8 — древесно-кустарниковые насаждения; 9 — залужение внешних откосов дамб обвалования

чение большого периода времени (5...8 сут) с образованием на поверхности трещин.

Третья зона, окаймляющая отстойный пруд, почти горизонтальная, с повышенной влажностью намывного грунта. Общая длина пляжа от дамб обвалования до отстойного пруда должна быть не менее 60 м. Обычно при намыве отвалов суглинистых грунтов пляжная часть составляет 42 % намываемой территории, 48 % — отстойный пруд, 10 % — дамбы обвалования.

После завершения работ по намыву гидроотвала приступают к техническому этапу рекультивации внешних откосов дамб обвалования. Используя промежуточные бермы, по ним завозят почву и ссыпают ее на внешние откосы дамб обвалования и бермы, формируя почвенный слой толщиной около 0,1...0,15 м. Затем на откосах сеют дернообразующие травы, а по краям берм у подножия откосов высаживают древесно-кустарниковую растительность на расстоянии 5...6 м друг от друга.

Далее приступают к техническому этапу рекультивации пляжной части. Рекультивацию пляжной части и прудка-отстойника осуществляют с учетом последующего комплексного использования намывтой территории: сельскохозяйственного, природоохранного и водохозяйственного назначения.

После подсушки намывтого грунта в пределах пляжной части, включая первую и вторую зоны намывтой поверхности, приступают к формированию рекультивационного слоя. Для этого на пляжную часть гидроотвала завозят ранее снятую плодородную почву и затем ее распределяют ровным слоем по всей площади толщиной не менее 0,15 м. По верху нанесенного почвенного слоя вносят с помощью навозоразбрасывателя органические удобрения, а в необходимых случаях проводят известкование кислых почв. Далее выполняют вспашку дисковыми боронами и посев травосмесей.

Схема рекультивации хвостохранилища для последующего сельскохозяйственного использования показана на рисунке 5.21.

Материалы, намываемые в золоотвалы, шламонакопители и хвостохранилища, как правило, опасны и фитотоксичны, а сами гидроотвалы являются источниками распространения загрязняющих веществ, так как в результате водной и ветровой эрозии и инфильтрации большая их часть поступает в элементы природной среды. Поэтому рекультивация таких отвалов прежде всего необходима с санитарно-гигиенической точки зрения.

Такие отвалы сами зарастают крайне медленно, что связано с ограниченностью количества азота в почве и неустойчивостью водного режима. Объектами, подобными хвостохранилищам, являются шлако- и золоотвалы, образующиеся в результате гидроскладирования отходов от сжигания каменного угля на тепловых

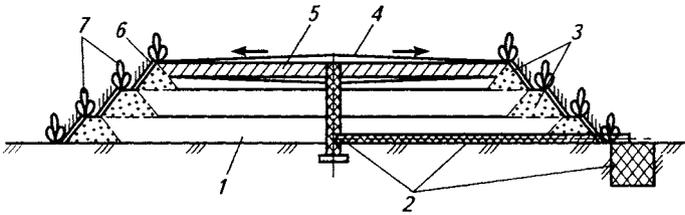


Рис. 5.21. Схема рекультивации хвостохранилища для сельскохозяйственного использования:

1 — намытые хвосты; 2 — заполненный грунтом водопроницающий тракт, ранее предназначенный для отвода осветленной воды из прудка-отстойника в систему оборотного водоснабжения; 3 — рекультивированные внешние откосы дамб обвалования с посевом трав и посадкой древесно-кустарниковой растительности на каждом ярусе; 4 — плодородный слой почвы; 5 — потенциально плодородный слой грунта; 6 и 7 — травянистая и древесно-кустарниковая растительность

электростанциях. Эти отходы также сложны по химическому составу и не всегда имеют благоприятный водный режим для естественного зарастания.

Рекультивация внешних откосов хвостохранилищ, шлако- и золоотвалов выполняется аналогичным образом, как и в первом варианте, но непременно с учетом химического состава золы, местных природно-климатических условий и др.

После заполнения хвостохранилища до проектного объема намытый материал обезвоживают, опорожня прудок-отстойник от воды, разравнивают выступающие части дамб обвалования и приступают к формированию рекультивационного слоя.

Шлакоаккумуляторы металлургических заводов и хвостохранилища обогатительных фабрик из-за содержания токсичных соединений вначале экранируют слоем потенциально плодородного грунта мощностью 1...1,5 м, а затем сверху экрана наносят плодородный слой почвы толщиной 0,4...0,5 м.

Для отвалов, содержащих в породах токсичные соли, можно рекомендовать следующую схему рекультивации. По верху намытых пород вносят известь дозой около 10 т/га. Затем завозят глину и создают противодиффузионный экран. Для этого привезенную глину распределяют по площади толщиной не менее 0,25 м, доводят ее до оптимальной влажности и затем уплотняют. По верху экрана отсыпают песок в качестве дренирующего слоя толщиной 0,3 м. Далее завозят супесчаные или суглинистые грунты в качестве почвообразующей породы, распределяя их по площади слоем 0,6 м, и затем отсыпают почвенный слой толщиной 0,2...0,3 м для посева сельскохозяйственных культур или 0,5 м — для древесных растений.

На спланированную поверхность шлако- и золоотвалов тепловых электростанций наносят слой почвы мощностью 0,1...0,5 м с внесением больших доз удобрений для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Использование отвалов в строительных целях определяется сроком их отсыпки (намыва). На глинистых грунтах строительство начинают через 10...5 лет, на песчаных грунтах — через 2...5 лет, на отвалах обогатительных фабрик — через 2...10 лет.

Биологический этап рекультивации горных отвалов и гидроотвалов. Наиболее удобный и дешевый вид освоения рекультивируемых территорий отвалов — облесение. На первых этапах рекультивации важно быстро озеленить отвалы и устранить вредное влияние их на окружающую среду. Озеленять отвалы можно еще до начала укладки складированного материала. Территорию, отводимую под отвал, окаймляют полосой насаждений. При складировании отходов, препятствующих росту растительности, и невозможности создания плодородного слоя почвы, например отвалы пустой породы при добыче калийных солей и других полезных ископаемых, полоса насаждений — единственная возможность обустройства таких отвалов. Полоса насаждений по периметру отвала эффективна лишь при ее ширине не менее 5 м.

При лесохозяйственном направлении рекультивации на первых этапах используют быстрорастущие породы: тополя и ивы. Приживаемость и рост лесных пород зависят главным образом от гранулометрического состава породы и ее рН. Оптимальное значение рН: для хвойных пород 4,5...6, для лиственных — 6...7,5. По гранулометрическому составу породы распределяются в следующей убывающей по плодородию последовательности: суглинки — глины — пески. Опыт облесения отвалов показывает, что посев древесных пород семенами непригоден. Наиболее рациональна посадка лиственных пород однолетними саженцами, а хвойных пород — двулетними. Виды пород подбирают экспериментально.

Если создать мощный покровный слой невозможно и сам материал, образующий рекультивационный слой, должен стать субстратом для растений, то возникают биолого-экологические проблемы озеленения таких земель, для этого удобряют бедные почвы. Процесс естественного восстановления почвенного покрова длится от нескольких десятков лет до многих веков, поэтому приходится сжимать его до короткого промежутка времени.

Предварительное условие успешной активации бедной почвы — тщательное изучение местных условий и оценка факторов, препятствующих развитию растений. Для этого необходимы подробные химические и биологические предварительные исследования, после чего принимают меры по улучшению условий для развития растений, которые можно подразделить на три группы:

улучшение физической структуры бедной почвы; улучшение химических условий для роста растений; биологическая активация.

Перечисленные мелиоративные мероприятия направлены на обеспечение растений достаточным количеством питательных веществ и на устранение всех факторов, препятствующих их развитию.

На уплотненных почвах целесообразно механическое рыхление в сочетании с заделкой в почву вносимых удобрений и химических мелиорантов. Последние связывают содержащиеся в почве токсичные элементы и вещества; уменьшают избыточную кислотность или, что бывает реже, — избыточное содержание оснований; активируют имеющиеся и восполняют недостающие питательные вещества.

После создания достаточно гармоничных почвенных условий повышают биологическую активность за счет внесения в почву гумуса и почвенных бактерий или мульчирования органическими и неорганическими материалами.

Мелиоративные мероприятия (химические, физические и биологические) являются лишь подготовкой к озеленению.

5.3. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, НАРУШЕННЫХ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫМИ СВАЛКАМИ

Проблема отходов — одна из самых актуальных проблем современности. Постоянный рост городов приводит к увеличению количества отходов, в том числе твердых (ТБО). В 2000 г. объем образовавшихся ТБО в ЕЭС превысил 180 млн т, хотя в 1975 г. не превышал 100 млн т. В Российской Федерации ежегодно образуется около 30 млн т только твердых бытовых отходов. С учетом постоянного роста удельных норм накопления ТБО к 2010 г. прогнозируют их увеличение до 35 млн т в год.

Несмотря на существование большого числа методов и технологий обезвреживания отходов, захоронение на свалках и полигонах по-прежнему — самый распространенный (табл. 5.10).

5.10. Технологии переработки ТБО в экономически развитых странах, %

Технология	США	Англия	Франция	Германия	Япония
Полигоны и свалки	84	90	55	78	57
Термический метод	15	9	35	20	40
Компостирование	1	1	10	2	3
Итого	100	100	100	100	100

В России 98 % отходов, образующихся в городах и поселках городского типа, вывозят на свалки и полигоны, занимающие в

стране свыше 40 тыс. га земель, кроме того, около 50 тыс. га составляет площадь уже закрытых свалок и полигонов.

Места захоронения отходов являются источниками загрязнения окружающей среды. Наиболее опасны так называемые несанкционированные, или стихийные, свалки. На таких свалках технология захоронения сводится к засыпке отходами карьеров, оврагов и других понижений рельефа, на них не исключено размещение инфицированных, токсичных и радиоактивных отходов. В Москве более 200 несанкционированных свалок общей площадью 900 га, а в близлежащих пригородах несколько тысяч гектаров заняты самовольными свалками.

По отношению к вмещающим породам и окружающим почвам свалка является техногенной геохимической аномалией. В свалочном грунте характерно присутствие тяжелых металлов, мышьяка и множество других элементов и их соединений. Например, свалочные грунты имеют аномальные геофизические характеристики: удельное электрическое сопротивление от $0,2 \text{ Ом} \cdot \text{м/м}^3$ (в водонасыщенном состоянии) до $20 \text{ Ом} \cdot \text{м/м}^3$ (при естественной влажности); среднюю плотность $0,6...0,8 \text{ т/м}^3$; пористость $60...70 \%$; влажность $20...60 \%$; неоднородные фильтрационные свойства ($K_{\text{ф}} = 0,1...1,5 \text{ м/сут}$); водоотдачу $5...10 \%$.

Свалки представляют собой источники сосредоточенного пространства загрязняющих веществ, воздействующих на все компоненты природной среды: атмосферу, гидросферу, литосферу, почву, биосферу. Принципиальная схема загрязнения окружающей среды свалками ТБО показана на рисунке 5.22.

Основной мигрант загрязняющих веществ из свалок — влага. Как правило, в толще свалки формируется техногенный водоносный горизонт, уровень которого превышает уровни нижележащих водоносных горизонтов. Это связано с формированием в подошве свалочных грунтов слабопроницаемого слоя, образовавшегося вследствие скопления тонкодисперсных фракций, переносимых инфильтрационным питанием с верхних горизонтов в нижние. В результате происходит выделение двух зон: полного и неполного насыщения для свалочных грунтов и для естественных горных пород. Для того чтобы проследить процесс миграции загрязнений из тела свалки, составим частные водные балансы для каждого горизонта. Схема элементов водного баланса показана на рисунке 5.23.

Уравнения водного баланса:

для поверхностных вод

$$\Delta W_{\text{п}} = (O_{\text{с}} + П_{\text{п}}) - (I_{\text{в}} + C + \Phi_{\text{а}}),$$

где $\Delta W_{\text{п}}$ — изменение запаса влаги на поверхности свалки за расчетный период, мм; $O_{\text{с}}$ — атмосферные осадки, мм; $П_{\text{п}}$ — приток поверхностных вод, мм; $I_{\text{в}}$ — ис-

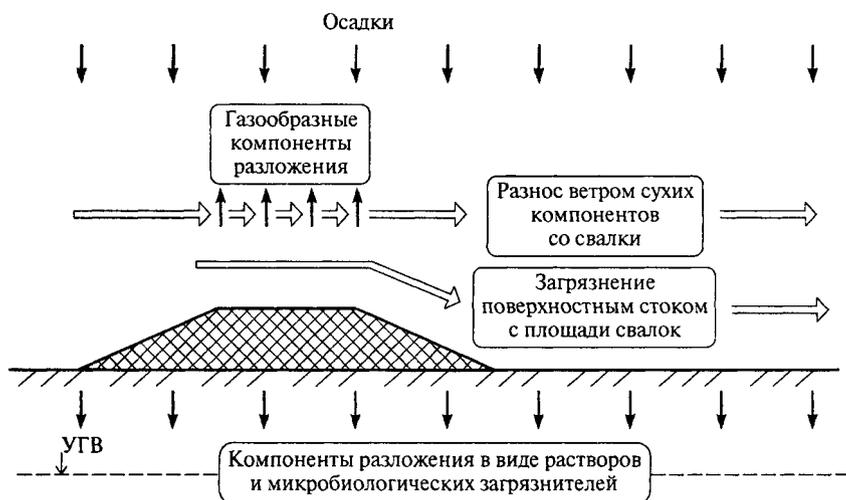


Рис. 5.22. Схема загрязнения окружающей среды свалками

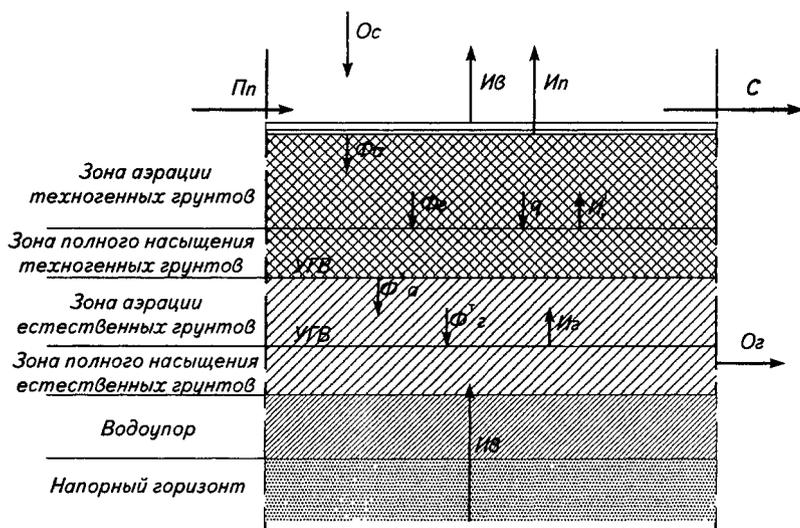


Рис. 5.23. Схема элементов водного баланса для зон полного и неполного насыщения техногенных и естественных грунтов

парение с водной поверхности, мм; C — поверхностный сток, мм; Φ_a — инфильтрация влаги в свалочный грунт, мм;

для зоны аэрации техногенных грунтов

$$\Delta W_a = (\Phi_a + I_r + q) - (I_n + \Phi_r),$$

где ΔW_a — изменение запасов влаги в зоне аэрации техногенных грунтов, мм; I_r — капиллярный отток влаги с поверхности техногенных грунтовых вод свалки, мм; q — влага, образующаяся при разложении органических веществ в теле свалки, мм; I_n — испарение с поверхности свалочного грунта, мм; Φ_r — влага, профильтровавшаяся до уровня техногенных грунтовых вод, мм;

для техногенных грунтовых вод (для зоны полного влагонасыщения техногенных грунтов)

$$\Delta W_r = (\Phi_r + q) - (\Phi_a + I_r),$$

где ΔW_r — изменение запасов влаги в зоне полного насыщения техногенных грунтов, мм; Φ_r — профильтровавшаяся техногенная влага до уровня грунтовых вод, мм; Φ_a — инфильтрация техногенных вод в зону аэрации естественных горных пород, мм;

для естественных грунтовых вод

$$\Delta W_r = (I_r + I_n + \Phi_r) - (O_r + I_r),$$

где ΔW_r — изменение запасов естественных грунтовых вод, мм; I_r — приток естественных грунтовых вод, мм; I_n — приток напорных вод, мм; O_r — отток грунтовых вод, мм.

Из уравнений водного баланса видно, что атмосферные осадки являются основной статьей инфильтрационного питания техногенного горизонта свалочных вод, а загрязнение горных пород в зоне аэрации и полного влагонасыщения происходит преимущественно за счет профильтровавшей через основание свалочного тела техногенной влаги до уровня грунтовых вод.

Инфильтрация влаги — основной фактор, влияющий на интенсивность протекания физико-биологических процессов в аэробной и анаэробной зонах толщи свалочного тела. В отдельных случаях мощность зоны полного влагонасыщения свалочных грунтов достигает 10 м и более.

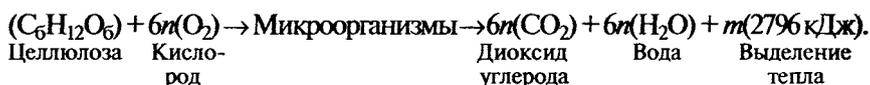
Фильтрат образуется смешиванием просачивающихся вод с загрязняющими веществами, содержащимися в свалочном теле и образующимися в результате протекания процессов деполимеризации, сбраживания, гумификации органического вещества, сульфатредукции и других процессов. В итоге получается уникальный

по своей токсичности раствор с содержанием минеральных частиц до нескольких десятков граммов на 1 л, ионов аммония, хлора и других макрокомпонентов до нескольких граммов на 1 л, высоким содержанием тяжелых металлов (цинк, свинец, никель, хром, кадмий и др.). Основные органические соединения фильтрата — это соединения смешанных рядов, ароматические, ациклические карбонильные соединения всех классов опасности. Наиболее опасны загрязнения органического происхождения, оцениваемые химической потребностью в кислороде (ХПК) и концентрацией взвешенных органических веществ ($C_{\text{орг}}$), которые в фильтрате достигают высоких значений (ХПК до 6 г O_2 на 1 л и $C_{\text{орг}}$ до 5 г/л), тогда как в городских сточных водах эти показатели на порядок меньше, например ХПК до 0,1...0,6 г O_2 на 1 л и $C_{\text{орг}}$ до 0,1...0,3 г/л.

Биохимические процессы, протекающие в аэробной зоне свалочного тела, можно представить в виде:

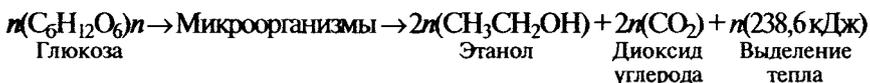


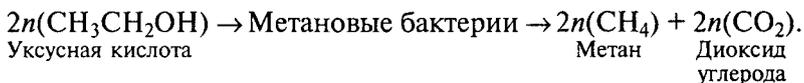
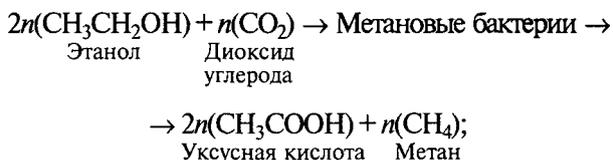
Суммарную биохимическую реакцию разложения целлюлозы в аэробных условиях можно представить в виде:



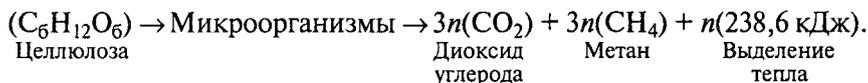
Как видно из суммарной биохимической реакции окисления, протекающей в аэробных условиях, целлюлоза может быть окислена до получения углекислого газа и воды с выделением 2796 кДж на 1 моль глюкозы — составной части целлюлозы под влиянием жизнедеятельности соответствующих бактерий и микроорганизмов.

Биохимические процессы, протекающие в анаэробной зоне свалочного тела, можно представить в виде:





Суммарная биохимическая реакция разложения целлюлозы в анаэробных условиях:



Как видно из суммарной биохимической реакции разложения целлюлозы, протекающей в анаэробных условиях, 50 % углерода целлюлозы окисляется до диоксида углерода, а 50 % — восстанавливается до метана с выделением 238,6 кДж тепла на 1 моль глюкозы. При этом этиловый спирт превращается в уксусную кислоту и диоксид углерода, а уксусная кислота — в диоксид углерода и метан, главным образом под влиянием жизнедеятельности соответствующих бактерий и микроорганизмов.

Газ, образующийся в толще свалочных грунтов, получил название биогаза, или, как его называют, свалочный газ, который представляет собой экологически опасную смесь метана, диоксида углерода, сероводорода, окислов азота, водорода, метилмеркаптана и др. Он обладает выраженным токсичным действием и неприятным раздражающим запахом и содержит вредные для живых организмов и растений компоненты.

В процессе эмиссии из толщи свалки на поверхность биогаз вытесняет воздух, присутствующий в верхних слоях отходов и в укрывающей их почве. В результате этого у большинства растений, растущих на поверхности свалки, особенно культурных, задерживается рост, а в отдельных случаях многие из них погибают из-за нехватки кислорода в корнеобитаемом слое.

Поверхностный сток, стекающий с поверхности свалочного тела, также несет загрязняющие вещества. При движении поверхностного стока по рельефу происходит загрязнение почвы, а при поступлении его в водные объекты ухудшается качество воды и происходит загрязнение донных отложений.

Возможность свалками распространять загрязняющие вещества сохраняется продолжительное время как в период их эксплуата-

ции, так и после их закрытия. Наибольшая возможность отрицательного воздействия отходов на окружающую среду наблюдается после 3...4 лет от начала эксплуатации свалки. Воздействие их не прекращается и в последующие 15...20 лет после закрытия свалки.

На свалках часто возникают пожары. Этому способствуют биотермические процессы саморазогрева свалочной массы и человеческий фактор, причем горит как сам мусор, так и выделяющийся из тела полигона биогаз с образованием других более токсичных отравляющих химических веществ.

Основной фактор отрицательного воздействия свалок на природную среду — проникновение фильтрата на поверхность грунтовых вод. Формирование загрязнения подземных вод на участках размещения свалок объясняется снижением их окислительно-восстановительного потенциала за счет проникновения в подземные горизонты вместе с фильтратом не окисленных органических веществ. Они потребляют кислород подземных вод на свое окисление и различные химические трансформации, формируя при этом околонейтральные бескислородные бессульфидные воды.

Загрязнение подземных вод характеризуется также присутствием в этих водах неорганических ингредиентов в концентрациях, превышающих ПДК и относящихся к различным классам опасности. Кроме того, в подземных водах в высоких концентрациях присутствуют не окисленные органические вещества всех классов опасности. Миграция загрязняющих веществ в подземные горизонты сводится к прохождению ими серии геохимических барьеров. Например, в результате миграции загрязняющих веществ загрязняются горные породы основания свалки и грунтовые воды. Поверхностные воды, стекающие со свалки, также несут загрязняющие вещества и при движении по прилегающим землям загрязняют почвы. Далее загрязняющие вещества, попадая в открытые водные объекты, ухудшают качество воды в них и накапливаются в донных отложениях.

Интенсивность накопления загрязняющих веществ в разных средах неодинаковая и изменяется в такой очередности: горные породы зоны аэрации → грунтовые воды → поверхностные воды → донные отложения. Накопление загрязняющих веществ, мг/кг, в этих средах характеризуется показателем суммарного их накопления:

$$Z_c = C_1/C_{\phi 1} + \dots + C_n/C_{\phi n},$$

где C_1, \dots, C_n — фактические концентрации загрязняющих веществ, мг/кг; $C_{\phi 1}, \dots, C_{\phi n}$ — их фоновые значения концентраций, мг/кг; n — количество идентифицированных загрязняющих веществ.

Серьезный экологический ущерб окружающей среде наносят так называемые несанкционированные свалки — стихийно обра-

зовавшиеся или возникшие из-за непродуманной деятельности человека искусственные геологические образования (площадью не менее 0,5 га при мощности отложений не менее 1 м).

В зависимости от направления последующего использования территорий, занятых несанкционированными свалками, принимают те или иные технические решения по их рекультивации. Территории, занятые несанкционированными свалками, после их рекультивации могут быть использованы под жилую застройку, для создания коммунальной или промышленной зоны, а также под дороги, площадки и для рекреационных целей. Эти условия определяют объемы работ рекультивации с учетом всех неблагоприятных факторов, сопутствующих свалкам: с полным или частичным удалением свалочного грунта и заменой его нормативно-чистым грунтом или без удаления. В соответствии с нормативными документами гражданское строительство (жилые здания, детские и лечебные учреждения) без вывоза свалочного грунта не допускается. Жилищное строительство может быть разрешено только после достижения в результате рекультивации нормативных показателей загрязненности грунтов и атмосферного воздуха.

Перед началом работ проводят инженерно-геологические изыскания, на основании которых составляют разрезы грунта свалки и подстилающих их слоев грунта основания, по ним определяют мощность слоя свалочного грунта, структуру подстилающих слоев, степень их загрязненности и уровень залегания грунтовых вод. Мощность загрязненного грунта, подлежащего удалению в основании свалки наравне со свалочным, определяют сравнением степени загрязнения его с нормативными значениями. Свалочные грунты удаляют на полигоны обезвреживания и захоронения отходов. Для выполнения этих работ используют одноковшовые экскаваторы и автосамосвалы. Удаляемые со свалки строительные отходы или нормативно-чистые подстилающие грунты могут быть использованы на различных земляных работах (для подсыпок, устройства изоляционных слоев на полигонах при захоронении твердых бытовых отходов и т. д.).

В случаях замены свалочного грунта завозят минеральный грунт, который должен быть нормативно-чистым по бактериологическим, химическим и радиометрическим показателям. Техническими решениями предусматривают выполнение мероприятий по обеспечению санитарно-гигиенических и микробиологических условий и радиационной безопасности при организации и производстве строительных работ. В соответствии с результатами санитарного обследования планируют истребительные мероприятия по дератизации (истреблению крыс, мышей и др.) и дезинсекции согласно требованиям инструкции по борьбе с мухами.

В процессе производства работ по разработке техногенного

грунта могут быть вскрыты локальные аномалии с наличием на глубине радиоактивного загрязнения как в виде отдельных источников ионизирующего излучения, так и в виде радиоактивного загрязненного грунта. Для обеспечения обнаружения радиоактивного загрязнения, попавшего на свалку в результате несанкционированных выбросов радиоактивных отходов, необходимо по мере выемки и вывоза мусора регулярно измерять мощность экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения, особенно на свалках, расположенных в пониженных местах (глубоких ямах, бывших карьерах и т. п.).

При вскрышных работах измерения проводят по всей обнажающейся поверхности свалки через 2; 5; 10 м в зависимости от состава мусора: при наличии в мусоре деталей приборов и радиоаппаратуры, обломков лабораторной посуды и т. п. сеть профилей сгущают, при наличии бытового или строительного мусора ее можно разрядить. Измерения необходимо проводить по мере выемки мусора, но не реже одного раза в сутки. Измерения выполняют переносными радиометрами типа СРП-68-01 или СРП-88.

Организация работ по вывозу свалочного грунта предопределяет соблюдение дополнительных условий экологической безопасности: обязательное укрытие брезентом свалочного грунта при перевозке транспортными средствами; дезинфекцию колес транспортных средств и строительных машин перед выездом с рекультивируемой территории при температуре окружающего воздуха выше 5 °С; организация сбора и удаление на очистные сооружения загрязненных поверхностных вод, поступающих с территории свалки; обеспечение радиационной безопасности персонала; периодическое медицинское освидетельствование производственного персонала, занятого на этих работах.

При рекультивации несанкционированных свалок без удаления свалочного грунта используют методы санации загрязненных территорий, основанные на закреплении, фиксации или химической иммобилизации вредных веществ, находящихся в свалочных грунтах или загрязненных горных породах.

Известны способы санации загрязненных территорий, основанные на выемке свалочных грунтов и загрязненных горных пород, обезвреживании и возвращении обезвреженных на прежнее место и без выемки с обезвреживанием свалочных грунтов и загрязненных горных пород на месте. При использовании первого способа свалочный грунт вынимают с последующей обработкой его специальными реактивами в смесителях. Особая дозирующая система позволяет обеспечить даже при малом расходе химикатов равномерное смачивание и вызывать спонтанную химическую реакцию. В процессе обработки происходит химическое преобразование вредных веществ в нетоксичные соединения, нераствори-

мые в воде. Обезвреженные свалочный грунт и загрязненные горные породы возвращают на прежнее место.

В смесителях используют метод «вымывания» загрязнений из свалочных грунтов или загрязненных горных пород, применяя для этой цели органические растворители, поверхностно-активные вещества, пар и другие реагенты.

В странах Европейского содружества перспективна технология выжигания и прокаливания загрязненных горных пород и свалочных грунтов, так называемое термическое санирование. Этот способ применяют в случаях, когда в свалочных грунтах присутствуют загрязнения в виде вредных органических соединений, в том числе и нефтепродукты.

Например, в Германии и Нидерландах для термического санирования используют передвижные установки с вращающейся трубчатой печью, в которых на первом этапе при температуре 400...450 °С осуществляют предварительное выжигание вредных примесей, а на втором — прокаливание при более высокой температуре, обеспечивая термическое разложение и обезвреживание загрязняющих веществ. Установки должны быть укомплектованы необходимым оборудованием для очистки отходящих газов.

Использование технологий термической санации свалок и загрязненных горных пород сопряжено с высокой их энергоемкостью и большими финансовыми затратами. Технологию термического остеклования применяли для обезвреживания отходов потребления в Японии, однако подобные технологии также энергомки и требуют больших финансовых затрат.

Существуют следующие технологические приемы локализации распространения загрязняющих веществ без изъятия свалочного грунта и загрязненных пород.

С целью снижения взрывопожаробезопасности и уменьшения загрязнения атмосферного воздуха из толщи свалочных грунтов откачивают летучие вредные вещества (биогаз). При расположении свалок на территориях, сложенных песчаными или малосвязанными грунтами, слабо насыщенными водой, откачка летучих соединений не эффективна, так как в подобных геологических условиях требуется сооружение на всей поверхности свалки защитного покрытия или экрана. Откачиваемый из вакуумных колодцев загрязненный воздух перед выбросом в атмосферу необходимо очищать в фильтрах с активированным углем.

Гидравлический способ санации свалок применяют, когда загрязняющие вещества, содержащиеся в свалочном грунте или загрязненных породах, растворяются водой. Для этого по направлению тока грунтовых вод закладывают нагнетательные и водозаборные колодцы. Откачиваемые грунтовые воды из колодцев после их очистки используют для орошения территории свалки. При

использовании этой технологии необходимо знать растворимость загрязняющих веществ в водной среде и гидромеханические характеристики свалочных грунтов.

Методы биологического обезвреживания свалочных грунтов основаны на принципиальной возможности разрушения вредных веществ, содержащихся в них, под воздействием микроорганизмов. Известно множество видов бактерий, актиномицетов и грибов, способных разрушать органические соединения. Решающее влияние на скорость разрушения вредных веществ микроорганизмами оказывают температура и влажность среды (свалочного тела), наличие кислорода, углерода, азота и фосфора, а также их соотношение. Поскольку бактерии в качестве источника питания усваивают только жидкие биологически разрушаемые соединения, то свалочный грунт должен быть достаточно увлажнен.

Одним из многих методов локализации и предотвращения распространения загрязняющих веществ считают капсуляцию, позволяющую устранить такие опасности, исходящие от свалок, как загрязнение прилегающих земель, грунтовых вод, загазованность атмосферного воздуха и др.

Важнейшие составные элементы капсуляции — герметичное основание, устройство герметичных вертикальных стен и плотная заделка поверхности свалки.

В качестве герметичных оснований чаще всего рассматривают естественные геологические преграды в виде практически непроницаемых слоев глины или суглинка с $K_{\phi} \leq 1 \cdot 10^{-7}$ м/с.

Герметичные вертикальные стенки выполняют, как правило, по технологии «стена в грунте» с заполнением их смесью бентонита с цементом и специальными присадками, что позволяет создать их практически водонепроницаемыми. Метод капсуляции наиболее эффективен при неглубоком залегании водоупора в основании свалки.

При отсутствии водоупора в основании свалки или глубоком его залегании локализацию и предотвращение распространения загрязняющих веществ часто выполняют методом экранирования.

Загрязняющие вещества из свалочного тела переносятся в поры зоны аэрации и зоны водонасыщения преимущественно с инфильтрационным питанием, поэтому для локализации и предотвращения распространения загрязняющих веществ наиболее приемлемо устройство по верху свалочного грунта многослойного покрытия, нагорно-ловчего и водоотводного каналов.

При реабилитации подобных загрязненных участков методом экранирования оценивают степень защищенности грунтовых вод от их загрязнения. В качестве количественной оценки защищенности грунтовых вод от локального загрязнения можно принять отрезок времени, год, в течение которого несорбируемый загряз-

нитель проникнет через породы зоны аэрации до уровня грунтовых вод:

$$T = 40/W \cdot m(K_f)^{-1/n},$$

где W — интенсивность инфильтрационного питания, мм/год; m — мощность зоны аэрации, м; K_f — коэффициент фильтрации, м/сут; n — безразмерный показатель степени, учитывающий принятую модель влагопереноса (для песков $n = 3,6$).

При уменьшении интенсивности водного питания защищенность грунтовых вод возрастает и при $W \rightarrow 0$ можно достичь практически полной защиты грунтовых вод от воздействия на них локального источника распространения загрязняющих веществ.

Поэтому защитные экраны, устраиваемые по верху свалочного грунта, являются основными элементами, обеспечивающими главную природоохранную функцию. Конструкция защитных экранов представляет собой комбинацию изоляционных и фильтрующих элементов, позволяющих собирать и отводить просачивающиеся поверхностные воды, атмосферные осадки и биогаз.

На стадии технического этапа рекультивации проводят следующие работы. Вначале выполняют планировочные работы на площади нарушенного участка с использованием части менее загрязненного сверху лежащим свалочным грунтом. Среднюю абсолютную отметку устанавливают с учетом технико-экономического обоснования. Планировку территории желательно выполнять с преданием планируемой поверхности незначительного уклона в сторону общего понижения земной поверхности. С целью консервации загрязнителей в верхних слоях свалочного грунта на спланированную поверхность отсыпают слой естественных сорбирующих материалов в виде сапропелей или цеолитов мощностью до 0,1...0,2 м.

Важнейший элемент технического этапа рекультивации в данном случае — устройство противофильтрационного экрана. При устройстве глиняного экрана (замка) отсыпают два слоя из привозной глины толщиной не менее 0,25 м каждый, уплотняя поочередно укаткой грунтоуплотняющими машинами при оптимальной влажности уплотняемого грунта.

Для отвода просачивающихся поверхностных и талых вод по верху глиняного экрана укладывают дренарующий слой из песчано-гравийного грунта толщиной 0,2...0,3 м. По верху дренающего слоя отсыпают слой из потенциально плодородного грунта толщиной не менее 0,3 м, в зависимости от вида последующего использования реабилитируемой территории. Далее по верху потенциально плодородного слоя наносят слой почвы толщиной не менее 0,15 м.

Учитывая то, что не всегда поблизости находятся карьеры гли-

рых биогаз отводят в атмосферный воздух. Вначале бурят скважины диаметром 350 мм на всю глубину свалочного тела. Внутри образовавшегося пространства вставляют перфорированную трубу диаметром 168 мм, снаружи обмотанную фильтровой сеткой. В нижней части устраивают отстойник высотой 3 м, выше отстойника — фильтровое звено высотой, равной толще свалочного тела минус 1 м. Выше фильтрового звена проходит гладкая цементная труба того же диаметра на высоту на 2 м выше дневной рекультивируемой поверхности. Далее пространство между обсадной трубой и газоотводящей скважиной засыпают гравием и по мере отсыпки гравия извлекают обсадную трубу. Вокруг устья газоотводящей скважины устраивают бетонную отмостку толщиной 0,5 м и размером в плане $0,5 \times 0,5$ м. Каждую скважину оборудуют оголовком, выполняемым в виде грибка.

Технический этап рекультивации несанкционированных свалок завершается созданием рекультивационного слоя. В биологический этап рекультивации включают мероприятия, направленные на реабилитацию и восстановление земель, выполняемые вслед за нанесением почвенного слоя, возделыванием однолетних и многолетних травосмесей с неглубокой корневой системой. Продолжительность биологического этапа рекультивации обычно составляет 2...5 лет в зависимости от климатических условий и степени предварительной очистки реабилитируемого участка.

Биологический этап реабилитации загрязненных земель предполагает фитомелиорацию загрязненных земель и формирование внешнего вида природно-техногенного ландшафта, который является завершающей стадией восстановления благоприятной экологической ситуации на загрязненных и прилегающих к ним землях.

Травы, используемые для рекультивации, должны быть апробированных сортов и местных популяций. Высаживаемые растения должны быстро акклиматизироваться, обладать устойчивостью к неблагоприятным условиям микроклимата, отрицательным физическим и химическим свойствам грунта, иметь сильно развитую корневую систему, обладать способностью к симбиозу с микроорганизмами.

Таким образом, после выполнения технического и биологического этапов рекультивации загрязненного участка существенно снижается инфильтрационный вынос загрязнителей на грунтовые воды, что и приводит к консервации последних в породах зоны аэрации.

Учитывая масштабы и степень загрязнения природной среды, при реабилитации нарушенных земель отходами производства и потребления в состав работ необходимо включать мероприятия по организации экологического мониторинга.

5.4. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОЛИГОНОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ

Захоронение отходов производства и потребления на полигонах — наиболее широко практикуемый способ обезвреживания и утилизации ТБО, и этот способ еще долгое время будет оставаться наиболее распространенным.

Полигоны захоронения ТБО — инженерно-экологические сооружения, предназначенные для централизованного приема ТБО, их обезвреживания и захоронения, предотвращающие неорганизованное распространение загрязняющих веществ в компоненты природной среды.

На полигоны захоронения ТБО разрешен прием: отходов из жилых зданий, учреждений и предприятий общественного назначения, объектов оптово-розничной торговли промышленными и продовольственными товарами; строительных отходов, образованных при сносе, ремонте, реконструкции, новом строительстве зданий и сооружений, отходов стройиндустрии, промышленных отходов, приравненных к ТБО, древесно-растительных отходов от планового ухода за зелеными насаждениями городов; твердых промышленных отходов IV класса опасности по согласованию с органами природных ресурсов и охраны окружающей среды, санитарно-эпидемиологическими службами и учреждениями коммунальной сферы, в количестве, не превышающем 30 % массы принимаемых ТБО; отходов лечебно-профилактических учреждений в соответствии с нормативными документами «Правила сбора, хранения и удаления отходов лечебно-профилактических учреждений».

Запрещен прием на полигоны следующих видов отходов: строительных, содержащих асбестовый шифер в виде боя, шлаки, золы, отработанный асбест, отходов мягкой кровли, имеющих 4-й класс опасности; промышленных 1, 2, и 3-го классов опасности; радиоактивных, независимо от уровня их радиации; ртутных ламп и продуктов демеркуризации.

Полигоны ТБО по видам принимаемых отходов делят на два класса: полигоны ТБО 1-го класса, на которых разрешено размещать отходы, содержащие $\leq 25\%$ органических примесей, образующие при разложении вредные вещества в количествах, не превышающих значения ПДК; полигоны ТБО 2-го класса, на которых размещают отходы, содержащие $> 25\%$ органических примесей, а также другие виды отходов, образующие вредные вещества при разложении в количествах, превышающих значения ПДК.

Организации, эксплуатирующие полигоны, разрабатывают регламент (режим) работы полигона и инструкцию по приему ТБО. В соответствии с разработанной инструкцией поступающие отхо-

ды учитывают, обеспечивая их контроль, распределяют в пределах эксплуатируемой части полигона, выполняют послойную изоляцию отходов, выполняют требования, предъявляемые к безопасности жизнедеятельности предприятий в чрезвычайных ситуациях.

Полигон захоронения ТБО, как и любой объект строительства, создают в непрерывном инвестиционном процессе с момента возникновения замысла до сдачи объекта в эксплуатацию.

Предпроектные и проектные работы ведут согласно нормативным документам: «Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснований инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений» (СП 11-101—95) и «Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений» (СНиП 11-01—95).

В инвестиционном процессе проектная подготовка строительства с учетом действующего российского законодательства и зарубежной практики, как правило, состоит из трех этапов.

1-й этап — определение цели инвестирования, вид и объемы приема отходов на объект, морфологический состав и свойства отходов, срок эксплуатации, расчетный объем полигона и его требуемая площадь, перспективные участки строительства с учетом экономических и экологических требований. На основе необходимых исследований и проработок об источниках финансирования, условиях и средствах реализации поставленной цели с использованием максимально возможной информационной базы данных заказчик оценивает возможности инвестирования и достижения технико-экономических показателей.

С учетом принятых на данном этапе решений заказчик представляет в установленном порядке ходатайство (декларацию) о намерениях.

После получения положительного решения местного органа исполнительной власти заказчик приступает к разработке обоснований инвестиций в строительство.

2-й этап — разработка обоснований инвестиций в строительство на основании полученной информации, требований государственных органов и заинтересованных организаций в объеме, достаточном для принятия заказчиком решения о целесообразности дальнейшего инвестирования, получения от соответствующего органа исполнительной власти предварительного согласования места размещения объекта (акта выбора участка) и разрешения на разработку проектной документации.

3-й этап — разработка, согласование, экспертиза и утверждение проектной документации, получение на ее основе решения об изъятии земельного участка под строительство.

Перспективные участки для строительства полигонов выбирают на стадии составления схем районных планировок и генеральных планов городов и их зеленых зон, схем санитарной очистки населенных пунктов от твердых бытовых отходов. Число и площадь полигонов зависят от численности жителей населяемых мест, обслуживаемых полигонами, площади и конфигурации населенных пунктов, дальности транспортировки отходов.

Начальные исследования должны быть сосредоточены на выборе потенциальных участков в соответствии с государственными, региональными и местными требованиями, предъявляемыми к защите окружающей среды от воздействия отходов. Возможность использования участка после закрытия полигона рассматривают также на начальной стадии принятия решений.

Полигоны размещают за пределами населенных пунктов, соблюдая размер санитарно-защитной зоны до жилой застройки (не менее 500 м), устанавливаемой СанПиН 2.1.7.722—98. Размер санитарно-защитной зоны уточняют при расчете газообразных выбросов в атмосферу. Границы зоны уточняют по изолинии рассеивания загрязняющих веществ, равной 1 ПДК, если она выходит за пределы нормативно установленных размеров.

Для выбора участка под строительство заказчик с регламентирующими организациями (архитектурно-планировочным управлением, санитарно-эпидемиологической, гидрогеологической службами и др.) определяют районы, в которых намечается подбор участков. Перспективные участки для размещения полигонов определяют на основании анализа карт специального типологического зонирования анализируемых территорий в масштабе 1 : 200 000, которые включают фондовые геологические и гидрогеологические условия. При необходимости проводят рекогносцировочные полевые исследования.

При выборе перспективных участков для размещения полигона руководствуются следующими принципами:

участки, на которых природные условия исключают размещение полигонов;

участки, на которых при размещении полигонов не будет нанесено существенное негативное воздействие на компоненты природной среды.

Размещение полигонов запрещается на землях природно-заповедного фонда Российской Федерации (государственные природные заповедники, заказники, национальные природные парки, памятники природы) и в пределах их охранных зон, сельскохозяйственных угодьях, а также на землях лесного и водного фондов. Запрещено их размещение в пределах санитарно-защитных зон курортных, лечебно-оздоровительных учреждений, на территориях природного комплекса городов и поселков. Нельзя размещать

полигоны на землях историко-культурного наследия и в пределах городской черты. Запрещено их размещение на территориях, загрязненных органическими и радиоактивными отходами, до истечения сроков, установленных органами санитарно-потребительского надзора, и на территориях со сложными геологическими и гидрогеологическими условиями.

Благоприятными природными условиями с точки зрения размещения полигонов считают земельные участки открытые, хорошо продуваемые (проветриваемые), незатопляемые и неподтопляемые паводковыми водами, допускающие проведение природоохранных мероприятий и выполнение инженерных решений, обеспечивающие предотвращение загрязнения окружающей среды, а также участки, расположенные с подветренной стороны населенных пунктов и рекреационных зон и находящиеся ниже водозаборов хозяйственно-питьевого водоснабжения, рыбоводных хозяйств, мест нереста, массового нагула и зимовальных ям, удаленные от аэропортов на 15 км и более. При размещении полигонов учитывают опыт функционирования объектов-аналогов в подобных условиях размещения, исходя из природных условий (геологических, гидрогеологических, водно-физических свойств горных пород, развития опасных геологических процессов) и технологических особенностей складирования ТБО (площадь полигона, мощность складированных ТБО, схема складирования).

Размер участка размещения полигона устанавливают, исходя из условия продолжительности эксплуатации полигона в течение 15...20 лет.

На топографическом плане в масштабе 1 : 25 000 обозначают границы потенциальных участков.

Для оценки возможности реализации хозяйственной деятельности с учетом гарантии соблюдения природоохранных норм и правил по каждому намеченному участку разрабатывают Обоснование инвестиций с составлением раздела «Оценка воздействий на окружающую среду» (ОВОС).

Необходимую площадь для отвода земельного участка определяют, исходя из проектной вместимости полигона и высоты складирования отходов.

Для окончательного выбора участка, в составе проекта Обоснований, на каждом потенциально выбранном участке выполняют топографическую съемку с построением плана местности в масштабе 1 : 2000 с нанесением результатов геологических, гидрогеологических и гидрологических исследований.

Геологические исследования определяют порядок напластования, мощность и состав горных пород, слагающих возможные в будущем площадки строительства, коэффициенты фильтрации горных пород всех разностей. Минимальная глубина разведки — 10 м.

Гидрогеологические исследования определяют уровень залегающих грунтовых вод (УГВ) и направление их движения, мощность и уровень залегания водоупора, наличие в нем гидрогеологических окон.

Для расчета параметров нагорных каналов, защищающих полигон от притока поверхностных вод (дождевых и талых), собирают сведения об интенсивности и испаряемости атмосферных осадков и площади их водосбора. С учетом проведенных исследований и собранных фондовых и справочных материалов органами охраны природы и санитарно-эпидемиологического надзора выдается заключение о пригодности выбранного участка под строительство полигона. На основании полученных данных по рассматриваемым участкам составляют «Обоснование» и решают вопрос об окончательном выборе участка.

Утверждают (одобряют) Обоснования на основании государственной экспертизы и решения органа исполнительной власти о согласовании размещения объекта. Для выбранного участка разрабатывают рабочий проект полигона, для составления которого разрабатывают исходную документацию:

топографический план местности выбранного участка, выполненный в масштабе 1 : 2000 или 1 : 1000 (в зависимости от площади участка) с нанесением на него горизонталей через 1 м;

топографический план местности участка, отводимого под размещение хозяйственной зоны, инженерных сооружений и внешних коммуникаций, выполняют в масштабе 1 : 500 с горизонталями через 0,5 м (план местности для проектирования внешних коммуникаций может быть выполненным в М 1 : 1000).

При необходимости проводят дополнительные гидрогеологические изыскания.

Проект строительства полигона захоронения ТБО разрабатывается в соответствии с ПП РФ № 87 от 16.02.2008 г. «О составе разделов проектной документации и требований к их содержанию» и включает следующие разделы:

1. Общая пояснительная записка с описанием гидрогеологических условий и обоснованием выбора площадки участка строительства.

2. Генеральный план и транспорт.

3. Технологические решения (расчет вместимости полигона, технологическая схема с учетом очередности строительства, конструкция противодиффузионных экранов, продольный и поперечный разрезы участка складирования, рекомендации по рекультивации участка после закрытия полигона для приема ТБО и т. д.).

4. Организация и условия труда работников (охрана труда).

5. Управление производством и предприятием (режим эксплуатации, расчет потребности в эксплуатационном персонале, машинах и механизмах).

6. Архитектурно-планировочные решения (организация хозяйственной зоны полигона).

7. Инженерное оборудование, сети и системы (системы сбора и удаления фильтрата и биогаза).

8. Организация строительства.

9. Охрана окружающей среды (обоснование санитарно-защитной зоны и организация экологического мониторинга).

10. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны. Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций.

11. Обоснование инвестиций.

Для обоснования требуемой площади отвода земельного участка под складирование ТБО в первую очередь определяют проектную вместимость полигона. Расчет ведут с учетом удельной обобщенной годовой нормы накопления ТБО на одного жителя (включая ТБО из учреждений и организаций), численности обслуживаемого полигоном населения, расчетной продолжительности эксплуатации полигона, степени уплотнения ТБО в теле полигона.

Накопление ТБО в населенных пунктах рассчитывают по удельной норме их накопления за год на одного жителя. Удельную норму определяют по двум видам источников накопления ТБО: по жилому сектору и общественным зданиям и учреждениям.

Нормы накопления ТБО для различных источников уточняют специальные научные организации (не реже 1 раза в 5 лет). Результаты исследований утверждают органы административной власти населенных пунктов. Ориентировочные нормы накопления ТБО, образующихся в жилых зданиях и в отдельно стоящих объектах общественного назначения, приведены в таблице 5.11.

5.11. Ориентировочные нормы накопления ТБО, образующихся в жилых зданиях и в отдельно стоящих объектах общественного назначения

Объект образования отходов	Единица измерения	Нормы накопления ТБО в год		Средняя плотность, кг/м ³
		кг	м ³	
Жилые дома благоустроенного типа	1 чел.	180...225	0,9...1	190...220
Жилые дома неблагоустроенного типа	»	350...450	1,2...1,5	300
Гостиницы	1 место	120	0,7	170
Детсады, ясли	»	95	0,4	240
Учебные заведения	1 ученик	24	0,12	200
Театры, кинотеатры	1 место	30	0,2	150

Продолжение

Объект образования отходов	Единица измерения	Нормы накопления ТБО в год		Средняя плотность, кг/м ³
		кг	м ³	
Учреждения, офисы	1 сотрудник	40	0,22	180
Продовольственные магазины	1 м ² торговой площади	160.. 250	0,8 ..1,5	160...190
Промтоварные магазины	То же	80.. 200	0,5...1,3	150...160
Рынок	»	100...200	0,6...1,3	160...170
Автовокзалы, вокзалы, аэропорты	1 м ² площади	125	0,5	250
Больницы	1 койка	230	0,69	330
Поликлиники	1 посещение	30	0,156	190

Проектную вместимость полигона определяют на расчетный период эксплуатации полигона:

$$E_T = \frac{(Y_1 + Y_2)(H^* + H^{**})T(K_2 / K_1)}{4},$$

где Y_1 и Y_2 — удельные годовые нормы накопления ТБО на 1-й и последний годы эксплуатации полигона на одного жителя, м³/чел. в год;

$$Y_2 = Y_1 \cdot (1,03)^{T-1},$$

Y_1 — удельная норма накопления ТБО по объему на 1-й год эксплуатации определяется как удельная обобщенная годовая норма накопления ТБО на одного жителя (включая ТБО из учреждений и организаций), м³/чел. в год (см. табл. 5.11); Y_2 — удельная норма накопления ТБО по объему на последний год эксплуатации определяется из условия ее ежегодного увеличения по объему на 3%; H^* и H^{**} — количество обслуживаемого населения полигоном в 1-й и последний годы его эксплуатации, чел. (H^{**} — определяют согласно данным генерального плана развития района застройки с учетом ожидаемого ежегодного увеличения численности населения на 2%, $H^{**} = H^* \cdot (1,02)^{T-1}$); T — продолжительность эксплуатации полигона, лет; K_2 — коэффициент, учитывающий объем минерального грунта, используемого для устройства изолирующих слоев (промежуточных и окончательного перекрытия), равный 1,2; K_1 — коэффициент, учитывающий уплотнение ТБО в процессе эксплуатации полигона за весь срок T ; K_1 зависит от высоты полигона.

Полная проектная высота полигона, м

До 10	3
11...20	3,7
21...50	4
51 и более	4,5

Составными элементами полигона являются: подъездная дорога, участок складирования ТБО и хозяйственная зона.

Подъездная дорога соединяет существующую транспортную магистраль с полигоном, проектируют ее для обеспечения двухстороннего движения автомобильного транспорта. Ширину подъездной дороги принимают не менее 6,5 м. На пересечении подъездной дороги с территорией полигона размещают пост контроля въезда мусоровозов на территорию полигона и их обратного выезда.

Участок складирования отходов занимает около 85...95 % территории, отводимой под размещение полигона, в пределах которой формируют свалочное тело в виде усеченной пирамиды.

Свалочное тело полигона желательно формировать с разбивкой на очереди заполнения. Продолжительность заполнения каждой очереди обычно составляет около 3...5 лет.

Участок складирования должен быть защищен от притока поверхностного стока, поступающего с вышерасположенных земельных массивов. Для перехвата ливневых и талых вод по верхней границе участка проектируют нагорный канал. На расстоянии 1...2 м от нагорного канала устраивают ограждение вокруг территории полигона, включая и хозяйственную зону. Вдоль ограждения по периметру полигона проектируют посадку древесно-кустарниковой растительности. На расстоянии 2...3 м от края основания полигона прокладывают кольцевую автомобильную дорогу шириной не менее 3,5 м, соединяющую участок складирования отходов с подъездной дорогой с обеспечением одностороннего движения мусоровозов.

Тогда требуемая площадь земельного участка, га, отводимого для размещения полигона,

$$F = K_3 F_{y.c} + F_{доп},$$

где K_3 — коэффициент, учитывающий полосу отчуждения вокруг участка складирования для прокладки кольцевой дороги и размещения временных кавальеров, $K_3 = 1,1$; $F_{y.c}$ — площадь земельного участка, отводимого под участок складирования отходов, га; $F_{доп}$ — площадь земельного участка, отводимого для размещения хозяйственной зоны, га (обычно для размещения хозяйственной зоны принимают участок, равный 1 га).

Для упрощения расчета полигону желательно придать форму правильной геометрической фигуры, например усеченной четырехгранной пирамиды с квадратным основанием. Используя формулу расчета объема усеченной пирамиды, вычисляют площадь участка складирования. Обозначив одну из сторон квадрата нижнего основания полигона через x , а заложение откосов через m , при заданной высоте полигона $H_{пл}$ объем полигона (усеченной пирамиды)

$$E_T = [x^2 + (x - 2mH_{пл})^2] \frac{H_{пл}}{2}.$$

Решая полученное квадратное уравнение относительно x , получим:

$$x_{1,2} = \frac{4mH_{\text{пл}}^2 \pm \sqrt{(4mH_{\text{пл}}^2)^2 - 8H_{\text{пл}}(4m^2H_{\text{пл}}^3 - 2E_T)}}{4H_{\text{пл}}}$$

Тогда площадь земельного участка, га, отводимого под участок складирования отходов,

$$F_{yc} = (x_{1,2})^2.$$

Фактическая площадь отводимого участка, м^2 , с учетом отвода земель для строительства подъездной дороги

$$F_{\text{отв}} = F + D,$$

где D — отвод земельного участка для размещения подъездной дороги, соединяющей автомагистраль с полигоном, м^2 .

$$D = bl,$$

здесь b и l — ширина и длина подъездной дороги, м.

Потребность в минеральном грунте для выполнения послойной промежуточной и окончательной изоляции отходов, устройства упорных призм удовлетворяется минеральным грунтом, вынимаемым из котлована, устраиваемого в основании проектируемого полигона.

С целью защиты горных пород зоны аэрации и грунтовых вод от загрязнения в котловане устраивают нижний противодиффузионный экран и сооружают дренажную систему для удаления образующегося в свалочном теле филтрата. Глубину котлована определяют, исходя из потребности в минеральном грунте и положения уровня грунтовых вод. При этом желательно дно котлована размещать на отметке выше уровня грунтовых вод не менее 2 м.

Перед производством земляных работ с поверхности участка, отведенного для складирования отходов, снимают плодородный слой почвы и укладывают его во временные кавальеры, располагаемые вне участка складирования отходов.

Учитывая поочередную схему заполнения полигона, вначале разрабатывают минеральный грунт в котловане 1-й очереди с укладкой его во временный кавальер, располагаемый вне участка складирования, из которого минеральный грунт впоследствии используют для выполнения промежуточной и окончательной изоляции отходов, укладываемых в 4-ю (и 5-ю) очередь(и), и устрой-

ства упорных призм. Для выполнения промежуточной изоляции слоев укладываемых отходов в 1-ю очередь и устройства упорных призм используют минеральный грунт, постепенно разрабатываемый в котловане 2-й очереди эксплуатации полигона, при укладке отходов во 2-ю очередь — используют минеральный грунт, разрабатываемый в котловане 3-й очереди и т. д. Заполнение каждой очереди ведут слоями. Толщину каждого укладываемого слоя обычно принимают $h = 2$ м, включая толщину слоя послойной изоляции ($h_{\text{сл}} = 0,2$ м), выполняемого из минерального грунта. Для обеспечения устойчивости высоконагружаемого полигона по его периметру перед укладкой каждого слоя устраивают упорные призмы из минерального грунта высотой $h = 2$ м, шириной бермы $b = 3$ м и заложением откосов — внешнего $m = 3$ и внутреннего — $m_1 = 1$. Потребность в минеральном грунте для выполнения послойной изоляции и возведения упорных призм, м^3 , составит:

$$E_{\text{мг}} = \left\{ \frac{(x + 2m_1h + 2b + 2mh)^2 + (x + 2m_1h + 2b)^2}{2} h - \frac{x^2 + [x + m_1(h - h_{\text{сл}})]^2}{2} (h - h_{\text{сл}}) \right\} \frac{2H_{\text{пл}}}{3h}.$$

Задаваясь заложением внутренних откосов котлована (m_k), его глубину (h_k) можно определить, решив кубическое уравнение, составленное из условия баланса грунтовых масс:

$\frac{x^2 + (x - 2m_k h_k)^2}{2} h_k = E_{\text{мг}}$. Упорядочив полученное выражение относительно h_k , получим следующее уравнение:

$$4m_k^2 h_k^3 - 4m_k x h_k^2 + x^2 h_k + x = E_{\text{мг}}.$$

Решают полученное уравнение графическим способом. Для этого, задаваясь несколькими глубинами котлована (h_{ki}), определяют для каждой глубины его объем (E_{ki}), например:

$$h_{k1}, E_{k1} = \frac{x^2 + (x - 2m_k h_{k1})^2}{2} h_{k1};$$

$$h_{k2}, E_{k2} = \frac{x^2 + (x - 2m_k h_{k2})^2}{2} h_{k2}; \quad h_{k3}, E_{k3} = \frac{x^2 + (x - 2m_k h_{k3})^2}{2} h_{k3} \text{ и т. д.}$$

По графику функции $h_{ki}(E_{ki})$ для требуемого объема E_k находят требуемую глубину котлована h_k , а затем уточняют объем полиго-

на ТБО. Заполняют котлованную часть полигона с учетом их перекрытия изоляционным слоем толщиной 0,2 м. Объем ТБО, укладываемых в котлованную часть полигона, м³,

$$E_k = \frac{x^2 + \{x - 2(h_k - t - h_{сл})m_k\}^2}{2} (h_k - t - h_{сл}),$$

где t — часть глубины котлована, в пределах которой устраивают нижний гидроизоляционный экран и располагают дренажную сеть, предназначенную для отвода фильтрата, $t = 1$ м

Объем ТБО, складываемого в первом ярусе полигона в 1-ю по 4-ю очереди, м³, составит:

$$E_T^1 = \frac{x^2 + \{x - 2(H_{пл} - n_{сл}^1 h_{сл})m\}^2}{2} (H_{пл} - n_{сл} h_{сл}),$$

где $n_{сл}^1$ — число слоев изоляции ТБО, укладываемых в первом ярусе

Вместимость второго яруса складирования ТБО (E_T^{11}), при принятой высоте второго яруса $H_{пл}^{11}$, можно рассчитать следующим образом. Обозначив сторону нижнего основания пирамиды второго яруса как $x_1 = x - 2mH_{пл}^1 - 2d$, где d — ширина бермы, можно вычислить площадь участка, м², складирования на уровне основания пирамиды второго яруса:

$$F_{уч н}^{11} = (x - 2mH_{пл}^1 - 2d)^2,$$

площадь участка, м², складирования на уровне верхнего основания второго яруса:

$$F_{уч в}^{11} = (x - 2mH_{пл}^1 - 2d - 2H_{пл}^{11})^2.$$

Тогда объем ТБО, м, складываемых во втором ярусе:

$$E_T^{11} = (F_{уч н}^{11} + F_{уч в}^{11}) \frac{H_{пл}^{11}}{2}.$$

Объем отходов, м³, складываемых в котловане, первом и втором ярусах:

$$E_T^* = E_k + E_T^1 + E_T^{11}.$$

Определившись с геометрическими размерами участков складирования полигона ТБО, далее проектируют инженерные элементы системы природоохранных мероприятий по исключению негативного воздействия отходов на компоненты природной среды. Основное отрицательное воздействие отходов на природную среду в местах их размещения — проникновение фильтрата в горные породы зоны аэрации и затем на поверхность грунтовых вод, а также загрязнение прилегающей территории поверхностным стоком, стекающим с участка складирования ТБО.

Для снижения вероятности такой опасности до начала эксплуатации полигона выполняют защиту горных пород в его основании.

Естественным геохимическим барьером в основании полигона могут служить горные породы, обладающие требуемыми фильтрационными свойствами ($K_{\text{ф}} < 1 \cdot 10^{-7}$, м/с), имеющие достаточную мощность слоя (не менее 1 м) и способные задерживать загрязняющие вещества. Наличие подобных горных пород в основании полигона, обладающих свойствами природных геохимических барьеров, — одно из основных условий выбора места для его размещения.

Если эти условия не выполняются, то необходимы дополнительные проектные решения по строительству защитных экранов.

Срок службы защитных экранов определяется как периодом эксплуатации полигона (продолжительностью заполнения полигона до проектной его вместимости), который составляет 15...30 лет, так и пассивным периодом, когда полигон уже закрыт. Однако в теле полигона после закрытия и его рекультивации активно протекают гидрогеологические процессы, миграция влаги и биохимическое разложение органического вещества, сопровождающиеся образованием фильтрата и биогаза. Длительность этих процессов определяется морфологическим составом отходов, климатическими условиями и другими факторами и составляет около 30...100 лет. Таким образом, срок службы защитных экранов полигонов ТБО должен составлять 45...100 лет.

Фильтрат и биогаз представляют собой агрессивную среду. Поэтому при подборе конструктивных материалов следует оценивать их устойчивость к агрессивным средам, долговечность и неизменчивость их физико-механических свойств во времени. В любом случае при устройстве защитных экранов необходимо применять сертифицированные материалы, разрешенные для применения при устройстве подобных конструкций.

Основное функциональное назначение защитных экранов, устраиваемых в основании полигонов, — создание барьера, препятствующего проникновению фильтрата в горные породы зоны аэрации и на поверхность грунтовых вод. Для создания гидроизоляционных элементов, образующих конструкцию защитного эк-

рана, применяют комбинации как природных минеральных материалов (глину, песок, гравий и щебень), так и искусственных (полимерные, геосинтетические и комбинированные).

В зависимости от водопроницаемости горных пород в основании полигонов защитный экран, устраиваемый в основании, можно выполнять из конструктивных элементов, показанных на рисунке 5.25, *а* в случае, когда основание полигона сложено водопроницаемыми горными породами ($K_{\text{ф}} > 1 \cdot 10^{-7}$ м/с) и мощность которых менее 1 м, и на рисунке 5.25, *б* в случае, когда устраиваемое основание полигона сложено слабопроницаемыми грунтами ($K_{\text{ф}} \leq 1 \cdot 10^{-7}$ м/с) и мощность которых не менее 1 м.

При устройстве глиняного замка в основании полигона его выполняют из природных глин или равноценных им минеральных материалов с коэффициентом фильтрации $K_{\text{ф}} \leq 1 \cdot 10^{-9}$ м/с при градиенте фильтрационного напора $i = 30$, толщиной не менее 0,5 м, в два слоя. Укладывают глиняный замок слоями с отдельным их уплотнением до достижения максимальной плотности в каждом. Назначение глиняного экрана — исключить просачивание фильтрата в породы зоны аэрации.

Для предохранения глиняного экрана от образования трещин при высыхании или размягчении при увлажнении в процессе строительства глиняный замок возводят участками, каждый из которых защищают последующими слоями, отсыпаемыми сразу же

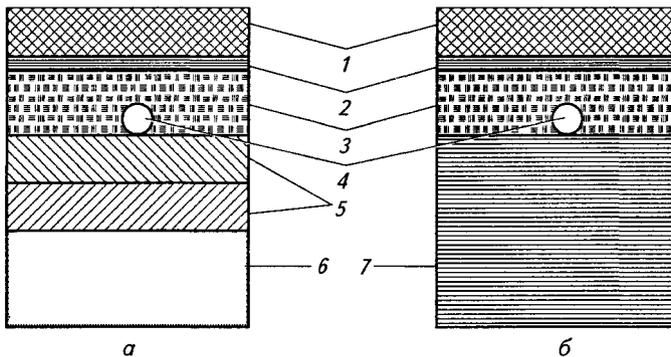


Рис. 5.25. Защитный экран, устраиваемый в основании полигона:

а — основание полигона сложено водопроницаемыми горными породами или мощность слабопроницаемых пород менее 1 м; *б* — основание полигона сложено слабопроницаемыми грунтами или их мощность не менее 1 м; 1 — слой ТБО; 2 — выравнивающий слой из минерального грунта (0,2 м); 3 — дренажный слой из гальки (0,3 м); 4 — дренажная труба диаметром, равным 0,1 м; 5 — гидроизоляционный слой (два слоя уплотненной глины по 0,25 м каждый); 6 — основание полигона, сложенное проницаемым грунтом; 7 — основание полигона, сложенное слабопроницаемым грунтом мощностью не менее 1 м

после окончания уплотнения второго (третьего) слоя глиняного замка.

В последние годы стали достаточно широко применять геосинтетические материалы при устройстве противофильтрационных экранов в основании полигона (рис. 5.26).

Конструкция противофильтрационного экрана, устраиваемого по основанию и внутренним откосам котлована, включает применение бентофикса, карбофола, секутекса.

Бентофикс — универсальный изолирующий материал, выполненный на минеральной основе (бентонит). Геосинтетическое покрытие на минеральной основе из армированного волокна представляет собой самоизолирующую защитную мембрану с комбинированной структурой. Натуральный натриевый бентонит абсорбирует воду внутри кристаллов и влагонасыщается, благодаря чему закрываются остаточные пространства пор минерала, после чего коэффициент фильтрации достигает 10^{-9} м/с.

Карбофол — изолирующее полимерное покрытие, изготовленное из полиэтилена высокой плотности низкого давления. Геомембраны из карбофола обеспечивают полную изоляцию от просачивания различных жидкостей, в том числе токсичных.

Секутекс — иглопробивной штапельно-волоконистый нетканый геотекстильный материал, используемый в качестве защитного слоя.

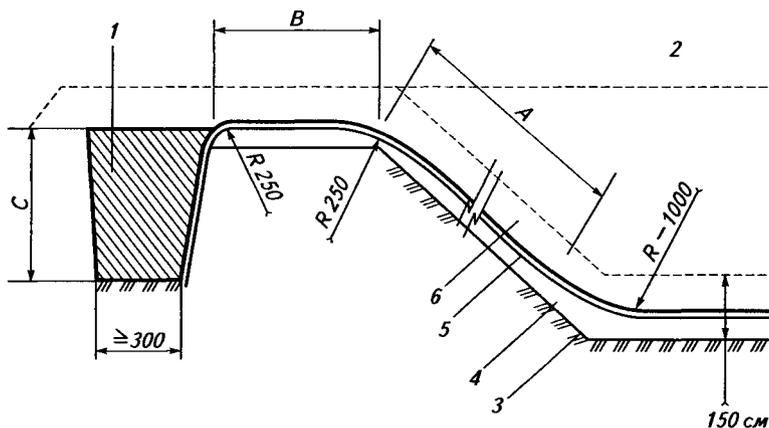


Рис. 5.26. Противофильтрационный экран, устраиваемый в основании полигона из геосинтетических материалов:

A — длина откоса котлована; *B* — ширина бермы; *C* — глубина анкерной траншеи; *1* — анкерная траншея с заполнителем или песком; *2* — котлован; *3* — грубое выравнивание; *4* — слой песка; *5* — система гидроизоляции (геомембрана); *6* — песок

Укрывающий слой из крупнозернистого песка одновременно выполняет функцию дренажного слоя. В слое крупнозернистого песка впоследствии устраивают дренажную систему для удаления фильтрата, состоящую из дренажных труб, обсыпанных гравийной смесью.

Глубина анкерной траншеи зависит от длины откоса котлована и ширины бермы (табл. 5.12).

5.12. Зависимость глубины анкерной траншеи от длины откоса котлована и ширины бермы

Длина откоса котлована, м	Ширина бермы, м	Глубина анкерной траншеи, м
< 10	≥ 0,6	≥ 0,6
10...40	≥ 1	≥ 0,8
> 40	≥ 1,5	≥ 1

Используемые рулонные материалы должны соответствовать нормативным документам (ГОСТ 30547—97) и иметь соответствующие сертификаты фирм-изготовителей.

Для большинства видов геосинтетических матов «БЕНТО-ФИКС» требуется бентонитовый порошок и нетканые геотекстильные полосы шириной 20 см, используемые впоследствии для заделки швов.

Материал поступает на строительную площадку в рулонах; размер материала в одном рулоне составляет 4,85 × 40 м. Рулоны бентофикса обычно поставляют на площадку в контейнерах или в грузовиках с открытым верхом. Место разгрузки должно быть сухим, ровным и свободным от посторонних предметов.

Бентонитовый порошок, упакованный в мешки, и нетканые геотекстильные полосы должны быть защищены от дождя и снега.

Для разгрузки и хранения материалов должна быть подготовлена площадка с твердым, сухим и хорошо дренирующим основанием. Рулоны можно выгружать с помощью специальных строп, выполненных в виде двух ремней шириной 20 см и более, обернутых вокруг рулона на расстоянии $\frac{1}{3}$ ширины от краев рулона, подвешенных к крюку подъемного крана или ковшу экскаватора таким образом, чтобы исключить повреждение разгружаемых рулонов. Также можно использовать металлическую траверсу или трубу, вставляемую во внутреннюю полость рулона.

Целостность упаковки проверяют после доставки во время выгрузки и складирования. Незначительные повреждения заклеивают липкой лентой. Снимают упаковку с материала непосредственно перед его укладкой.

Максимальная высота штабелирования — 5 рулонов. Уложенные на складе рулоны должны быть укрыты материалом, защищающим их от дождя, снега и солнечного света. Незначительные по-

вреждения укрывного материала также заделывают липкой лентой.

Для укладки рулонов требуются машины, механизмы и оборудование: экскаватор (на гусеничном или колесном ходу); фронтальный погрузчик; приспособления для транспортировки рулонов по строительной площадке; вода (прицепная цистерна); промышленная дрель с миксерной насадкой; источник электроэнергии (генератор или кабельная линия) для привода дрели; ящик для приготовления раствора (примерно на 80 л); ручная тележка; десятилитровые ведра-совки; мастерки (кельмы); ножи или электролобзик для резки рулонов; маркеры или мел; рулетка; метла; ролик-ковая гладилка.

Геосинтетические маты «Бентофикс» укладывают в сухую погоду при положительной температуре окружающего воздуха. Отсыпку защитного слоя выполняют из немерзлого грунта. В случае дождя уложенные рулоны с содержанием в них влаги менее 50 % должны быть укрыты защитным слоем грунта.

Перед укладкой геосинтетических матов «Бентофикс» поверхность дна котлована и его откосов хорошо выравнивают, а основание — хорошо утрамбовывают, мест со стоячей водой быть не должно, а также острых выступов и углублений с перепадом высот более 3 см. Качество уплотнения основания должно быть таким, чтобы после проезда грузового транспорта не образовывалась колея от колес.

Края рулонов маркируют с нижней стороны цветной линией, отмечающей зону последующего перехлеста рулонов шириной 30 см. Далее рулоны раскатывают с помощью такелажного приспособления так, чтобы напечатанный торговый знак «Бентофикс» был на видимой стороне поверхности. Укладывают рулоны в любом направлении с устройством нахлеста в стыках по принципу укладки кровли в направлении уклона.

Движение транспорта по уложенным геосинтетическим матам запрещено, а хождение по ним должно быть сведено к минимуму.

Для предотвращения загрязнения склеивающей бентонитовой пасты в зоне стыка ее немедленно укрывают неткаными полосами, входящими в поставку, которые укатывают ролик-ковкой гладилкой.

В местах Т-образных и перекрестных стыков нетканые полосы должны располагаться над стыком, а не внутри его.

При механических повреждениях геосинтетических матов «Бентофикс» на них накладывают дополнительный слой из аналогичного материала (в виде заплатки). Размеры ее должны быть на 0,5 м больше габаритов поврежденного участка во всех направлениях.

Материал «Бентофикс» выполняет роль как влагозадерживаю-

щего, так и подстилающего элемента в системе противофильтрационного нижнего экрана. В связи с этим устройство слоя «Бентофикс» должно опережать работы по укладке и сварке рулонов полотнищ, выполняемых из материала «Карбофол», не более чем на объем работ двух смен.

Укладку противофильтрационного экрана из материала «Карбофол» выполняют при температуре воздуха не ниже -5°C . Все работы по сооружению пленочной гидроизоляции оформляют соответствующими актами освидетельствования скрытых работ. «Карбофол» поставляют в рулонах $9,4 \times 200$ м. Площадка для хранения должна быть ровная, свободная от острых предметов.

Перед укладкой пленочного материала «Карбофол» на поверхности уложенного слоя из «Бентофикса» должны отсутствовать предметы, которые могли бы его повредить. Сваривают уложенные пленочные полотнища при температуре воздуха не ниже -5°C . Сварочные швы ориентируют вдоль, а не поперек склона котлована. Все горизонтальные швы на дне котлована располагают не менее 0,5 м от подошвы склона.

Соединяют пленочный материал в единое полотно контактной или экструзионной сваркой внахлест или с образованием Т-образного шва. Прочность шва должна составлять не менее 80 % прочности свариваемого материала.

При выполнении контактной сварки предусматривают двойной шов с каналом для испытания герметичности шва. Процесс контактной сварки рулонных пленочных материалов включает раскатку рулонных материалов с укладкой их внахлест с перекрытием краев 10...15 см, без складок. Далее очищают сварочную полосу вдоль кромок от влаги, грязи. После этого сварочный аппарат располагают в начале свариваемого шва. Аппарат, перемещаясь вдоль кромок раскатанных рулонов, выполняет их сварку.

При экструзионной сварке полимерный материал в расплавленном состоянии под давлением подают в зону сварного шва, приводя полимерный материал на линии шва в вязко-текучее состояние, и за счет избыточного давления происходит соединение стыкуемых элементов. Для более качественной сварки свариваемый материал необходимо предварительно подогреть.

При экструзионной сварке полимерные полотнища укладывают внахлест с перекрытием кромок краев на 10...15 см. Свариваемая полоса вдоль кромок должна быть очищена от влаги и грязи и проведена временная прихватка полотнищ аппаратом горячего воздуха. Поверхность пленочного материала на расстоянии не менее 10 мм от края шва должна быть обработана абразивным инструментом. Обработку следует проводить не более чем за 0,5 ч до начала сварочных работ.

Рекомендуемые режимы сварки пленочных гидроизоляционных материалов следующие:

Показатель	Сварка горячим	
	клином	воздухом
Температура нагревателя, °С	280...400	350...450
Сварочное давление, Н	20	20
Скорость сварки, м/мин	0,54...2,5	0,5...2,5

Для испытания шва на прочность используют образцы сварного соединения шириной 20...50 мм. Шов считают прочным, если вытягивание одного из сваренных полотнищ происходит не по шву, и сваренные элементы не разъединяются.

Герметичность шва проверяют, подавая избыточное давление воздуха в сварочный канал. Шов считают герметичным, если через 10 мин давление упадет не более чем на 20 %.

Укладывать пленочные гидроизоляционные полотнища во время сильных ветров и интенсивных атмосферных осадков не допускается. При этом механизмы и оборудование, применяемые при укладке рулонных материалов, не должны повреждать поверхности.

«Секутекс», иглопробивной штапельно-волокнистый геотекстильный материал, поступает в рулонах массой до 100 кг. Специальных машин и оборудования для его укладки не требуется. Достаточно рулоны на месте укладки развернуть непосредственно перед устройством укрывающего слоя.

В связи с высоким коэффициентом парусности пленочных материалов для исключения воздействия ветра необходимо их временно пригружать мешками с песком или другими предметами. Запрещается движение транспорта по уложенному пленочному материалу.

Ежедневно после укладки и приемки выполненной за смену работы экран из геосинтетического материала укрывают слоем грунта толщиной не менее 0,3 м с максимальным размером частиц 16 мм или с максимальным размером каменных включений не более 32 мм и с коэффициентом неоднородности >5.

Отсыпают и затем разравнивают защитный слой бульдозером. Заезд самосвалов, загруженных материалами, и бульдозеров на защитный слой допускается только в том случае, если его толщина не менее 0,3 м. Перемещается бульдозер при отсыпке и разравнивании защитного слоя вдоль соединительных швов. При устройстве защитного слоя на откосе движение бульдозера по плоскости откоса допускается только снизу вверх при условии, что уклон откоса соответствует паспортным параметрам бульдозера, а толщина защитного слоя составляет не менее 0,3 м.

При составлении схемы рабочих перемещений машин и механизмов на карте экранирования по защитному слою развороты бульдозера не должны превышать 15° , при этом вращение на одной гусенице запрещается.

Защитный слой после укладки и сварки пленочных полотнищ отсыпают не ранее чем через 72 ч.

Крепят пленочный гидроизоляционный экран на берме котлована после окончания укладки защитного слоя на откосе. Качество защитного слоя контролируют постоянно (на площади 100 м^2 выполняют не менее пяти замеров толщины слоя).

С целью разгрузки гидростатического давления фильтрата на противофильтрационный экран в основании полигона проектируют дренажную систему. Система сбора фильтрата предназначена для отвода отходов по трубам в изолированные водоприемные емкости, расположенные за пределами насыпи (площадки складирования), рассчитанные на периодическую их откачку в систему городской канализации или в автоцистерны с целью последующего вывоза на ближайшие очистные сооружения.

Систему дрен в котловане устраивают отдельно для каждой очереди эксплуатации полигона первого яруса. Дренажная сеть в котлованах состоит из двух взаимно перпендикулярных коллекторов и входящих в них дрен-собирателей. При этом один из коллекторов соединен с резервуаром-накопителем, вынесенным за пределы карт отсыпки (рис. 5.27).

Коллекторы и дрены выполняют из перфорированных труб.

Оптимальное расстояние между дренами принимают $50 \dots 70 \text{ м}$. Выполняют дренажные трубы из полиэтилена высокого давления, устойчивого к агрессивной среде фильтра и достаточно прочного, чтобы воспринимали давление выше уложенных отходов и

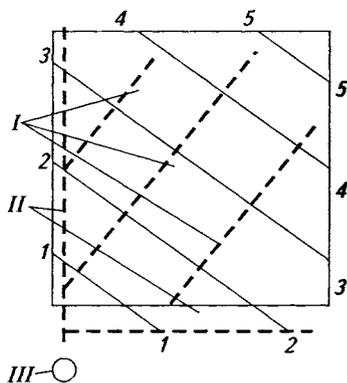


Рис. 5.27. Компоновка дренажной сети в котлованах каждой очереди эксплуатации полигона:

I—*1*, ..., *5*—горизонталь поверхности дна котлована после устройства противофильтрационного экрана; *I*—дрены; *II*—коллекторы; *III*—резервуар-накопитель

динамическую нагрузку от работающей техники. Бетонные трубы для устройства дренажа использовать не рекомендуется, так как опыт эксплуатации полигонов показал, что бетон не устойчив в агрессивной среде фильтрата.

Дну котлованов придают уклон $0,001...0,003$. Диаметр дренажных труб принимают 100 мм, а коллекторов — 150 мм, трубы обсыпают гравийно-щебеночной обсыпкой по методу обратного фильтра. Толщина фильтра должна быть в 2 раза больше диаметра труб. Конструкция дрены и коллектора показаны на рисунке 5.28.

Далее формируют дренажный слой, отсыпая крупнозернистый песок между коллекторными и дренажными трубами. По верху дренажного слоя формируют переходный слой из песка. После этого укладывают отходы. Дренажный слой предназначен для отведения фильтрата к дренажным трубам. Поверхность дренажного слоя должна быть параллельна спланированной поверхности дна котлована.

Фильтрат, образующийся в свалочном теле, по дренам поступает в коллекторы, один из которых соединен с колодцем — приемником фильтрата. Проходка коллектором противофильтрационного экрана показана на рисунке 5.29. Приемные колодцы устанавливают вне котлованов и соединяют с коллектором (рис. 5.30). Они состоят из типовых железобетонных элементов и чугунных смотровых люков с крышками. Спецификация железобетонных элементов колодцев приведена в таблице 5.13.

При монтаже колодцев используют цементный раствор М200. Для спуска в колодец должно быть предусмотрено устройство лестниц в виде забивных металлических скоб. В крышках колодцев

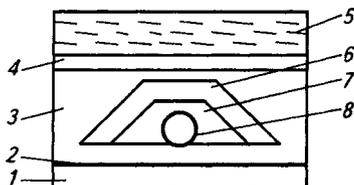


Рис. 5.28. Конструкция дрены:

1 — выравнивающий слой; 2 — противофильтрационный экран, уложенный на выровненную и спланированную поверхность основания под проектный уклон; 3 — защитный слой из крупнозернистого песка; 4 — переходный слой из песка; 5 — отходы; 6, 7 — два слоя гравийно-щебеночной обсыпки дренажных труб по методу обратного фильтра; 8 — дренажная труба

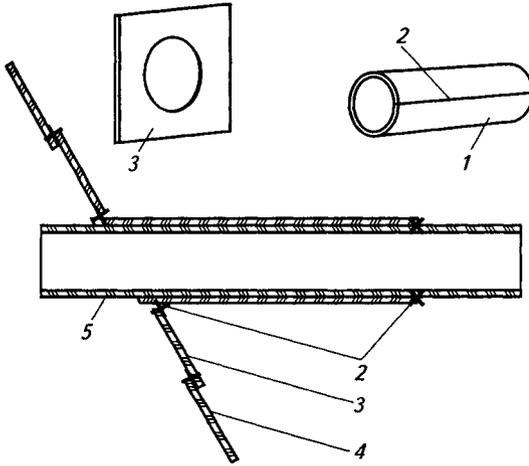


Рис. 5.29. Оформление прохода устьевой трубы сквозь противофильтрационный пленочный экран:

1 — рукав, 2 — сварной шов, 3 — юбка, 4 — геомембрана, 5 — труба

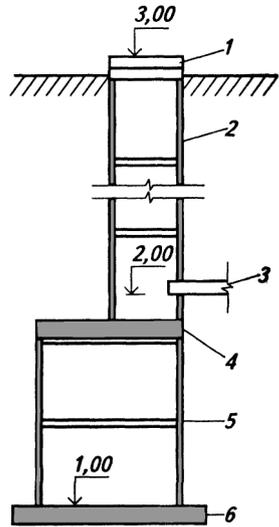


Рис. 5.30. Конструкция приемного (устьевого) колодца:

1 — люк колодца, 2, 5 — кольца КЦ-10-9 и КЦ-20-9, 3 — труба, 4, 6 — плиты перекрытия КЦП1-20-1 и КЦ-20

необходимо предусмотреть отверстие диаметром 250 мм для опускания погружного насоса. Колодцы монтируют в заранее подготовленные котлованы.

Все наружные и внутренние железобетонные поверхности колодцев перед их монтажом необходимо покрыть гидроизоляционным материалом, устойчивым к воздействию кислот и щелочей, например специальной кислотоупорной пленкой ПЭНД толщиной 0,5 мм.

5.13. Спецификация железобетонных изделий колодцев

Наименование изделия	Марка изделия	Масса, т	Размеры изделия, мм			Число
			D	H	C	
Плита перекрытия	КЦП1-10-1	0,25	1160	150	150	4
Кольцо стеновое	КЦ-10-9	0,6	1000	890	80	16
Плита перекрытия	КЦП1-20-1	1,28	2200	150	650	4
Кольцо стеновое	КЦ-20-9	1,47	2000	890	100	8
Плита днища	КЦ-20	01,47	2500	120	150	4

Фильтрат образуется на участке захоронения отходов в течение теплого и холодного времени года: в теплый период — из-за осадков в виде дождя. Образование фильтрата в холодное время года связано с таянием снега на поверхности уложенных отходов за счет тепла, выделяемого при разложении органического вещества в толще свалочного тела, а также захоронением значительной части выпавшего снега совместно с укладываемыми отходами. Количество фильтрата, образующегося на полигонах, определяют как разницу между количеством выпавших осадков и объемом влаги, расходуемой на испарение, достижение отходами полной влагоемкости и на поверхностный сток.

Для определения объема фильтрата, удаляемого из свалочного тела в период эксплуатации полигона, необходимы элементы водного баланса 50%-й обеспеченности. Таким образом, расчетное значение инфильтрационного питания за зимне-весенний расчетный период, мм/сут:

$$q_{з/в} = [\alpha Oc_{з/в} - E_{з/в}] \frac{1}{T_{з/в}},$$

где α — коэффициент, учитывающий долю осадков, впитывающихся в почву в зимне-весенний период, $\alpha = 0,6$; $Oc_{з/в}$ — осадки за зимне-весенний период, мм; $E_{з/в}$ — испарение с поверхности полигона за тот же период, мм; $T_{з/в}$ — продолжительность зимне-весеннего периода, сут.

Испарение влаги с поверхности площадки складирования за зимне-весенний расчетный период

$$E_{з/в} = E_0 p_2 k_2,$$

где E_0 — испарение влаги с водной поверхности 50%-й обеспеченности, мм; p_2 — доля испарения с водной поверхности за зимне-весенний расчетный период; k_2 — коэффициент приведения испарения с водной поверхности к испарению с поверхности полигона, $k_2 = 0,7$.

Аналогично рассчитывают инфильтрационное питание, мм/сут, за летне-осенний период

$$q_{л/о} = [\alpha Oc_{л/о} - E_{л/о}] \frac{1}{T_{л/о}},$$

где α — коэффициент, учитывающий долю осадков, впитывающихся в почву в летне-осенний период, $\alpha = 1$; $Oc_{л/о}$ — осадки за летне-осенний расчетный период 50%-й обеспеченности, мм; $E_{л/о}$ — испарение с поверхности полигона за летне-осенний расчетный период, мм:

$$E_{л/о} = E_0 p_2^* k_2,$$

p_2^* — доля испарения с водной поверхности за летне-осенний расчетный период;
 $T_{л/о}$ — продолжительность летне-осеннего периода, сут.

Если считать, что отходы на полигон поступают равномерно в течение всего года, то объем фильтрата, образующегося в течение года,

$$Q_{\text{ф}} = (q_{з/в} T_{з/в} + q_{л/о} T_{л/о}) F_{\text{уч}}$$

Полная полевая влагоемкость ТБО составляет 30...40 % объема укладываемых отходов, а отходов, поступающих на полигоны, — 15...20 % их объема, поэтому надо учитывать объем влаги на насыщение отходов до полной влагоемкости.

Обычно годовое количество инфильтрующих осадков по каждой очереди эксплуатации полигона больше водонасыщения отходов, поэтому в проекте необходимо предусматривать системы откачки фильтрата из приемных колодцев в резервуар-накопитель или систему городской канализации.

В процессе захоронения ТБО на полигонах в атмосферный воздух выделяются загрязняющие вещества, являющиеся продуктом разложения органической составляющей отходов (пищевые и древесно-растительные отходы, макулатура и текстиль). При максимально благоприятных условиях для жизнедеятельности метанообразующих бактерий из каждой 1 т ТБО образуется примерно 80...150 м³ сырого биогаза, имеющего теплотворную способность 18 900...25 100 кДж/м³.

Как показала практика эксплуатации полигонов ТБО, в первоначальный период их эксплуатации (до 2...3 лет) отходы разлагаются в аэробных условиях с образованием преимущественно СО₂, и только по истечении этого срока процесс разложения органического вещества становится анаэробным с выделением биогаза.

В процессе эксплуатации полигона часть образующегося в свалочном теле биогаза по мере его накопления и повышения пластического давления выходит на поверхность полигона. После прекращения эксплуатации полигона и его перекрытия процесс интенсивного образования биогаза продолжается в последующие 10 лет и более. Поэтому в составе проекта рассматривают мероприятия по дегазации свалочного тела полигона. Для использования биогаза в энергетических целях требуется наличие достаточного его количества при стабильном давлении. Обычно образование биогаза на полигонах характеризуется непостоянством объема и низким давлением (около 10 кПа). Кроме того, при активной дегазации происходит подсос воздуха, что может вызвать взрыв газовой смеси. Поэтому на полигонах чаще применяют пассивную де-

газацию путем устройства газоотводящих скважин.

С целью исключения поступления на территорию полигона поверхностных вод со стороны водосбора устраивают нагорные каналы, длину которых принимают из условия защиты территории полигона. Поверхностный сток, собираемый нагорными каналами, отводят в ливневую канализацию. При наличии благоприятных гидрогеологических условий территории полигона (неглубокое залегание водопроницаемых горных пород и низкое залегание уровня грунтовых вод) и незначительном загрязнении поверхностного стока используют водопоглощающие колодцы.

Поперечное сечение нагорных каналов принимают трапециевидальной формы, ширину канала по дну $b_k = 0,5 \dots 1$ м, в зависимости от ожидаемого расхода воды; глубину канала h_k рассчитывают. Устойчивое состояние откосов канала при их заложении $m = 1,5$ обеспечивается при соотношении $\frac{b_k}{h_k} = 0,61$. В этом случае $h_k = \frac{b_k}{0,61}$.

Продольный уклон дна нагорного канала принимают с учетом рельефа местности, но не круче 0,003.

Поверхностный сток, м³/сут, поступающий с водосборной площади бассейна менее 0,5 км², определяют по формуле

$$Q_c = 0,56hF\beta\gamma\sigma,$$

где h — толщина слоя поверхностного стока при продолжительности ливня 30 мин, мм; F — площадь водосборного бассейна, км²; β — коэффициент расплывания паводка, $\beta = 1$; γ — коэффициент неравномерности выпадения осадков, $\gamma = 1$; σ — коэффициент озерности бассейна, $\sigma = 0,8$.

Далее вычисляют скорость течения воды, м/с, в канале:

$$v = C\sqrt{Ri},$$

где C — коэффициент Шези, определяемый по формуле Манинга $C = \frac{1}{R^y}$ (R — гидравлический радиус, м; y — показатель степени, $y = 0,167$); i — уклон для канала.

Рассчитав скорость течения воды v , определяют пропускную способность канала $Q_k = \omega v$, где ω — площадь живого сечения, м². При этом должно соблюдаться условие $Q_c \leq Q_k$.

В составе проекта полигона ТБО проектируют административно-хозяйственную зону, предназначенную для размещения административно-бытового корпуса; контрольно-пропускного пункта КПП, совмещенного с пунктом стационарного радиометрическо-

го контроля и весовой; гаража и площадки с навесом для хранения строительной техники; мастерских для ремонта машин и механизмов; склада топливно-смазочных материалов; складов для хранения энергоресурсов, стройматериалов, спецодежды, хозяйственного инвентаря и других материалов; объектов линий электро-снабжения и других сооружений; пожарного резервуара.

Территория хозяйственной зоны должна иметь твердое покрытие и освещение. На крупных полигонах, принимающих более 360 тыс. м³ в год ТБО и рассчитанных на срок эксплуатации более 15 лет, водоснабжение обеспечивается из артезианских скважин, проектируемых в составе объекта.

На выезде из полигона должна быть предусмотрена контрольно-дезинфицирующая яма в виде железобетонной ванны длиной 8 м, глубиной 0,3 м и шириной 3 м для дезинфекции колес мусоровозов. Ванну в теплый период года заполняют 3%-м раствором лизола и опилками.

Расход воды на пожаротушение составляет 10 л/с. На территории АХЗ предусматривают железобетонный резервуар или пруд вместимостью около 50 м³.

По периметру всей территории полигона проектируют ограждение высотой 1,8 м. В ограде полигона у производственно-бытового здания проектируют ворота или шлагбаум. Наружное освещение по постоянной схеме предусматривают только в пределах хозяйственной зоны. Суточные карты освещаются по временной схеме. Схема административно-хозяйственной зоны показана на рисунке 5.31.

Согласно санитарным правилам и нормам «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов твердых бытовых отходов» СанПиН 2.1.7.722—98 санитарную зону принимают ши-

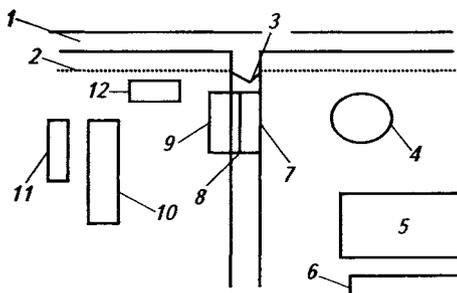


Рис. 5.31. Схема административно-хозяйственной зоны:

- 1 — подъездная дорога; 2 — ограждение; 3 — ворота и пост радиометрического контроля; 4 — пруд для пожаротушения; 5 — стоянка для автомобилей; 6 — склад топливно-смазочных материалов (ТСМ); 7 — дезинфицирующая яма; 8 — весовая; 9 — контрольно-пропускной пункт; 10 — вагончик для рабочих; 11 — санузел; 12 — трансформаторная подстанция

риной 1,0 км. В санитарно-защитной зоне запрещается размещение жилой застройки, скважин и колодцев для питьевых целей.

Технологическая схема эксплуатации полигона может включать несколько очередей. Обычно первая очередь представляет со-

бой пусковой комплекс, в который входят состав сооружений и виды работ, необходимые для обеспечения производственной деятельности предприятия. Состав работ пускового комплекса включает следующее: строительство автодороги до полигона; ограждение территории полигона и установку ворот; возведение хозяйственно-административной зоны с полным набором сооружений; разработку грунта в котловане 1-й очереди и складирование его во временные кавальеры; строительство кольцевой автодороги от хозяйственной зоны до полигона; строительство нагорного канала и пожарного пруда; прокладку сети электроснабжения. Далее готовят котлован 1-й очереди под эксплуатацию. Состав работ подготовки котлована 1-й очереди включает: планировку основания до проектных отметок; устройство противофильтрационного экрана по дну и откосам котлована; укладку дренажных труб с устройством устьевого колодца.

После этого котлован 1-й очереди заполняют до уровня дневной поверхности земли. В процессе заполнения полигона отходами ведут прием отходов, их складирование и перекрытие уплотненных отходов минеральным грунтом. Основные этапы складирования отходов на полигоне показаны на рисунке 5.32.

Для обеспечения общей устойчивости полигона по его периметру осыпают дамбы обвалования из минерального грунта и ведут заполнение 1-й очереди отходами до верхней проектной отметки 1-го яруса. Аналогично заполняют котлованы 2-й, 3-й и последующих очередей эксплуатации полигона.

Проезжают к участкам захоронения отходов по кольцевой автодороге. Для съезда в котлованы устраивают пандусы-съезды или выезды.

Заполнение каждой очереди эксплуатации полигона отходами ведут картовым методом. Прибывающие на полигон мусоровозы разгружаются возле рабочих карт. Для этих целей вблизи каждой рабочей карты организуют площадку разгрузки, которую условно разбивают на две части: на одной разгружаются мусоровозы, на другой работают бульдозеры. Выгруженные из мусоровозов отходы накапливают на площадке и затем бульдозерами перемещают в рабочие карты. Заполняют рабочие карты по методу «надвиг» при работе на нижних отметках, либо по методу «сталкивание» — на верхних отметках.

При работе по методу «надвиг» отходы перемещают с площадок разгрузки бульдозерами в пределы рабочей карты, расположенной в основании формируемого яруса, создавая на ней вал с пологим откосом $m = 7$ и толщиной укладываемого слоя отходов до 0,5 м.

Складирование ТБО методом «сталкивания» выполняют сверху вниз. При методе «сталкивания» мусоровозы разгружаются также



Рис. 5.32. Основные операции, выполняемые при заполнении полигона отходами

на площадках разгрузки, устраиваемых возле рабочей карты, но расположенных на верхней заизолированной поверхности заполняемого яруса, сформированного в предыдущие дни.

При разгрузке мусоровозов плотность ТБО уменьшается, достигая около $0,21 \text{ т/м}^3$.

Высоту формируемого слоя h_c ТБО на рабочей карте обычно принимают $1,8 \dots 2 \text{ м}$. Тогда ширина рабочей карты, m , при заложении внешнего откоса формируемого яруса $m = 7$ составит: $B_{\text{рк}} = \sqrt{1 + m^2} h_c$; площадь поперечного сечения отсыпаемых отходов на рабочей карте, m^2 ,

$$\omega_{\text{сут}} = B_{\text{рк}} h_c, \text{ м}^2;$$

длина рабочей карты, m ,

$$L_{\text{рк}} = V_{\text{сут}} / \omega_{\text{сут}},$$

где $V_{\text{сут}}$ — суточный объем принимаемых отходов с учетом их разуплотнения.

С учетом доставки отходов на полигон мусоровозами площадки для их разгрузки будут иметь размеры: длину, м,

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{рк}}/2;$$

ширину, м: $B_{\text{пр}}$ не менее 3 м. Тогда площадь, м^2 , площадки разгрузки мусоровозов

$$F_{\text{р/м}} = L_{\text{пр}} B_{\text{пр}}.$$

После заполнения рабочей карты отходами слоем 0,5 м их уплотняют кулачковыми катками при 4-кратном попутном проходе по одному и тому же следу. Плотность ТБО после проходки кулачковых катков достигает 0,6...0,8 $\text{т}/\text{м}^3$. В результате уплотнения объем уплотняемого слоя уменьшается с $W_{\text{сут}}$ до $W_{\text{уп}}$. Учитывая постоянство массы складироваемых отходов $W_{\text{сут}} \cdot \gamma_1 = W_{\text{уп}} \cdot \gamma_2$, определяют уменьшение толщины слоя уплотняемых отходов:

$$h_{\text{суп}} = \frac{h_{\text{с}} \cdot \gamma_1}{\gamma_2}, \text{ м.}$$

Уплотненный слой ТБО в пределах рабочей карты укладки ТБО в конце рабочего дня засыпают слоем минерального грунта 0,2 м.

При эксплуатации полигона основными механизмами работы по перемещению, разравниванию и планированию отходов являются бульдозеры и катки. Для устройства изолирующих слоев используют экскаватор и автосамосвал. Грунт разрабатывают в котлованах или в кавальерах экскаватором с подвозкой к изолируемым рабочим картам. Разравнивают и уплотняют минеральный грунт также бульдозером.

Для полигонов ТБО разрабатывают проект экомониторинга для контроля за качественным и количественным составом поступающих на полигон отходов; техническим состоянием инженерных сооружений; за изменением качества поверхностных, подземных вод и атмосферного воздуха; почвенным и растительным покровом; шумовым загрязнением.

Программа мониторинга включает следующие наблюдения:

за химическим составом и количеством образующегося в свалочном теле фильтрата;

изменением качества грунтовых вод за пределами полигона;

загрязнением атмосферного воздуха как в рабочей зоне на территории полигона, так и за ее пределами;

соответствием отходов, поступающих на полигон, заявленной степени опасности.

Мониторинг химического состава фильтрата проводят как на выходе из каждой очереди полигона для определения времени на-

ступления метановой фазы, так и на выходе с полигона для определения суммарной степени загрязнения фильтрата. Периодичность измерений — один или два раза в год. При резком изменении качественного и количественного составов фильтрата периодичность наблюдений увеличивают.

Качество грунтовых вод контролируют периодически через наблюдательные скважины, пробуренные за пределами полигона, позволяющие обнаруживать изменения химического состава подземных вод.

Система мониторинга должна включать постоянное наблюдение за состоянием воздушной среды. В этих целях ежеквартально берут пробы воздуха, который отбирают в приземном слое в зоне перекрытого участка свалки и на границе с санитарно-защитной зоной, на содержание в нем соединений, характеризующих процесс биохимического разложения наиболее опасных ТБО.

Количество и состав газов в атмосферном воздухе определяют систематически с привлечением специализированной организации.

В атмосферном воздухе обязательно устанавливают содержание пыли, микробную обсемененность, аммиак. В отдельных случаях этот список может быть расширен за счет поступления в атмосферный воздух фенола, формальдегида, серы и сероводорода, диоксида азота, метана, диоксида углерода и других соединений.

В случае установления степени загрязнения атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны выше ПДК принимают соответствующие меры, направленные на снижение уровня загрязнения.

Система мониторинга должна включать постоянное наблюдение за состоянием почвы в зоне возможного влияния свалки. Для этого контролируют качество почвы и растений на содержание экзогенных химических веществ (ЭХВ), которые не должны превышать ПДК в почве и соответственно остаточные количества вредных ЭХВ в растительной товарной массе не должны превышать допустимые пределы. Содержание загрязняющих веществ в растениях и почве контролируют не реже одного раза в год (июль—август).

В почве определяют содержание тяжелых металлов и мышьяка, углеводов (суммарное содержание), нефтепродуктов, бензапирена, коли-титры, наличие патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов.

В программу мониторинга не включен анализ поверхностных вод, так как предполагается, что полигон не будет оказывать влияние на этот тип вод из-за достаточно большого удаления его от поверхностных водных объектов.

Химические и токсичные отходы, недопустимые для захороне-

ния на полигоне, контролируют визуально при их поступлении на полигон на участке приема отходов, а также на участке их захоронения машинисты бульдозеров и катков. Если отходы не соответствуют заявленным требованиям, то такие отходы к захоронению на данном полигоне не принимают.

Цель мониторинга фильтрата и подземных вод — получение информации о степени его токсичности для назначения метода очистки. Наблюдения рекомендуют проводить 3...4 раза в год, и 1 раз в год фильтрат подвергают полному химическому анализу. Задача программы мониторинга подземных вод заключается в получении информации об изменении их состава, вызванного возможным просачиванием фильтрата через защитный экран.

Параметры, характеризующие качество подземных вод: прозрачность; рН; количество взвешенного вещества; химическая потребность в кислороде (ХПК); биохимическая потребность в кислороде (БПК_{полн}); коли-фаги; общие колиформные бактерии; яйца гельминтов. К этому перечню добавляются вещества, повышенное содержание которых обусловлено их присутствием в свалочных грунтах: нефтепродукты, толуол, этилбензол, фенол, крезолы, хлорбензол, дихлорбензол, тяжелые металлы, мышьяк и др.

Пробы воды отбирают из наблюдательных скважин (рис. 5.33). Для создания системы слежения за изменением качества подземных вод наблюдательные скважины (не менее 5 штук) бурят в санитарно-защитной зоне полигона. Две скважины располагают выше полигона относительно притока подземных вод (которые будут характеризовать их исходное состояние) и три — ниже полигона относительно оттока подземных вод на расстоянии 50...100 м от полигона (которые будут характеризовать степень влияния полигона на изменение качества подземных вод).

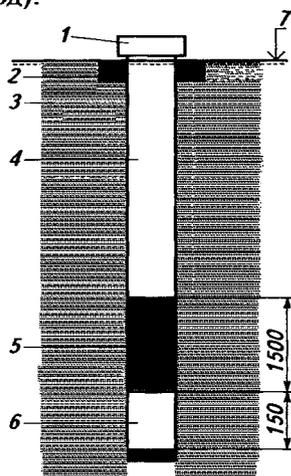
Рис. 5.33. Конструкция наблюдательной скважины:

1 — крышка; 2 — отмостка; 3 — обсадная труба; 4 — фильтр; 5 — отстойник; 6 — пробка; 7 — уровень грунтовых вод

Для того чтобы иметь достоверную информацию о качестве грунтовых вод, скважины бурят в процессе строительных работ. Периодичность отбора проб воды должна быть не реже двух раз в год.

После заполнения полигона до проектной отметки его закрывают и выполняют работы по его рекультивации. Для этого последний слой отходов перед закрытием полигона засыпают слоем минерального грунта.

На высоконагружаемых полигонах со



сроком эксплуатации не менее 5 лет допускается превышение проектной отметки на 10 %. На момент закрытия полигон представляет собой насыпной холм с заложением откосов $m = 3$. Рекультивация закрытого полигона направлена на улучшение экологической обстановки вокруг него. Для этого после стабилизации закрытого полигона выполняют работы по укреплению его наружных откосов. Материалом для этого служат минеральные грунты, вынутые при устройстве котлована, а также привозные грунты и материалы согласно принятой конструкции верхнего защитного экрана.

Окончательное перекрытие поверхности полигона должно включать систему гидроизоляции и газовентиляции. Защитный (гидроизоляционный) экран для уменьшения объемов осадков, поступающих в тело полигона, выполняют в виде глиняного замка или гидроизоляционного экрана из геосинтетических материалов.

Окончательное перекрытие с устройством глиняного замка выполняют следующим образом. В процессе укладки последнего слоя ТБО поверхности полигона придают уклон от его центра в сторону его краев, равный 0,01, с целью отвода поверхностного стока. На спланированную поверхность отходов наносят защитный слой минерального грунта, отсыпаемый в процессе эксплуатации полигона толщиной 0,2 м. Далее по верху защитного слоя наносят дренажный слой из гальки, предназначенный для отвода биогаза толщиной 0,3 м. После этого возводят противифльтрационный экран (два слоя уплотненной глины по 0,25 м каждый). Перед уплотнением глину доводят до оптимальной влажности. По верху глиняного противифльтрационного экрана укладывают дренарующий слой из гальки для отвода просачивающихся атмосферных осадков толщиной 0,3 м. Перед отсыпкой рекультивационного слоя по дренающему слою отсыпают переходный слой по методу обратного фильтра из песка и гравия, а затем отсыпают слой из потенциально плодородных горных пород (легкий суглинок, супесь и др.) и почвенный слой толщиной 0,15...1 м, в зависимости от последующего целевого использования образующейся территории.

Принципиальная конструктивная схема защитного экрана в системе окончательного перекрытия поверхности полигона ТБО показана на рисунке 5.34. Конструкцию защитного экрана из геосинтетических материалов выполняют в таком порядке. После закрытия полигона и его стабилизации планируют поверхность полигона и устраивают системы сбора и удаления биогаза, затем выполняют песчаную подготовку под гидроизоляцию из геотекстильного материала, например Scudran DS 601 K201, имеющего толщину 2 мм. Далее по его верху расстилают гидроизоляционный слой из бентофикса толщиной 7 мм, который накрывают слоем

геотекстильного материала. По его верху отсыпают защитный слой из песка и дренажный из щебня толщиной по 0,3 м каждый. Затем насыпают слой потенциально плодородного грунта (легкий суглинок или супесь) толщиной 0,8 м и плодородный слой толщиной 0,2 м.

Биологический этап рекультивации включает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий.

Для защиты сформированных грунтовых поверхностей от ветровой и водной эрозии их озеленяют. По склонам и бермам (террасам) высаживают защитные древесно-кустарниковые насажде-

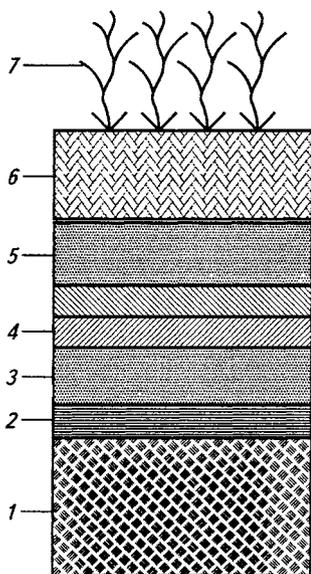


Рис. 5.34. Конструкция защитного экрана в системе финального перекрытия поверхности полигона ТБО:

1 — финишный слой ТБО; 2 — защитный слой минерального грунта (0,2 м), отсыпаемого в процессе эксплуатации полигона; 3 — дренажный слой из гальки толщиной 0,3 м, предназначенный для отвода биогаза; 4 — противодиффузионный экран (два слоя уплотненной глины по 0,25 м каждый); 5 — дренажный слой толщиной 0,3 м из гальки для отвода атмосферных осадков; 6 — рекультивационный слой (0,15...1 м), состоящий из слоя почвы и потенциально плодородных горных пород, в зависимости от последующего целевого использования образующейся территории; 7 — травостой

ния, а по откосам сеют многолетние травы. Верхнее основание полигона обустривают в зависимости от целевого последующего использования.

Контрольные вопросы и задания

1. Чем отличается рекультивация обводненных карьерных выработок от необводненных?
2. В чем суть одновременной разработки карьера и этапа его технической рекультивации?
3. Опишите необходимость и требования к выполаживанию откосов карьера.
4. Каковы требования к создаваемым рекреационным водным объектам?
5. Что представляет собой торф? Охарактеризуйте его полезность.
6. Охарактеризуйте лесные и торфяные пожары по их опасности.
7. Опишите основные элементы системы рекультивации выработанных торфяников.
8. Какова роль систем земледелия в предупреждении пожаров на торфяниках?
9. Опишите конструкцию полигона захоронения твердых бытовых отходов.

Глава 6

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАРУШЕННЫХ АГРОГЕОСИСТЕМ



6.1. МЕТОДЫ И СПОСОБЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННОЙ АГРОГЕОСИСТЕМЫ

Нарушенные агрогеосистемы могут иметь следующие негативные последствия антропогенной деятельности: опустынивание, дегумификацию, переувлажнение, закисление, засоление, осолонцевание, загрязнение остаточным количеством пестицидов, тяжелыми металлами, нефтью, нефтепродуктами и другими токсичными веществами. Восстановления устойчивого функционирования нарушенной агрогеосистемы достигают, управляя круговоротами веществ и потоками энергии. Основу системы управления такими круговоротами составляют принципы природообустройства, обеспечивающие поддержание основных свойств геосистемы. Главные методы создания требуемого рекультивационного режима при восстановлении почвенного слоя — управление водным, химическим, тепловым, газовым и питательным режимами, а также использование специальных растений, растительных сообществ и микроорганизмов.

Для борьбы с дегумификацией применяют восстановление содержания гумуса с помощью адаптивных и почвозащитных систем земледелия (внесение органических удобрений, культивирование специальных севооборотов, содержащих бобовые травы, поддержание благоприятного для биоты водно-воздушного режима почвы с помощью мелиоративной системы и др.). Для рекультивации опустыненных земель — восстановление разрушенных эрозией почв путем организационно-хозяйственных мероприятий, применения восстанавливающих и почвозащитных приемов обработки, применения адаптивных систем земледелия, строительства оросительных и дренажных систем. Для рекультивации переувлажненных земель — регулирование водного режима путем строительства осушительных и дренажных систем. Для рекультивации кислых почв — снижение содержания ионов H^+ и Al^{3+} в почвенном поглощающем комплексе и растворе, известкование почв. Для рекультивации засоленных почв — снижение содержания токсичных солей в почве ($NaCl$, Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , $MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaCl_2$) путем строительства оросительных и дренажных

систем, которые обеспечивают соблюдение поливных режимов, проведение промывок, регулирование глубины грунтовых вод, уменьшение фильтрационных потерь, а также посев солеустойчивых культур. Для рекультивации солонцов — снижение содержания обменного натрия в поглощающем комплексе с помощью трехъярусной и глубокой вспашки для обогащения солонцового горизонта нижележащим карбонатным слоем, глубокое рыхление, внесение гипса, посев фитомелиорантов (люцерна желтая, донник, горчица и др.). При рекультивации земель, загрязненных остаточным количеством пестицидов, — снижение содержания (разложение) или очистка почвы от внесенных пестицидов, используя специальную агротехнику, внесение биодеструкторов и посев фитомелиорантов. Способы рекультивации земель, загрязненных тяжелыми металлами, нефтью, нефтепродуктами и другими токсичными веществами, рассмотрены в разделе 7.7.

Для рекультивации нарушенной агрогеосистемы строят инженерные системы природообустройства: инженерные мелиоративные системы, инженерно-экологические системы, инженерные природоохранные системы, инженерные противостихийные системы, инженерные системы регулирования водными ресурсами, инженерные системы водоснабжения, обводнения и водоотведения.

Для рекультивации переувлажненных, кислых, засоленных, осолонцованных почв используют методы и способы, изложенные в курсе «Мелиорация земель».

6.2. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, ОБРАЗОВАВШИХСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОПУСТЫНИВАНИЯ

На засушливых территориях в условиях малопригодных для жизни человека плотность населения на 1 км² изменяется от 1 чел. (пустыня) до 10 чел. (полупустыня), а при орошаемом земледелии увеличивается до 300 чел. В мире около 80 % аридных земель используют в богарном земледелии и пастбищном скотоводстве.

Стремление интенсивного использования территорий засушливых зон в сельскохозяйственных целях приводит к деградации экосистем и развитию процессов опустынивания, которое сопровождается нарушением теплового, химического и водного балансов территорий, изменением видового состава растительного покрова, снижением биопродуктивности, развитием процессов дефляции и водной эрозии.

Согласно принятому на международной консультативной встрече в Найроби (1990 г.) определению опустынивание — деградация земель в аридных, семиаридных и засушливых регионах в результате неблагоприятного антропогенного воздействия. При этом «зем-

ля» понимается как геосистема с присущими для нее компонентами, «деградация» — изменение ресурсного потенциала в результате нарушений (изменений) в компонентах геосистемы, а «аридность» — комплекс взаимосвязанных параметров (климата, геологии, почвы, рельефа, гидрологии, гидрогеологии и т. д.), в совокупности обуславливающих недостаток влаги, необходимой для реализации термического потенциала фотосинтетической активности.

Для разработки проектов рекультивации прежде всего необходимо установить, что рассматриваемая территория относится к нарушенным землям, образовавшимся в результате опустынивания. Поэтому в качестве определителей опустынивания можно использовать следующую группу индикаторов:

I — физические (почвенно-геохимические и гидрологические): количество пыльных и песчаных бурь и других неблагоприятных климатических процессов; изменение дебита, глубины и качества грунтовых вод; степень и формы развития процессов эрозии и дефляции; изменение паводковых вод и объемов твердого стока; изменение мощности почвы в корнеобитаемом слое и содержание в ней гумуса; степень засоления и осолонцевания почвы; образование различных корковых и панцирных покровов почв;

II — биологические: А — растительность: соотношение «климаксовых» и внедрившихся растительных видов; соотношение ксерофильных (растения засушливых мест обитания, в том числе галофитов) и мезофильных (растения влажных мест обитания) видов в составе растительности; степень проективного покрытия растениями поверхности почвы — густота растительного покрова; биологическая продуктивность (биомасса) и урожай кормов; Б — животные: основные виды; поголовье домашнего скота; численность животных; структура популяций; особенности размножения; вторичная продукция;

III — социальные индикаторы: системы землепользования (орошаемое и богарное земледелие, скотоводство, заготовка и вывоз растительного сырья, туризм и др.); структура расселения; биологические параметры населения; параметры социальных процессов.

Применяют и другие индикаторы для оценки опустынивания, например: по динамике, количественной и качественной характеристике процесса засоления почв определяют темпы опустынивания.

Выделяют следующие типы опустынивания: деградация растительного покрова, ветровая и водная эрозия, разрушение почвенной структуры, сокращение содержания гумуса в почве, засоление и осолонцевание почв, заболачивание, увеличение содержания токсических веществ. Приведенные типы опустынивания можно отнести и к причинам возникновения этого процесса, расширяя

их нарушением мелиоративного режима на орошаемых землях, высокой пастбищной нагрузкой, поиском полезных ископаемых, строительной деятельностью и др.

Поскольку антропогенная деятельность сопровождается нарушением почвообразовательных процессов, поэтому в первую очередь требуется оценить состояние и устойчивость почвенного покрова. В качестве параметров следует использовать: морфологические признаки, отражающие процесс образования пустынных почв (такры, солончаки и др.), исчезновение генетических горизонтов почв (разревание почв в результате эрозии), уменьшение признаков гидроморфности почвы; изменение содержания гумуса; изменение водно-физических свойств почвы; нарушение водного режима почв.

Опустынивание рассматривается как результат разрушения почвенно-растительного покрова, вызванного эрозионными процессами пахотных земель, выпасом скота с превышением допустимых норм, нарушением требований мелиоративного режима почв, последствиями изыскательской и строительной деятельности.

Таким образом, опустынивание характеризуется комплексом деградационных процессов, приводящих к снижению устойчивости агрогеосистем в результате разрушения растительного и почвенного покрова. Опустынивание почв приводит к развитию сбитости пастбищ, выпадению ценных кормовых растений, увеличению доли рудеральных растений (живущих на замусоренных местах), эфемеров и однолетников, к полной или частичной потере сельскохозяйственных угодий (пастбищ, сенокосов, пашни), наступлению песков на объекты гражданского, сельскохозяйственного, промышленного и транспортного назначения. Общая площадь земель России, подверженная процессам опустынивания или потенциально опасных в этом отношении, составляет по разным оценкам от 50 до 100 млн га. Это связано с тем, что около половины территории РФ страдает от периодических или спорадических засух.

Прогрессирующее развитие эрозии (пыльные бури), засоления и других процессов в последние годы приводит к сокращению площадей наиболее ценных почв, уменьшению плодородия всего почвенного покрова, значительному снижению экологических функций почв, ухудшению биоразнообразия.

Эрозия — одна из главных причин деградации почв. Ежегодный вынос плодородной почвы в атмосферу вследствие ветровой эрозии составляет 0,37 т/га. Водная эрозия приводит не только к смывости почв и потере гумуса, но и к образованию оврагов и балок, ежегодный рост площади которых составляет 80...100 тыс. га. При полном или частичном разрушении растительного покрова, особенно в аридной зоне и на почвах легкого гранулометрического состава, появляется опасность устойчивого развития дефляции

как одного из механизмов опустынивания земель. Дефляция, или ветровая эрозия, — это выдувание, захват и перенос частиц почвы или грунта, интенсивность этого процесса пропорциональна кубу скорости ветра.

Для количественной оценки дефляции почв можно применить методику, предложенную Г. А. Ларионовым, которая основывается на связи между переносом и скоростью ветра и используется параметр, который называют дефляционным потенциалом ветра (ДПВ) и рассчитывают по формуле

$$B_i = 0,001 \sum_{i=1}^{12} \bar{U}_i^3 f_i (1 / (1 + 10^{8(1 - \bar{U}_i / U_{0i})}), \quad (6.1)$$

где B_i — дефляционный потенциал ветра для i -й пороговой скорости, рассчитываемый для всех 12 месяцев; \bar{U}_i — средняя скорость ветра в i -й скоростной градации, м/с; f_i — повторяемость ветров i -й скоростной градации от общего числа наблюдений в месяце, %; U_{0i} — i -я пороговая скорость (для песков и супесей — 6...9 м/с, для легкосуглинистых почв — 8...12 м/с, для средне- и тяжелосуглинистых почв — 12...16 м/с).

По параметру ДПВ для бывшей территории СССР были составлены схематические карты, которые отражают изменение ДПВ при разных пороговых скоростях ветра (5, 7, 9, 11, 13 и 15 м/с). Общая картина изменения ДПВ связана с удалением от береговой линии морей в глубь суши, причем прослеживается тенденция к снижению ДПВ по мере продвижения к лесным и горным массивам, а при выходе на равнинные территории — в зону степей и полупустыни — его значение повышается.

Интенсивность дефляции почв зависит от прочности агрегатов, которая, в свою очередь, определяется гранулометрическим составом и содержанием органического вещества, обладающего связывающей способностью, что повышает противозрозионную устойчивость почв. Карбонаты в суглинистых и глинистых почвах снижают прочность агрегатов, а в песчаных — повышают. На противодефляционную способность почв оказывают влияние влажность почвы, процессы замерзания и оттаивания, приемы обработки почвы, наличие растительного покрова. Вспашка с полным оборотом пласта, когда на поверхность почвы выносятся плотные горизонты, увеличивает противодефляционную способность, а боронование и дискование снижают ее. Растительный покров снижает скорость ветра, а корневая система растений значительно повышает устойчивость почвы от разрушения. В течение вегетации показатель противодефляционной способности почвы изменяется в зависимости от развития растительности и проективного покрытия, например агродефляционный индекс (почвозащитный коэф-

фициент K_p) при выращивании зерновых меняется от 1 (отвальная вспашка) до 0,001 (цветение), а в послелеборочный период составляет 0,012.

Важное значение в снижении интенсивности эрозионных процессов на пахотных землях имеют лесные полосы, защитное действие которых в зависимости от интенсивности дефляции составляет примерно от 10Н до 20Н (Н — высота лесной полосы). Эффективность лесных полос зависит от их конструкции (продуваемые, непродуваемые, ажурные) и расположению по отношению к направлению ветра, так как дефляционные отложения (высота вала может достигать 2...3 м) в полосах препятствуют движению поверхностных вод и нарушают естественную дренированность территории. На okayмленных аккумулятивных отложениями полях возможно вымокание посевов.

Количество пожнивных остатков на поле также влияет на противодефляционную способность почвы, при массе пожнивных остатков пшеницы 1,8 т/га дефляция не проявляется, аналогичные результаты при массе остатков сорго 11 т/га, поэтому безотвальная вспашка — противодефляционный агротехнический прием.

На пастбищах в степных и сухостепных районах проявление дефляции в основном связано с превышением норм выпаса и переводом естественных кормовых угодий в пашню, в качестве сопутствующих причин можно назвать разбитые и разъезженные грунтовые дороги, прокладку трубопроводов и другие хозяйственные работы, нарушающие растительный покров. Исследования состояния пастбищ на Черных землях показали, что дефляция начинает развиваться на связных песках при снижении проективного покрытия до 30...40 % и на несвязных — до 40...50 %.

Недостаток зависимости (6.1) и других, устанавливающих связь между количеством переносимого песка и скоростью ветра, — результат, приведенный на единицу длины перпендикулярно направлению ветра. Для пахотных земель важна количественная оценка разрушения и переноса почвы с единицы площади. Кроме того, в расчетных зависимостях не учитывают ряд других факторов, влияющих на интенсивность дефляции пахотных земель (гранулометрический состав, растительный покров, система обработки почвы и др.).

Интенсивность дефляции пахотных земель Северного Кавказа и Нижнего Дона рассчитывают по зависимости, предложенной Г. А. Ларионовым:

$$D = CZ / (1 + 110^{4,44 - 0,4Z}), \quad (6.2)$$

где D — интенсивность дефляции, т/га в год; C — коэффициент пропорциональности, среднегодовое значение которого для Миллерова, Тихорецка и Армавира

составляет 4,54 т/га; Z — параметр:

$$Z = B_i K_p m B_i^{-0,22}, \quad (6.3)$$

здесь B_i — дефляционный потенциал ветра [определяют по зависимости (6.1)]; K_p — почвозащитный коэффициент растительности для Юго-Востока России в среднем равен 0,48 (табл. 6.1); m — коэффициент, равный 1,695; 1,691; 1,673; 1,637; 1,58; 1,509 при пороговых скоростях ветра соответственно 5; 7; 9; 11; 13 и 15 м/с.

6.1. Значения почвозащитного коэффициента полевых культур и агрофона для среднего значения ДПВ на севере Евразии (по Г. А. Ларионову)

Культура, агрофон и обработка почвы	Вспашка	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Цветение	Послеуборочный период
<i>Густопокровные</i>						
По отвальной вспашке	1	0,73	0,34	0,11	0,001	0,012
По плоскорезной обработке	0,05	0,047	0,043	0,006	0,001	0,01
<i>Высокостебельные пропашные</i>						
По отвальной вспашке	1,0	0,82	0,37	0,026	0,001	0,39
По плоскорезной обработке	0,05	0,048	0,043	0,014	0,001	0,021
<i>K_p без учета способа обработки почвы</i>						
Низкорослые пропашные	1,0	0,82	0,49	0,075	0,002	1
Многолетние травы				0,005		

Для Севера Прикаспия (Астрахань, Волгоград) K_p составляет при отвальной вспашке для озимых — 0,26, яровых — 0,55, пропашных высокостебельных — 0,56, при плоскорезной обработке для озимых — 0,05, яровых — 0,05, низкорослых пропашных — 0,57. Для Калмыкии, Ставрополя, Ростовской области соответственно 0,35, 0,57, 0,62 и 0,04, 0,04, 0,63.

Среднегодовалая дефляция на Северном Кавказе и Нижнем Дону в областях с сильной и умеренной интенсивностью и при наличии лесополос в возрасте 25...35 лет изменяется от 55,5 до 143 т/га в год.

Для пастбищ рассчитывают балльное значение дефляционной опасности $ДО$, которая аналогична параметру Z :

$$ДО = B_i K_p m B_i^{-0,22}, \quad (6.4)$$

где B_i — дефляционный потенциал ветра [зависимость (6.2)]; K_p — почвозащитный коэффициент растительности при среднем для юго-восточных районов дефляционном потенциале ветра (табл. 6.2); m — коэффициент, равный 1,695; 1,691; 1,673; 1,637; 1,580; 1,509 при пороговых скоростях ветра соответственно 5; 7; 9; 11; 13 и 15 м/с.

6.2. Значения почвозащитного коэффициента растительности естественных кормовых угодий (по Г. А. Ларионову)

Высота травостоя, см	K_p при проективном покрытии, %				
	менее 10	10 30	30 50	50 70	более 70
Менее 20	0,9	0,4	0,2	0,02	0,002
Более 20	0,8	0.	0,1	0,01	0,01

Для пастбищ (песчаных и супесчаных) Северного Кавказа, Прикаспия и Южного Урала опасность проявления дефляции может начинаться при $ДО = 2,5...3$. Для пашни Северного Кавказа и Нижнего Дона (связные почв — суглинистые, чернозем) $ДО = 3...7$.

При расчетах с использованием данных, взятых на ближайших метеостанциях, вводят поправку:

$$B_i' = B_i (K'/K)^3, \quad (6.5)$$

где B_i' — дефляционный потенциал ветра в рассматриваемом контуре; B_i — дефляционный потенциал ветра в пункте расположения метеостанции; K' — поправочный коэффициент на рельеф контура; K — поправочный коэффициент на рельеф в пункте расположения метеостанции.

Поправочный коэффициент на рельеф, по данным М. И. Лопырева и Е. И. Рябова, принимают для открытого ровного места — 1, для наветренных склонов возвышенностей и гряд — от 0,9...1 (нижняя часть склона) до 1,1...1,3 (приводораздельная поверхность), для подветренных склонов возвышенностей и гряд — от 1,1...1,3 (нижняя часть склона) до 1,1...1,2 (верхняя и средняя часть склона).

Потенциальная интенсивность дефляции служит для определения противодефляционных мер. Такими мероприятиями могут быть: изменение состава культур, технологии возделывания, внесение удобрений, т. е. в основном агротехнические приемы.

Критерий эффективности этих приемов — выполнение условия, при котором темпы дефляции не превышают допустимых потерь почвы, определенных по формуле (6.3).

Если условие не выполняется, то к указанным противодефляционным мерам добавляют лесные полосы, расстояние между которыми, м,

$$L = H10^{1/2v}, \quad (6.6)$$

где H — высота лесной полосы, м; v — скоростной коэффициент, $v = U_{0i}/U_{0i} + 0,58$. Для его определения строят график зависимости между B_i и пороговыми скоростями U_{0i} по данным ближайшей метеостанции. По графику определяют фиктивную пороговую скорость U_{0i}' , которой соответствует значение B_i , удовлетворяющее условию выражения (6.3).

Рекультивация опустыненных земель направлена на прекращение процессов опустынивания и восстановление продуктивности пашни, пастбищных и сенокосных угодий. Мероприятия по рекультивации земель разрабатывают с учетом проявления основных форм опустынивания, в качестве которых рассматривают разрушение растительного покрова и потерю плодородия почв. Технические и биологические мероприятия при рекультивации нарушенных земель разрабатывают на основе агромелиоративного районирования территории, где для каждого района создают адаптивную почвозащитную систему земледелия, обеспечивающую неразрывность и целостность функционирования агрогеосистемы.

Восстановление сельскохозяйственных угодий в сухостепных регионах — крайне актуально не только для южной части Европейской России, но и для сибирских степей, а также для ряда других российских регионов. Поэтому в связи с глобальностью проблемы необходимо совместно с рекультивацией проводить организационные и правовые мероприятия, т. е. вводить адаптивные системы использования пастбищ, создавать программы, законы и специальные органы, контролирующие использование земель с опасным проявлением опустынивания.

На *подготовительном этапе* эффективности рекультивации нарушенных земель достигают в результате проведения организационно-хозяйственных мероприятий:

- изменения структуры сельскохозяйственных угодий за счет перевода низкопродуктивной пашни (сильно эродированные, солонцовые, щебнистые и крутосклонные земли) в лугопастбищные и лесные угодья;

- создания в структуре пастбищных угодий охраняемых участков (элементов экологической инфраструктуры), занимающих 7...10 % общей площади пастбища;

- внедрения адаптивных систем земледелия;

- создания организационно-технологической системы использования пастбищ: введение загонно-участковой системы выпаса, создание внутрисезонных и многолетних пастбищных структур из культурных и естественных выгонов, регулирование продолжительности стравливания и определение порядка использования пастбищ, запрещение или ограничение ранневесеннего выпаса скота, контроль за продолжительностью одновременного стравливания различными видами скота;

- восстановления поголовья традиционных пород скота и структуры стада (оптимальное соотношение разных видов животных в стаде для условий Калмыкии: 15,5 % — овцы, 15,5 — верблюды, 43,4 — лошади, 25,2 — крупный рогатый скот и 0,4 % — козы);

- организации сети особо охраняемых природных территорий по изучению степного биоразнообразия, научных полигонов и науч-

но-производственных хозяйств по разработке и реализации перспективных технологий и систем природопользования;

организации экологического мониторинга и развития методов экологического контроля за использованием земель на основе разрабатываемой системы экологических ограничений землепользования;

окультуривания степных растений, обладающих повышенными кормовыми качествами, и создания семенных плантаций степных злаков;

разработки и выпуска технологических машин и механизмов для сбора и посева семян степных растений;

использования территории с ее детализацией под конкретных землепользователей;

оценки продуктивности пастбищ и приведения в соответствие нормы выпаса с имеющейся продуктивностью.

Продуктивность пастбищ в многолетнем климатическом ряду предварительно можно оценить по формуле В. В. Шабанова:

$$U_{\phi} = U_0 K_{\omega} K_{\theta} K_n K_s K_z, \quad (6.7)$$

где U_{ϕ} — фактическая урожайность при неблагоприятных условиях; U_0 — потенциальная урожайность данной культуры при всех оптимальных условиях и агротехнике; $K_{\omega} K_{\theta} K_n K_s K_z$ — коэффициенты, учитывающие неоптимальное увлажнение почвы, обеспеченность теплом, питательными веществами, снижение урожайности из-за засоления или загрязнения почвы.

Влияние влажности почвы на урожайность определяют по формуле В. В. Шабанова:

$$K_{\omega} = \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i \beta_i, \quad (6.8)$$

где i — номер декады вегетационного периода; n — число декад; α_i — вклад каждой

декады в урожайность, $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$; β — коэффициент:

$$\beta = (\theta / \theta_{\text{opt}})^{\gamma \omega_{\text{opt}}} [(1 - \theta) / (1 - \theta_{\text{opt}})]^{\gamma(1 - \theta_{\text{opt}})}, \quad (6.9)$$

θ — относительные доступные влагозапасы в корнеобитаемом слое почвы в каждой декаду:

$$\theta = (\omega - B3) / (p - B3), \quad (6.10)$$

здесь 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 растений на неоптимальность влагозапасов в данную декаду.

Норма выпаса домашних животных на 1 га, гол.:

$$N = U_{\phi} p / n T, \quad (6.11)$$

где U_{ϕ} — урожайность поедаемой массы (сухая масса), кг/га; p — доля поедаемой массы (для крупного рогатого скота на заросших песках — 0,5...0,6, на супесях — 0,8...0,85, для овец соответственно — 0,4...0,5 и 0,7...0,75); n — норма пастбищного корма на 1 голову (сухой массы), кг/сут (для крупного рогатого скота — 10 кг, для овец — 2 кг); T — продолжительность пастбищного периода, сут.

Для условий сухостепной зоны норма выпаса овец на естественных пастбищах не должна превышать 1,5 гол/га.

На *этапе технической рекультивации* проводят инженерно-технические мероприятия, позволяющие снизить и прекратить развевание песков, создать устойчивую от разрушения структуру верхних горизонтов, обеспечить благоприятный водно-воздушный и водно-солевой режим рекультивируемых почв.

При борьбе с дефляцией уменьшают зону развевания песков. Для этого на пути переноса песков через 3...4 м устраивают преграды в виде невысоких параллельных заграждений из тростника, камыша, полыни и кустарничковых. Значительного эффекта по снижению развевания песков достигают при создании полезащитных древесно-кустарниковых полос в сочетании с искусственными заграждениями.

Для снижения подвижности, рыхлости, уменьшения фильтрационных потерь влаги, уменьшения выщелачивания питательных элементов и потери удобрения, повышения сорбционной способности в почву вносят недостающие клеящие вещества (коллоиды). Для этого проводят землевание (глинование), торфование, вносят органические удобрения, создают сплошные или полосные прослойки из торфа или смеси глины, суглинка и песка на глубине 25...40 см, обрабатывают почву структурообразующими полимерными материалами.

Для управления водно-солевым режимом создают инженерные мелиоративные системы, инженерные природоохранные системы, инженерные системы регулирования водными ресурсами, инженерные системы обводнения, вносят мелиоранты (известь или гипс), проводят промывки засоленных земель. Поливные режимы должны исключать заболачивание и вторичное засоление, для этого необходимо строго дозировать поливные нормы, снижать фильтрационные потери из оросительных систем, промывки проводить только на хорошо дренированных почвах или устраивать дренаж, использовать лиманное орошение. На временных водотоках и малых реках оптимизировать число водохозяйственных сооружений для управления стоком, регулирование водными ресурсами осуществлять с использованием бассейнового принципа. Все

мероприятия необходимо выполнять с учетом требований рекультивационного режима, обеспечивающего снижение опасного проявления эрозионных процессов, высокой фильтрации песчаных и супесчаных почв, плохой дренированности территории, минерализации грунтовых вод, засоленности глинистых и суглинистых отложений и пр.

Техническая рекультивация включает подготовку территории к созданию водоохраных лесных полос, защитных лесных полос и восстановлению лесных массивов.

На *этапе биологической рекультивации* проводят мероприятия по восстановлению растительного покрова и плодородия разрушенных почв. Для предупреждения появления и развития процессов дефляции на естественных песчаных пастбищах необходимо:

подкашивать нестравленные травы, чередовать пастбищное использование с сенокосным, периодически представлять отдых пастбищным участкам, очищать от захламления сухостойниками, менять грубые растения на более ценные кормовые культуры и др.;

своевременно выполнять боронование для разрыхления почвенной корки, препятствующей закреплению семян и их прорастанию (проведение ранневесеннего боронования для разрыхления корки на песчаных и супесчаных почвах, покрытых белопольной растительностью, увеличивает урожайность в засушливые годы до 70 %);

проводить ряд мероприятий перед боронованием или вместе с ним: подсев кормовых растений (на равнинных и мелкобугристых песках — житняка, мятлика, костреца и др., на среднебугристых — солянки русской, солянки прозрачной, верблюжьей колючки, овса и др.), внесение органических и минеральных удобрений;

посеять однолетние и многолетние кормовые культуры с использованием агротехнических приемов почвозащитного земледелия, например, расположение в шахматном порядке пахотных и целинных участков, вспашка поперек направления господствующих ветров, чередование пахотных участков с полосами естественной растительности и др.;

применять аэросев травянистых растений и кустарников на бугристых территориях, где невозможно или затруднено проведение агротехнических мероприятий в широких масштабах;

создавать полезащитные полосы в целях снегонакопления от суховеев и выдувания почвы (в качестве засухоустойчивых пород деревьев и кустарников использовать вяз мелколистный, акацию белую, гледичию, из сопутствующих — абрикос дикий, шелковицу белую, лох, жимолость татарскую, смородину золотистую, тамарикс и др.);

создавать полезащитные лесные полосы с буферными кустар-

никовыми полосами, в которых основные лесные полосы чередуют с кулисами из высокостебельных культур;

восстанавливать травостой на деградированных пастбищах (путем подсева трав, рыхления, мульчирования, внесения структурообразователей и т. д.) с полным прекращением выпаса на срок ремонта пастбищ.

Для повышения продуктивности пастбищно-сенокосных угодий рекомендуют следующий ассортимент трав:

1 — житняк сибирский (еркек) — многолетний засухоустойчивый злак, произрастающий в естественных условиях на песчаных и супесчаных почвах Каспийской низменности, обладает хорошими кормовыми качествами. Его хорошо культивировать с люцерной желтой и гибридной, кострцом и другими травами;

2 — прутняк (изен) — прекрасный нажировочный корм для овец.

Одно из мероприятий при биологической рекультивации — агролесомелиорация на обводняемых и орошаемых песчаных, супесчаных почвах и песках. В ходе агролесомелиорации создают колковые насаждения, защитные лесные полосы вокруг полей, водоемы в населенных пунктах, вдоль дорог, каналов и др. При подборе пород деревьев используют их приуроченность к подобным условиям: на песках хорошо растет тополь Боллеана (гибридный, разнолистный и пирамидальный), достигая высоты 23...25 м, вяз мелколистный — 22 м, акация белая — 15 м, шелковица — 11 м, клен ясенелистный — 8 м, тополь сереющий — 20 м, черный (осокорь) — 7...8 м.

Для защиты объектов рекультивации от наступления песков создают лесополосы, используя следующие древесно-кустарниковые породы:

в *лесостепной зоне* — сосну обыкновенную, березу, тополь, ветлу, клен татарский, шелогу красную, бузину красную, жимолость татарскую;

в *степной зоне* — сосну обыкновенную, акацию белую, тополь, вяз приземистый, шелогу красную, бузину красную, акацию желтую, жимолость татарскую, лох узколистный;

в *полупустынной и пустынной зоне* — акацию белую, тополь, вяз приземистый, тополь, клен татарский, тамариск, шелогу красную, скумпию, айву обыкновенную, лох узколистный, джугун, иву каспийскую, терескен серый.

При закреплении песков высевают овес, а на засоленных песках — различные виды солянок. Во всех случаях целесообразно использовать местные виды растений, развивающиеся лучше других. При этом семена собирают с хорошо развитых, обильно плодоносящих растений, не пораженных болезнями или вредителями.

ми. Участки для заготовки семян выбирают по согласованию с органами лесного хозяйства.

Почву для создания пескозащитных насаждений на заросших (задернованных) песках обрабатывают, как правило, по системе зяблевой вспашки. На песках, лишенных растительности, почву обрабатывают непосредственно перед посадкой или не обрабатывают, чтобы не провоцировать развевание песков.

Размещение и ширина пескозащитных насаждений зависит от рельефа песков и направления активных дефляционных ветров. На барханных песках при направлении дефляционных ветров к боковой линии песков более 30° ширина насаждений составляет 100...150 м, при направлении дефляционных ветров менее 30° — 100 м. На бугристых, равнинно-волнистых и грядовых песках ширина насаждений составляет 30 м, а на участках со средневыраженным переносом частиц — 50 м.

6.3. БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ С ПОМОЩЬЮ ГАЛОФИТОВ

Для технической рекультивации засоленных земель используют способы, известные из курса «Мелиорация земель». Задача этих способов — восстановление продуктивности засоленных земель, создание на их месте высокопродуктивных кормовых биоценозов, вовлечение их в сельскохозяйственный оборот, улучшение мелиоративного состояния и повышение плодородия почв. Один из способов биологической рекультивации таких земель — использование галофитов.

Галофиты — это экологически, физиологически и биохимически специализированные растения, способные нормально функционировать и продуцировать в условиях засоленной среды. В мировой флоре насчитывается 2000 видов галофитов, в том числе в Центральной Азии 900 видов и в аридных районах России более 500 видов. Способность галофитов к формированию относительно высокорослых, разветвленных надземных органов обеспечивает испарение большого количества воды, снижение уровня грунтовых вод, сокращение испарения с поверхности почвы и уменьшение концентрации солей в ее верхних горизонтах. На песчаных почвах галофиты положительно реагируют на орошение соленой водой с концентрацией солей от 5,5 до 40 г/л, когда большинство сельскохозяйственных культур выдерживают соли в оросительной воде 3 г/л.

Способность галофитов к нормальному функционированию и формированию относительно большой кормовой и лекарственной массы в условиях засоленной среды связана с их спе-

цифическими экологическими и физиолого-биохимическими особенностями:

Клетки и ткани галофитов отличаются повышенным осмотическим давлением, достигающим $(70...90) \cdot 10^5$ Па (иногда до $110 \cdot 10^5$ Па), за счет увеличения в них концентрации ионов и низкомолекулярных органических соединений (пролины, бетаины).

Для галофитов характерны специфические механизмы транспорта ионов через клеточные мембраны (мембраны отличаются низкой проницаемостью, ионы переносятся двумя путями — протонным насосом и независимым Na^+ -насосом), что даже в условиях высокой солености среды обеспечивает поддержание низких концентраций ионов в цитоплазме за счет их переноса в вакуоли против градиента концентрации.

Галофиты преимущественно принадлежат к растениям с особым фотосинтезом. Это позволяет нормально протекать процессу синтеза органических веществ в условиях постоянного доминирования экстремальных факторов (высоких температур, физиологической и климатической сухости, засоленности почвы).

В результате широкомасштабной видовой и внутривидовой селекции найдено 15 перспективных видов и экотипов, пригодных как в качестве растений-фитомелиорантов, так и для производства энергонасыщенных кормов и лекарственного сырья на вторично засоленных почвах и в условиях орошения соленой водой. Для использования перспективны следующие растения: сведа дуголистная и заостренная, лебеда серая, климакоптера мясистая, марь белая, бассия иссополистная, солерос, кохия веничная, солодки голая и уральская, полынь солончаковая и др. Отобранные виды галофитов формируют 10...12 т сухой кормовой массы, 1...1,5 т семян (плодов), обеспечивают получение до 1,5 т протеина в условиях орошения соленой водой на песчаных почвах.

Период рассоления почв в мелиоративном севообороте, включающем разные экологические группы галофитов, для условий средней степени засоления составляет 4...5 лет, сильной степени засоления — 6...7 лет.

Рассоляющий эффект галофитов складывается из следующих элементов. В метровом слое почвы на сильнозасоленных среднесуглинистых почвах полупустынь содержание солей составляет 48 т/га. При фитомассе надземной части 18...20 т/га галофиты выносят из почвы 8...10 т солей с 1 га в год. Затеняя почву, галофиты препятствуют испарению и связанному с ним подтягиванию солей в верхний слой почвы. Эффект зеленой мульчи составляет 2,5 т/га солей. В итоге на участке, занятом насаждениями галофитов, процесс выноса солей из почвы достигает 10...12,5 т в год. В условиях Калмыкии галофиты при урожайности 18...20 т/га выносят 8...10 т/солей с 1 га.

Рассоление почвы с помощью галофитов — эффективный способ удаления вредных для культурных растений солей из почвы. При промывках и промывном режиме орошения соли лишь перераспределяются в почвенном профиле и только при наличии дренажа отводятся с мелиорируемой территории в водоприемник (часто в водоисточник), оставаясь при этом в биологическом круговороте ландшафта.

Особенно перспективным фитомелиорантом для эффективно освоения засоленных орошаемых земель оказалась солодка голая, являющаяся одновременно ценной лекарственной и кормовой культурой. В условиях Нижнего Поволжья на засоленных орошаемых землях с близким залеганием грунтовых вод солодка дает с 1 га 6...8 т сена и 8...10 т солодкового корня — ценного сырья для фармацевтической и пищевой промышленности.

К ценной сельскохозяйственной культуре, способной давать большой урожай и исполнять роль фитомелиоранта на засоленных почвах, относят сорго. Оно экономнее других зернофуражных культур расходует влагу и легче переносит высокие температуры, обладая мощной корневой системой, обеспечивает рассоляющий эффект в метровом слое почвы. В Волгоградской области при урожайности зерна 5,39...5,42 т/га вынос солей из светло-каштановой тяжелой суглинистой почвы составил 41,3...64,7 т/га. По средним оценкам при проведении комплекса работ, включающих промывки, доля солей, выносимых сорго, составляет 45,1 %.

6.4. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОПУСТЫНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРИКАСПИЯ

Процессы опустынивания наиболее актуальны в аридных и засушливых регионах, поэтому изучение имеющегося опыта по предупреждению, стабилизации и прекращению деградации агрогеосистем необходимо для разработки рекультивационных мероприятий.

Рассмотрим процесс опустынивания и восстановления нарушенных агрогеосистем в условиях Северного Прикаспия. Климат этой территории засушливый, континентальный, с сильными ветрами, что способствует образованию обширных площадей подвижных песков, особенно при бессистемном выпасе скота, распашке легких песчаных и супесчаных почв.

Процесс образования подвижных почв зависит от многих факторов, но он тем интенсивнее, чем в большей степени песчаные и супесчаные почвы или заросшие пески лишаются скрепляющей их растительности и подвергаются разрушению. Если уничтожение растительности и разрушение почвы или песков прекращает-

ся в начальной стадии, то растительность быстро восстанавливается, при продолжительном уничтожении растительности и разрушении почв усиливаются процессы разрушения, что приводит к образованию подвижных песков.

На интенсивность процессов оказывают существенное влияние условия рельефа. Особенно это проявляется на возвышенных участках и ветроударных склонах. Наиболее разрушаемые склоны расположены перпендикулярно к направлению ветра. Подветренные склоны также могут разрушаться, если они длинные и пологие, а скорость ветра очень высокая.

Разрушение почв приводит к нарушению водно-воздушного и питательного режимов, т. е. к изменению условий обитания существующей растительности. В результате начинается процесс смены растительности другими растениями, способными выживать в новых условиях. Например, на месте песчаных равнин, покрытых житняком сибирским, при неумеренном выпасе скота появляются слабозбугренные пески с песчаной полынью.

Процессы образования подвижных песков можно разделить на две стадии. В качестве примера взята бурая супесчаная почва:

горизонт А — пепельно-серого цвета, рыхлый с тонкой корочкой, мощностью до 15 см;

горизонт В1 — желтовато-бурый, плотнее горизонта А, мощностью 20...25 см;

горизонт В2 — светло-палевого цвета, сильно уплотнен вследствие цементации карбонатами, бурно вскипает при взаимодействии с соляной кислотой, мощностью 0,8...1 м;

материнская порода (горизонт С) — желтовато-бурый мелкий песок с незначительной примесью глинистых частиц.

Грунтовые воды в рассматриваемом примере находятся на глубине более 5...7 м.

На первой стадии опустынивания происходит разрушение верхнего рыхлого горизонта А, образование пятен или небольших участков дефляции. В результате на поверхности формируются холмики (косы), вытянутые по направлению ветра, невысокие бугры у препятствий (растительности) и небольшие (до 0,5 м) барханчики. Местами на дневную поверхность выходит уплотненный горизонт В1. Из растительности в первую очередь выпадают злаки (житняк сибирский, полевица и др.). Сохраняются в небольшом количестве эфемеры (кострец безостый, мятлик), остаются редкие кустики белой полыни и кохия. Эти растения постепенно заносятся песком или начинают засыхать в результате обнажения корней. В местах скопления песка появляются верблюжья колючка, полынь и др. Если разрушение верхнего горизонта прекращается, то в течение 3...5 лет утраченная растительность в основном восстанавливается.

На второй стадии опустынивания увеличивается площадь разрушенных участков (развеечных), возрастает число и размер кос, бугорков и низких барханчиков, разрушается горизонт В1, обнажается и начинает разрушаться горизонт В2. Разрушение существующего рельефа, образование различных форм эоловых отложений изменяет циркуляцию воздуха, создавая завихрения и воздушовороты. По направлению господствующих ветров образуются ветровые коридоры, усиливающие процессы дефляции. В некоторых местах начинается разрушение рыхлой материнской породы, наблюдается интенсивный перенос песка, появляется комплекс песчаных отложений, состоящих из низких барханов (высотой до 1,5...2 м) и бугристых песков, населенных редкими псаммофитами.

Песчаные отложения трудно зарастают из-за их подвижности, семена растений выдуваются или глубоко погребаются. Появившиеся всходы подвергаются такому же воздействию, а обнажение корневой системы приводит к иссушению и гибели растений.

Вместе с тем, как показывают исследования, пески обладают благоприятными для растений свойствами. Они содержат необходимый запас минерального питания и воздуха. Снижение и прекращение дефляционных процессов, сохранение растительности за счет перевода скота на другие участки — все это создает условия для естественного зарастания подвижных песков.

Определяющие факторы естественного зарастания песков — площадь разрушения, сформировавшийся рельеф песчаного комплекса, присутствие сохранившейся растительности и запаса семян, наличие влаги, глубина и минерализация грунтовых вод, состав растений и продуктивность ближайших агрогеосистем, интенсивность ветров и др.

Процессы естественного зарастания разрушенных песков (природная биологическая рекультивация) условно делят на две стадии.

1. Пионерами первой стадии являются колосняк, овес песчаный, волоснец и кумарчик со спутниками — солянкой, верблюдкой арало-каспийской и аристидой пестрой, которые затем сменяются полынью черной бедноцветковой с примесью хондриллы и полыни песчаной. В котловинах и межбарханских низинах появляются астрагалы, донники, вейник, реже люцерна голубая и желтая и др.

2. Вторая стадия — это восстановление белопопынной равнины. В начале к имеющимся видам полыни присоединяются эфемеры (растения, способные в течение лета давать несколько урожаев семян).

В то же время, учитывая, что мощность и рельеф песчаного комплекса являются определяющими факторами основных усло-

вий жизни растений, возможны и другие схемы зарастания разрушенных песков:

на глубоких песках: колосняковая (колосняково-осоковая) — песчанопольная — белопольная (разнотравно-польно-злаковая);

на мелких песках: курайная — белопольная;

на равнинных песках: колосняково-разнотравная и солончакowo-польно-солянковая;

на кучевых песках: солянково-кустарниковая и разнотравно-солянковая.

Все предложенные схемы в действительности аналогичны друг другу по сменяемости растительных видов: пионерные (авангардные) сменяются основными видами, присущими данной геосистеме. В то же время, как бы не проходили процессы естественного зарастания нарушенных или разрушенных почв, они не могут быть полностью восстановлены до прежнего состояния, молодые почвы могут лишь быть сходными по свойствам с теми, которые были здесь ранее. Однако важен сам факт существования этого природного процесса, опыт которого необходимо изучать и использовать для разработки технических и биологических приемов рекультивации нарушенных земель.

Методы восстановления деградированных пастбищных земель Прикаспия основаны на применении адаптивной системы земледелия, которая включает использование зонально-типичных доминантных видов и жизненных форм растений. Это позволяет конструировать на опустыненных землях различные типы пастбищ, оптимизированных по продуктивности, структурно-функциональной организации и устойчивости. Конструкции подобных пастбищ представляют собой полидоминантные сообщества, состоящие из сочетания кустарников, полукустарничков, ксерофильных многолетних и однолетних трав, а по виду использования — весенне-летние, осенне-зимние, круглогодичные.

Долголетние пастбища весенне-летнего срока использования создают в районах, где естественные кормовые угодья характеризуются низкой продуктивностью в летний период. Для этого применяют: кустарники (джузгуны древовидный и безлистный); полукустарнички (прутняк, камфоросма Лессинга, терескен); ксерофильные многолетние травы (житняки сибирский и пустынный, волоснец сибирский, типчак, ковыль Лессинга). Соотношение этих основных жизненных форм — 20 : 60 : 20. Средняя урожайность весенне-летних пастбищ составляет 1...1,5 т/га сухой кормовой массы (в неблагоприятные годы она не опускается ниже 0,6...0,8 т/га), при урожайности естественных пастбищ (контроль) — от 0,15 до 0,3 т/га.

Для создания осенне-зимних пастбищ используют: ксерогало-

фильные и галофильные полукустарнички (прутняк, камфоросма Лессинга, полынь солончаковая, полынь Лерха, терескен); ксерофильные многолетние травы (житняки сибирский и пустынный, волоснец сибирский, типчак, ковылок); однолетние травы. Соотношение этих компонентов — 25 : 70 : 5. Осенне-зимние пастбища характеризуются высокой устойчивой продуктивностью. В районах с годовой суммой осадков 170...250 мм урожайность сухой кормовой массы составляет 1...1,2 т/га, а в районах с суммой осадков 250...350 мм/год — 1,5...2 т/га.

Долголетние пастбища круглогодичного пользования целесообразно создавать в районах полупустынь и сухих степей. Для восстановления пастбищ и снижения дефляции включают поедаемые овцами в различные сезоны года: галофитные и ксерофитные кормовые кустарники (20 %), полукустарнички (65 %) и травы (15 %). Эти пастбища пригодны для любого сезона года, их урожайность — 1,2...2,6 т/га сухой кормовой массы.

Основные технологические операции адаптивной системы земледелия: на зонально-типичных бурых полупустынных, каштановых и темно-каштановых почвах ранней весной проводят полосную обработку почвы шириной от 12 до 50 м на глубину 16...18 см, как правило, поперек направления господствующих ветров. Далее, в мае—июне, в зависимости от степени зарастания сорняками и уплотнения поверхности почвы, проводят культивацию на глубину 6...8 см; осенью (ноябрь) и зимой (декабрь—февраль) — высев смеси семян кормовых растений разных жизненных форм (полукустарничков), а также однолетних и многолетних трав.

Классические способы обработки почвы на участках пастбищ с супесчаными и песчаными почвами, со слабой дерниной приводят к ветровой эрозии. На засоленных почвах такой способ обработки с оборотом пласта выворачивает солесодержащие слои на поверхность почвы, а плодородную верхнюю часть почвы с дерниной укладывает на дно пласта. Поэтому на опустыненных пастбищных землях, расположенных на почвах с легким гранулометрическим составом и засоленных почвах, обработку с оборотом пласта не проводят.

Для обработки почвы используют широкозахватный комбинированный агрегат, выполняющий за один проход трактора всю работу по посеву кормовых растений. Конструкция рабочих органов обеспечивает за один проход рыхление отдельных полос в дернине шириной 15...30 см, глубиной 5...18 см, агрегат имеет длину 14 м и рыхлит 20 полос. В полосы высевают несыпучие семена кормовых растений. Введение в пастбищные экосистемы зонально-типичных кормовых полукустарничков обеспечивает формирование прутняково-камфоросмово-полынно-травяного сообщества, что повышает кормовую производительность. Такие пастбища накап-

ливают 1,5...2,5 т/га сухого вещества, что в 6...10 раз превышает продуктивность естественных, неулучшенных пастбищ.

Опыт восстановления и сохранения нарушенных агрогеосистем, экосистем на юге европейской части России может быть применен и на других территориях страны.

6.5. ОЦЕНКА И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЧВОЗАЩИТНОЙ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Один из важных показателей плодородия почв — содержание в ней гумуса, запасы которого в пахотном слое почв составляют:

<i>Почвы</i>	<i>Содержание гумуса, т/га</i>
Подзолистые	53
Лесостепные оподзоленные	109
Черноземы	137...224
Красноземы	140
Сероземы	37
Темно-каштановые	99

Потери гумуса как последствия антропогенной деятельности и природных процессов нарушают деятельность агрогеосистемы, снижают ее продуктивность. Поэтому разработка приемов рекультивации с применением современных способов почвозащитного земледелия позволяет восстановить плодородие нарушенных сельскохозяйственных земель, а там, где создан рекультивационный слой, обеспечит условия для формирования почвообразовательных процессов в молодых почвах.

Для восстановления нарушенных почв необходимо знать оптимальную мощность гумусового горизонта, допустимые потери гумуса, скорость ежегодного накопления гумуса в севооборотах и дозы вносимых органических удобрений.

Мощность гумусового горизонта устанавливают на основе оценки скорости почвообразовательного процесса, определяемой по модели рационального использования почвенных ресурсов. Свойства почвы в модели формализуют через ресурсные характеристики (мощность гумусового горизонта H_r , производительная ценность почвы в точке профиля \bar{P}_c и др.). Ресурсный показатель \bar{P}_c определяет удельную величину почвенных свойств, приходящихся на слой почвы Δh_i . Обобщенную оценку качества почвенного ресурса называют бонитетом почвы:

$$B_{\Pi} = \int_0^{H_r} P_c dh \equiv \sum P_{ci} \Delta h_i = \bar{P}_c H_r. \quad (6.12)$$

Современное состояние почвы оценивают на основе сравнения существующего бонитета с бонитетом эталонной почвы, т. е. с таким же типом почвы, характеризующимся в течение длительного времени высоким и стабильным плодородием. Приведенная модель позволяет оценивать как бонитет всего почвенного профиля, так и его отдельные генетические горизонты.

Изменение почвенного ресурса (бонитета) во времени (t) рассчитывают по формуле

$$\begin{aligned} \Delta(H_r \bar{P}_c)_{t(\Phi)} = & \sum_1^t H_{r(i)} \Delta \bar{P}_{c(n)i} + \sum_1^t H_{r(i)} + \\ & + (\Delta \bar{P}_{c(z)} + \Delta \bar{P}_{c(y)} + \Delta \bar{P}_{c(p)i}) + \\ & + \sum_1^t \bar{P}_{c(i)} \Delta H_{r(n)i} - \sum_1^t \bar{P}_{c(0...10)} \Delta H_{r(z)i}, \end{aligned} \quad (6.13)$$

где $H_{r(i)}$ — мощность почвенного горизонта; $\Delta \bar{P}_{c(n)i}$ — изменение показателя почвенных свойств в рассматриваемом горизонте $H_{r(i)}$ в результате почвообразовательного процесса; $\Delta \bar{P}_c$ — изменения показателя почвенных свойств: в результате проявления эрозии — $\Delta \bar{P}_{c(z)}$, при внесении удобрений $\Delta \bar{P}_{c(y)}$, при рекультивации — $\Delta \bar{P}_{c(p)}$; $\bar{P}_{c(i)}$ — показатель свойств почвенного горизонта; $\Delta H_{r(n)i}$ — изменение мощности гумусового горизонта в результате почвообразовательного процесса; $\bar{P}_{c(0...10)}$ — показатель свойств верхнего (смываемого) слоя почв как слоя почвы, наиболее подверженного деградации; $\Delta H_{r(z)i}$ — изменение мощности слоя в результате разрушения эрозией; i — номер года.

Уравнение (6.13) может быть усложнено или упрощено в зависимости от исходной информации и цели исследований.

В качестве критерия оптимизации приняты целесообразно допустимые изменения $H_r \bar{P}_c$ во времени $\Delta(H_r \bar{P}_c)_{t(ц.д.)}$. Их динамику удобнее всего отразить при помощи показательной функции:

$$\Delta(H_r \bar{P}_c)_{t(ц.д.)} = [(H_r \bar{P}_c)_{opt} - (H_r \bar{P}_c)_{исх}] \cdot (1 - e^{-bt}), \quad (6.14)$$

где b — параметр, определяющий интенсивность изменения $H_r \bar{P}_c$ во времени [$H_r \bar{P}_c = f(t)$].

Модель рационального использования почвенных ресурсов эрозионно-опасных территорий получена с помощью приравнивания фактических изменений бонитета почв (6.13) к целесообразно допустимым изменениям (6.14). Возможны следующие варианты расходования почвенных ресурсов.

1. Исходное значение почвенного ресурса достаточно велико, поэтому допускается частичное и постепенное его расходование до экологически и экономически допустимых пределов — $(H_r \bar{P}_c)_{opt}$.

2. Если $(H_r \bar{P}_c)_{исх} < (H_r \bar{P}_c)_{opt}^*$, то необходимо управление воспроизводством плодородия с внедрением высокоэффективного комплекса противоэрозионных мероприятий, при этом планируемые рекультивационные мероприятия по воспроизводству почвенного ресурса обосновывают исходя из экономических соображений, от некоторого критического значения ресурса $(H_r \bar{P}_c)_{кр}$ до $(H_r \bar{P}_c)_{opt}^*$.

3. Если $(H_r \bar{P}_c)_{opt}^* > (H_r \bar{P}_c)_{исх} > (H_r \bar{P}_c)_{opt}^*$, компенсация эрозионных потерь должна сопровождаться эффективными противоэрозионными и почвовосстанавливающими мероприятиями.

Для обоснования трех основных параметров модели — b , $(H_r \bar{P}_c)_{opt}^*$ и $(H_r \bar{P}_c)_{opt}^*$ необходимо упростить уравнение (6.14), представив бонитет почвы в виде произведения мощности гумусового горизонта (см) на среднее содержание гумуса в нем (%), т. е. $B = H_r \bar{P}_c$. Оптимальное значение бонитета должно включать следующие параметры: мощность плодородного слоя почвы, которая определяет урожайность сельскохозяйственных культур; содержание гумуса, обеспечивающего благоприятные водно-физические, фитосанитарные и технологические свойства почв.

Зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от мощности гумусового горизонта

$$U = 2U_{max} \beta^{0,48} (H_r + \Delta H_r) e^{-\beta(H_r + \Delta H_r)^2}, \quad (6.15)$$

где U и U_{max} — фактическая и максимальная урожайность, т/га; β — параметр, характеризующий максимум урожая при изменении мощности гумусового горизонта H_r ; ΔH_r — параметр, зависящий от первичного плодородия почвообразующей породы (при $H_r = 0$), см.

Значения бонитета различных почв приведены в таблице 6.3.

6.3. Средние значения исходного и оптимального бонитета

Почвы	$(H_r \bar{P}_c)_{исх}$	$(H_r \bar{P}_c)_{opt}^* / (H_r \bar{P}_c)_{opt}^*$ для			
		яровых зерновых	озимых	пропашных	трав
Дерново-подзолистые	32	92/74	—	110/88	112/102
Темно-серые лесные	182	132/110	140/116	152/126	152/138
Черноземы	210...400	126/108	172/148	143/127	150/136
Каштановые	125	35/31	33/29	50/44	55/50

Распределение гумуса по почвенному профилю черноземных почв степной зоны можно выразить зависимостью

$$\frac{\Gamma_i}{\Gamma_{0...20}} = \alpha(H_i + 0,4)e^{-\beta(H_i + 0,4)^2}, \quad (6.16)$$

где Γ_i , $\Gamma_{0...20}$ — содержание гумуса в i -м слое и слое 0...20 см, %; $\alpha = 2,75$; H_i — глубина почвенного профиля (0,2...1 м); $\beta = 1,39$.

Используя зависимость (6.16), получили бонитет как произведение $H_r \bar{\Gamma}$:

$$B = \int_0^{H_r} \frac{\Gamma_i}{\Gamma_{0...20}} dh.$$

В результате корректировки оптимальные значения бонитета составили: для черноземов обыкновенных — 103, черноземов южных — 90, черноземов карбонатных — 76. При сопоставлении почв по зонам установлено влияние плодородия почв отдельных генетических горизонтов на урожайность культур. Разницу между относительными показателями профильного распределения гумуса ($\Gamma_i/\Gamma_{0...20}$) и эффективного плодородия ($Y_i/Y_{0...20}$) можно выразить уравнением

$$\frac{\Gamma_i}{\Gamma_{0...20}} - \frac{Y_i}{Y_{0...20}} = \alpha(H_i - 0,1)e^{-\xi(H_i - 0,1)^2}, \quad (6.17)$$

где α и ξ равны 2,14 и 3,12 (чернозем обыкновенный мощный), 2,07 и 4,08 (чернозем южный), 1,65 и 5,56 (чернозем оподзоленный), 1,48 и 2 (чернозем южный мицеллярно-карбонатный), 1,03 и 3,12 (чернозем карбонатный).

Расчеты показали, что для черноземов степной зоны величины $(H_r \bar{\Gamma})_{\text{opt}}$ составляют 150...160, а $(H_r \bar{\Gamma})_{\text{opt}}^*$ — 130...140.

Учет профильного распределения эффективного плодородия необходим не только для определения вклада отдельных генетических горизонтов в обобщенную оценку качества почвы, но и тех слоев, которые непосредственно подвержены эрозии.

Бонитет почвы с учетом диагностических признаков наиболее плодородной почвы региона (эталона) $N_{j(\text{эт})}$ можно представить в виде

$$B = 100 \sum_1^n \frac{K_i}{K_{i(\text{эт})}} \left(\sum \alpha_j \frac{N_j}{N_{j(\text{эт})}} \right), \quad (6.18)$$

где K_i , $K_{j(\text{эт})}$ — коэффициенты, отражающие вклад горизонтов (слоев) почвенного профиля в общий бонитет оцениваемой и эталонной почвы; α_j — коэффициент

взвешивания, отражающий неравнозначность диагностических признаков в формировании урожая; N_j , $N_{(эт)}$ — диагностические признаки оцениваемой и эталонной почвы.

По частным (послойным) бонитетам по формулам (6.12) и (6.18) можно вычислить значения показателей почвенных свойств отдельных горизонтов (слоев), и в частности верхнего (смываемого) слоя. Например, значения $\bar{P}_{c(0...10)}$ составили: для чернозема обыкновенного мощного — 0,1, чернозема южного (орошаемого) — 0,06, чернозема обыкновенного малогумусного, чернозема южного солонцеватого и чернозема южного мицеллярно-карбонатного — 0,03. Значительные различия величины $\bar{P}_{c(0...10)}$ для отдельных почв свидетельствуют о преимуществе оценки смываемого слоя по сравнению с обобщенным бонитетом, который часто нивелирует эти различия, что позволяет выявить приоритетные объекты противозерозионной защиты.

В результате ускоренного или длительного проявления эрозийных и дефляционных процессов запасы почвенных ресурсов могут достичь критических значений $(H_r \bar{G})_{кр}$, при которых возникает угроза полной деградации не только почвенного покрова, но и агрогеосистемы. Определение критического значения бонитета почв позволяет установить нормативы для перевода разрушенных пахотных земель в защитные биотопы для несельскохозяйственного использования или для проведения рекультивации.

Критическое значение мощности гумусового горизонта для чернозема южного тяжелосуглинистого составляет 15...20 см, а бонитета $(H_r \bar{G})_{кр}$ — 30.

Допустимые эрозийные потери почвы рассчитывают в зависимости от конкретных почвенных характеристик сложившейся или перспективной структуры севооборота на определенный период времени. В первые 10 лет при средних значениях исходного запаса почвенного ресурса (см. табл. 6.3) и $b = 0,005$ ежегодные допустимые потери почвы составляют:

Почва	Темно-серая лесная	Чернозем типичный	Чернозем обыкновенный	Чернозем южный
Потери почвы, т/га	3,4	6 (средне- мощные) 10 (мощные)	8,5 (мощные) 5 (среднемощные) 2,8 (маломощные)	1

При селективном проявлении эрозийных процессов, дегумификации почв, обусловленной несбалансированностью продукционного и почвообразовательного процессов, необходимо управление воспроизводством органического вещества для поддержания

оптимального уровня гумуса пахотного горизонта. Для рассматриваемого примера необходимо сформулировать задачу стабильного поддержания качества почвенного ресурса, для чего управляющие воздействия должны быть синхронизированы с динамикой допустимых эрозионных потерь. Этому условию соответствует уравнение

$$\begin{aligned} \Delta H_{\Gamma(\text{доп})} = 10\gamma\bar{G}_{0\dots 10}(1 + 0,01H_{\Gamma}) - \\ - H_{\Gamma}(\Delta\bar{G}_{\text{пр}} - \Delta\bar{G}_{\text{р}} - \Delta\bar{G}_{\text{мн}}) - \bar{G}\Delta H_{\Gamma(\text{п})} \approx 0, \end{aligned} \quad (6.19)$$

где γ — плотность почвы в пределах гумусового горизонта, г/см³; $\bar{G}_{0\dots 10}$ — содержание гумуса в смываемом слое почвы, %; H_{Γ} — мощность гумусового горизонта, мм; $\Delta\bar{G}_{\text{пр}}$ — приходная составляющая процесса гумусообразования за счет растительных остатков и удобрений, т/га; $\Delta\bar{G}_{\text{р}}$ — минерализация гумуса, определяемая структурой севооборота и уровнями урожая, т/га; $\Delta\bar{G}_{\text{мн}}$ — минерализация гумуса, определяемая структурой севооборота и уровнями урожая, т/га; \bar{G} — запасы гумуса в нем, т/га; ΔH_{Γ} — изменение мощности почвенного горизонта H_{Γ} в результате почвообразования — $\Delta H_{\Gamma(\text{п})}$ и эрозии $\Delta H_{\Gamma(\text{доп})}$, мм/год.

После некоторых упрощений и перехода к пахотному горизонту черноземных почв количество органических удобрений, т/га в год, компенсирующее потери качества почвы,

$$D = \Delta\bar{G} / K_{\Gamma}^*, \quad (6.20)$$

где $\Delta\bar{G}$ — средний годовой дефицит гумуса, т/га, вычисляемый по уравнению баланса:

$$\begin{aligned} \Delta\bar{G} = 5 \cdot 10^{-3} \bar{G}_{0\dots 20} [\Delta H_{\Gamma(\text{доп})}(1 + 2\rho) + 4\gamma - 20\gamma\Delta H_{\Gamma(\text{п})}] - \\ - \frac{1}{t_2 - t_1} \sum_{\varphi=1}^{t_2-t_1} K'_{\Gamma(\varphi)} A_{\varphi} - \frac{1}{t_2 - t_1} \sum_{\varphi=1}^{t_2-t_1} 0,009(K_N Q_N)_{\varphi} + \frac{10}{t_2 - t_1} \sum_{\varphi=1}^{t_2-t_1} K_{\text{рф}} U_{\varphi}, \end{aligned} \quad (6.21)$$

где $\bar{G}_{0\dots 20}$ и γ — соответственно содержание гумуса, %, в пахотном горизонте и плотность, г/см³; $\Delta H_{\Gamma(\text{доп})}$ — допустимые эрозионные потери почвы, т/га; $\Delta H_{\Gamma(\text{п})}$ — скорость формирования гумусового горизонта (табл. 6.4), мм/год; $t_2 - t_1$ — период ротации севооборота, лет; A — количество растительных остатков, поступающее в пахотный горизонт с отдельными культурами (φ) севооборота (табл. 6.5); K'_{Γ} — коэффициент гумификации растительных остатков (табл. 6.5); K_N — доля азота в минеральных удобрениях (изменяется от 0,04 до 0,82); Q_N — количество азота, вносимого в составе минеральных удобрений, кг/га; $K_{\text{р}}$ — коэффициент расхода азота гумуса (см. табл. 6.5); U — урожай основной продукции, т/га; K'_{Γ} — коэффициент гумификации органических удобрений (в среднем составляет 0,18).

6.4. Средние скорости формирования гумусового горизонта почв, мм/год

Почвы	Степень смытости		
	слабая	средняя	сильная
Дерново-подзолистые	0,02	—	—
Черноземы			
типичные	0,04	0,12	0,22
обыкновенные	0,03	0,1	0,17
Южные черноземы и темно-каштановые почвы	0,03	0,06	0,12
Светло-каштановые	0,02	0,05	0,07

6.5. Коэффициенты расчетных формул для основных сельскохозяйственных культур

Культура	Основная продукция	K''_n	K''_r	K_b	
				суходол	орошение
Озимая пшеница	Зерно	1,1	0,20	0,07	0,06
Ячмень	Зеленый корм	0,2	0,13	0,01	0,01
Яровой ячмень	Зерно	0,9	0,22	0,06	0,06
Кукуруза	»	0,8	0,20	0,08	0,05
	На силос	0,16	0,17	0,01	0,01
	Зеленый корм	0,16	0,17	0,01	0,004
Овес	Зерно	1,1	0,22	0,07	0,06
Просо	»	1	0,22	0,07	0,06
Подсолнечник	Семена	1,0	0,14	0,11	0,11
	На силос	0,8	0,14	0,01	0,01
Свекла сахарная и кормовая	Корнеплоды	0,04	0,1	0,01	0,01
Горох, вика	Зерно	0,08	0,23	0,09	0,09
Соя	»	0,08	0,23	0,16	0,16
Гречиха	»	1	0,22	0,11	0,11
Картофель	Клубни	0,06	0,13	0,01	0,01
Овощи	Плоды	0,06	0,13	0,01	0,01
Бахчевые	»	0,06	0,13	0,01	0,01
Зернобобовые	Зерно	1	0,22	0,09	0,09
	Сено	0,8	0,22	0,09	0,01
Рис	Зерно	1	0,20	—	0,04
Однолетние травы	Сено	0,8	0,22	0,04	0,04
	Зеленый корм	0,2	0,22	0,015	0,01
Многолетние травы	Сено	1,5	0,25	0,045	0,06
	Зеленый корм	0,2	0,25	0,02	0,01

При расчете долговременных последствий проявления эрозийных процессов следует учитывать, что по мере «сработки» гумусового горизонта потенциальные скорости воспроизводства, реализуемые в условиях оптимального поступления органического вещества, возрастают.

На рекультивируемых землях, особенно, когда почвенный слой представлен небольшим запасом почвенного ресурса, т. е. выпол-

няется условие $(H_r \bar{\Gamma})_{кр} < (H_r \bar{\Gamma})_{исх} < (H_r \bar{\Gamma})_{opt}$, необходим комплекс мероприятий по восстановлению почв с одновременным снижением или прекращением эрозионных процессов. Такие почвы при выполнении указанных мероприятий можно использовать под пашню.

На сильно деградированных почвах и при создании рекультивационного слоя из потенциально плодородных пород, когда $(H_r \bar{\Gamma})_{исх} \leq (H_r \bar{\Gamma})_{кр}$, сельскохозяйственную рекультивацию проводят с применением пионерных севооборотов, а также возможны варианты лесохозяйственного и рекреационного использования нарушенных земель.

В основу математического описания процесса восстановления почвы была принята изложенная ранее расчетная схема [см. формулу (6.16)]. Для обоснования параметра b как показателя, характеризующего соотношение планируемого прихода органического вещества в почву с предельным накоплением гумуса данного типа почвы на определенном этапе формирования почвенного профиля, были использованы: уравнение накопления гумуса

$$\Gamma = \Gamma_{opt} + (\Gamma_{исх} - \Gamma_{opt})e^{-bt} \quad (6.22)$$

или данные многолетних стационарных опытов с органическими удобрениями и рекультивационными севооборотами, результаты изучения формирования молодых почв в техногенных ландшафтах и динамику образования гумуса почв во времени.

Скорость накопления гумуса $d\Gamma/dt$ в зависимости от содержания гумуса выражена формулой

$$\frac{d\Gamma}{dt} = \frac{(a + \Gamma)(\beta + \Gamma)}{c(\Gamma + d)}, \quad (6.23)$$

где a — исходное содержание органического вещества в почвообразующих породах (лессы — 0,3...0,7%); β — зональный предел содержания гумуса, c и d — аппроксимирующие коэффициенты

Эффективность восстанавливающих приемов почв, которую определяют по уравнению баланса гумуса, должна приближаться к предельной скорости накопления гумуса, достигаемой, в частности, для подзолистых почв при значении параметра $b'' = 0,039$, а для черноземов и каштановых почв — 0,029 и 0,03.

Для одной ротации севооборота средние ежегодные скорости накопления гумуса $\Delta \bar{\Gamma}_m$, т/га,

$$\Delta \bar{\Gamma}_m = \gamma \frac{\Delta(H_r \bar{\Gamma})}{\Gamma} \bar{\Gamma}_{0...20}, \quad (6.24)$$

откуда

$$\Delta(H_r \bar{\Gamma}) = \frac{[(H_r \bar{\Gamma})_{\text{opt}}^* - (H_r \bar{\Gamma})_{\text{исх}}] \cdot (e^{-b_1^*} - e^{-b_2^*})}{t_2 - t_1}, \quad (6.25)$$

где H_r — мощность гумусового горизонта, мм; $\bar{\Gamma}$ и $\bar{\Gamma}_{0...20}$ — содержание гумуса в гумусовом горизонте и в слое 0...20 см, %; $t_2 - t_1$ — время ротации севооборота, лет; γ — плотность почвы в слое 0,2 м, г/см³.

Формирование почвенного горизонта это длительный процесс, который может длиться веками, подтверждением этого служит зависимость скорости почвообразования, полученная для условий Северного Причерноморья,

$$H_r = 6t^{0,55}, \quad (6.26)$$

где t — годы.

По этой зависимости установлено, что первые 20 см гумусового горизонта формируются в современных биоклиматических условиях степи со скоростью 0,33 мм/год, вторые 20 см — со скоростью 1,3 мм/год.

Один из эффективных приемов восстановления плодородия почвы, направленного на ускорение формирования гумусового горизонта, — внесение удобрений. Дозы вносимых органических удобрений, D , т/га,

$$D = \frac{\Delta \bar{\Gamma}}{K_r^*}, \quad (6.27)$$

где $\Delta \bar{\Gamma}$ — скорость накопления гумуса, т/год:

$$\Delta \bar{\Gamma} = 5 \cdot 10^{-3} [10 \Delta H_{r(z)} \cdot \gamma \bar{\Gamma}^*_{0...10} (1 + 2p) - 20 \Delta H_{r(n)} \cdot \gamma \bar{\Gamma}^*_{0...20} - \Delta(H_r \bar{\Gamma})] - \frac{1}{t_2 - t_1} \sum_{\varphi=1}^{t_2-t_1} K''_{r\varphi} A_{\varphi} - \frac{1}{t_2 - t_1} \sum_{\varphi=1}^{t_2-t_1} 0,009 (K_N Q_N)_{\varphi} + \frac{10}{t_2 - t_1} \sum_{\varphi=1}^{t_2-t_1} K_{p\varphi} V_{\varphi} + 0,02 \gamma \bar{\Gamma}^*_{0...20}.$$

$\Delta H_{r(z)}$ — эрозийные потери почвы, мм/год; остальные обозначения см. формулу (6.21).

Гумус теряется не только в результате эрозии почв, но и при выращивании сельскохозяйственных культур за счет потребления питательных веществ для создания биомассы.

Наиболее простой способ определения расхода гумуса почвы на создание той или иной массы урожая — по количеству азота, потребляемого культурой. При этом за среднее содержание азота в гумусе принимают 5 % (табл. 6.6).

6.6. Содержание азота и степень гумификации пожнивных остатков

Культура	Масса пожнивных остатков, т/га	Азот		Гумификация, 40 %		
		% сухой массы	кг/га	%	углерод, т/га	гумус, т/га
Озимая пшеница	4,21	1,05	44,2	25	0,421	0,725
Рожь	4,96	1,09	54,1	25	0,496	0,855
Ячмень яровой	3,03	0,96	29,1	25	0,303	0,522
Овес	4	1,14	45,6	25	0,400	0,69
Картофель	2,52	1,37	34,5	8	0,081	0,14
Сахарная свекла	2,17	1,56	33,8	8	0,069	0,119
Рапс озимый	5,79	1,38	79,9	15	0,347	0,598
Кукуруза	2,33	1,13	26,3	15	0,14	0,241
Клевер + злаки	4,95	2,59	128,2	30	0,594	1,024
Люцерна	6,62	2,31	152,9	30	0,794	1,369

Минеральные формы азота (1 — 3 % общего содержания) в первую очередь расходуются на создание урожая, а «активная» часть гумуса пополняет минеральные формы азота в почве.

Количество минерализованного гумуса, т/га,

$$G_M = (Y_0 K_N + Y_0 K_p K_{Np}) \cdot 0,6 \cdot 20, \quad (6.28)$$

где Y_0 — урожай основной продукции, т/га; K_N — вынос азота в пересчете на 1 т основной продукции (включая побочную), кг; K_p — коэффициент выхода растительных остатков по отношению к основной продукции; K_{Np} — вынос азота с 1 т растительных остатков, кг; 0,6 — средний коэффициент выноса почвы по отношению ко всему выносу его растениями; 20 — коэффициент перевода азота в гумус. Исходные данные для расчета можно найти в справочной агрономической литературе.

Ежегодное восполнение гумуса за счет корневых и пожнивных остатков в среднем составляет, т/га: зерновых культур — 0,4...0,6, пропашных — 0,2...0,3, многолетних трав — 0,5...1.

Коэффициент гумификации корневых и пожнивных остатков зерновых культур и многолетних трав приравнивается к коэффициенту гумификации подстилочного навоза, а пропашных культур — в 2 раза меньше.

Коэффициент гумификации навоза составляет 20...25 % при содержании сухого вещества 20...50 %. Чем больше накапливается гумуса, тем большая доля его представлена «активным гумусом», способным к интенсивной минерализации и поэтому расходующимся на питание растений, а степень гумификации растительных остатков снижается.

Ожидаемый запас гумуса в почве за звено или полную ротацию севооборота можно определить по формуле

$$S_t = (S_0 + K_r A t)(1 - K_m), \quad (6.29)$$

где S_t — запасы гумуса, т/га, через t лет; S_0 — исходные запасы гумуса, т/га; K_r —

коэффициент гумификации свежих органических веществ в долях единицы (за единицу принимают A); A — количество поступающих в почву свежих органических веществ, т/га; t — время, для которого рассчитывают запас гумуса, лет; K_m — коэффициент минерализации гумуса в долях единицы (за единицу принимают A).

При отсутствии экспериментальных данных о потерях гумуса из почвы используют показатель его минерализации

$$Г_{фт} = N_y Г_{п/} / N_{г} \Phi_{м}, \quad (6.30)$$

где N_y — вынос азота из неудобренной почвы (минус биологический азот и азот семян), т/га; $Г_{п/}/N_{г}$ — отношение гумуса к азоту в почвенном гумусе; $\Phi_{м}$ — коэффициент минерализации гумуса (без учета растительных остатков) в почве.

Долю биологического азота и азота семян, вынесенного с урожаем культур севооборота, по отношению к общему выносу азота рекомендуют принимать: 15 % — в севооборотах без бобовых культур; 20 % — с одним полем бобовых; 25 % — с двумя полями бобовых.

Расход гумуса из почвы связан прежде всего с уровнем азотного питания растений. Поэтому часто расходные статьи баланса гумуса определяются потерями его при возделывании сельскохозяйственных культур. Степень минерализации гумуса обусловлена также интенсивностью обработок, гранулометрическим составом почвы и запасом гумуса в ней (табл. 6.7).

6.7. Ежегодные потери гумуса (% запасов в пахотном слое) при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах

Культура	Почвы		
	суглинистые	супесчаные	песчаные
Зерновые, зернобобовые, лен	1,1	1,2	1,4
Картофель	1,6	1,8	2,1
Сахарная свекла, кормовые корнеплоды, овощные	2,5	2,7	3
Кукуруза (зеленая масса)	1,3	1,5	1,8
Однолетние травы, силосные (без кукурузы)	1	1,1	1,2
Многолетние травы	0,4	0,5	0,6
Чистые пары	2,7	3	3,5

Приходные статьи баланса гумуса определяются поступлением его в почву в результате гумификации пожнивных и корневых остатков возделываемых культур и внесения органических удобрений. Для Западного региона поступления растительных остатков приведены в таблице 6.8.

6.8. Поступление растительных остатков в зависимости от урожая основной продукции возделываемых культур

Культура	Урожай основной продукции, т/га	Отношение растительных остатков к основной продукции	Культура	Урожай основной продукции, т/га	Отношение растительных остатков к основной продукции
Озимая рожь, овес	До 2	1,3	Люпин на зерно	До 2	1,4
	2,1...2,5	1,2		Более 2	1,1
	2,6...3	1,1	Горох на зерно	До 1	0,9
	3,1...3,5	1		1,1...2	0,8
Более 3,5	0,9	Вика на зерно	Более 2	0,7	
Озимая и яровая пшеница	До 2		1,3	До 0,3	0,1
	2,1...2,5	1,2	Лен на волокно	0,31...0,6	0,09
	2,6...3	1,1		Более 0,6	0,08
	Более 3	0,9	Кормовые корнеплоды, сахарная свекла	До 20	0,1
Ячмень	До 2	1,1		20,1...35	0,09
	2,1...2,5	1		Более 35	0,08
	2,6...3	0,9		Кормовые бобы, зерно	До 1
	Более 3	0,8	1,1...2		1,6
Гречиха	До 1	1,4	2,1...3		1,5
	Более 1	1,1	Более 3	1,4	
Вика на зерно	До 2	0,8	Люпин на зеленую массу	До 25	0,11
	Более 2	0,7		Более 25	0,1
Картофель	До 15	0,16	Однолетние травы, зеленая масса	До 20	0,16
	15,1...25	0,15		0,1...30	0,15
	Более 25	0,14		Более 30	0,14
Овощные	До 10	0,12	Однолетние травы, сено	До 3	0,8
	10,1...20	0,11		Более 3	0,7
	Более 20	0,1	Многолетние травы на сено и зеленую массу в пересчете на сено	До 3	1,4
Кукуруза (зеленая масса)	До 20	0,1		3,1...4	1,2
	До 20	0,1		4,1...5	1,1
	20,1...30	0,08	5,1...7	0,9	
Более 30	0,07	Более 7	0,7		

Поступление же гумуса в почву в результате гумификации растительных остатков приведено в таблице 6.9.

6.9. Поступление в почву гумусовых веществ в результате гумификации растительных остатков, кг/г

Культура	Почвы		
	суглинистые	супесчаные	песчаные
Зерновые, зернобобовые, лен	200	170	140
Многолетние травы	250	210	180
Кормовые корнеплоды, сахарная свекла, картофель, овощные	100	85	60
Кукуруза, однолетние травы	150	130	110

Для восстановления плодородия деградированных почв используют следующие мероприятия почвозащитной системы земледелия: почвозащитную обработку, фитомелиоративные, в том числе агролесомелиоративные приемы, агрохимические приемы, мелиорацию, землевание.

Почвозащитная обработка представляет собой обработку почвы без оборота пласта с помощью плоскорезов, комбинированных агрегатов, чизелей, глубокорыхлителей, щелевателей, фрез и других орудий с оставлением на поверхности растительных остатков. Достоинства такой обработки в регулировании дефляционно-эрозийных потерь почвы и повышении продуктивности земель. Почвозащитные обработки определяют сбалансированность процессов минерализации и гумификации органического вещества в почве, что характеризует почвы ненарушенного сложения. При накоплении органического вещества в результате минимальной обработки увеличивается численность почвенной мезофауны. Это повышает биогенность почвенной структуры, которая при отвальной обработке составляет 1...3 % в пахотном слое и 3...6 % в подпахотном горизонте (табл. 6.10).

6.10. Содержание биогенной составляющей в темно-каштановой почве

Генетический горизонт	Глубина почвенного горизонта, см	Размер фракций, мм					Биогенность структуры, %
		>10	10...7	7...5	5...3	3...2	
<i>Целина</i>							
A	0...20	—	44	55	55	47	22
A, B ₁	20...40	9	24	45	51	37	22
<i>Залежь</i>							
A	0...20	—	4	20	46	36	18
<i>Пашня</i>							
A _{пах}	0...22	—	—	7	10	—	1
	22...38	—	—	5	13	13	3

Почвенная биота, отличающаяся большой численностью и качественным многообразием, в условиях минимальной обработки во многом заменяет вспашку, т. е. исполняет роль «рыхлителя» почвы и способствует не только накоплению гумуса, но и его активной минерализации. Минимальная обработка почв на склонах должна сопровождаться снижением доз удобрений и повышением частоты их внесения, что позволит, с одной стороны, учесть экологические требования, а с другой — повысить эффективность разложения ежегодно вносимого органического вещества в про-

цессе накопления гумуса. Частая обработка почвы способствует большей минерализации гумуса. Это объясняется тем, что органическое вещество наиболее энергично разлагается в анаэробных условиях, т. е. при активной аэрации. Из общего объема полученных продуктов минерализации (азота, углекислоты) часть используется растениями, а часть непроизводительно теряется. Особенно возрастает минерализация гумуса при обработке чистых паров и пропашных культур. С увеличением доли пропашных культур в севообороте в 3 раза (с 25 до 75 %) минерализация гумуса возрастает в 4 раза (с 0,5 до 2 т/га).

Фитомелиоративные приемы основаны на динамике учета поступления органического вещества с растительными остатками в балансе гумуса почвы (табл. 6.11).

6.11. Баланс гумуса на супесчаной дерново-подзолистой почве

Культура	Площадь, га	Урожайность, ц/га	Вывос азота урожаем, кг/га		Общий расход азота, кг/га	Минерализация гумуса, т/га	Накопление растительных остатков, т/га	Образование гумуса, т/га	Баланс гумуса, ± т/га
			всего	в том числе из почвы					
Ячмень	84	25	62,5	31,25	52,5	0,1	1,05	0,45	-0,6
Многолетние травы (сено)	20	0,5	130	19,5	27,3	0,55	6,5	1,17	+0,62
Овес	23	0,26	75,4	37,7	63,3	1,27	3,12	0,47	-0,8
Люпин (зеленая масса)	45	0,3	120	18	25,2	0,5	5,1	0,92	+0,42
Озимая рожь	69	0,26	67,6	33,8	56,8	1,14	3,38	0,51	-6,3

Однолетние культурные растения в черноземной зоне обеспечивают ежегодное поступление поверхностных и корневых остатков в количестве 2,7...4,4 т/га; многолетние травы создают приход растительного вещества: 5,1...5,8 т/га — люцерна, 5,2...6 т/га — райграс (табл. 6.12).

6.12. Поступление и трансформация растительных остатков сельскохозяйственных культур в условиях Причерноморья

Культура	Ежегодное поступление послеуборочных остатков, т/га	Степень разложения свежих растительных остатков за год, %	Масса ежегодно разлагающихся растительных остатков, %
<i>Поверхностные остатки</i>			
Озимая пшеница	2,4	43	1
Озимый ячмень	2,3	53	1,2
Яровой ячмень	1,7	54	0,9
Кукуруза:			
на зерно	0,9	65	0,6
на силос	0,7	65	0,4
Сорго	1,5	42	0,6

Культура	<i>Продолжение</i>		
	Ежегодное поступление послеуборочных остатков, т/га	Степень разложения свежих растительных остатков за год, %	Масса ежегодно разлагающихся растительных остатков, %
Овес:			
на зерно	1,5	60	0,9
на зеленый корм	1,5	83	1,3
Подсолнечник	1,3	64	0,8
Горох:			
на зерно	0,5	74	0,4
на зеленый корм	0,5	88	0,4
Люцерна	0,4...1,1*	31	0,1...0,3

Корневые остатки в слое 0...20 см

Озимая пшеница	1,6	35	0,6
Кукуруза	2,4	16	0,4
Подсолнечник	2,1	15	0,3
Люцерна:			
корневища	—	65	2,5
деятельные корни	—	13	0,5
недеятельные корни	—	28	0,4

Примечание. Значение опада в отдельные годы жизни.

Наибольшее поступление органического вещества в почву наблюдается в условиях целины, например, в степи это поступление составляет 6...12 т/га растительного вещества, из которого ежегодно формировалось 1,4...2,5 т/га гумуса.

Поступление гумуса за счет растительных остатков однолетних сельскохозяйственных культур составляет лишь 17...53 % оптимального его поступления. В почвозащитных севооборотах при доле многолетних бобовых трав 40 % и более бездефицитный баланс гумуса в почве обеспечивается за счет гумификации пожнивно-корневых остатков без дополнительного внесения органических удобрений. Злаковые многолетние травы отличаются более высокими почвозащитными свойствами, чем бобовые, однако для восстановления плодородия разрушенных земель необходимо участие бобовых трав. Для этого рекомендуют использовать многокомпонентные смеси, в которых отдельные виды трав имеют различные ярусность, строение корневой системы, одновременное максимальное проективное покрытие.

На смытых почвах и с увеличением степени смытости количество растительных остатков, поступающих в почву, снижается от надземной массы в 1,5...2 раза, от корневой массы это уменьшение составляет 8...10 %.

В условиях недостаточного увлажнения количество поверхностных остатков сельскохозяйственных культур зависит не только от

степени смытости почвы, но и от ее положения на склоне, что значительно влияет на урожай помимо эрозии и влагообеспеченности. Например, в нижних частях склонов степной зоны независимо от степени смытости количество поверхностных остатков озимой пшеницы колеблется от 48 до 66 % (в среднем 60 %) количества, определяемого на водоразделах.

Данные о химическом составе сельскохозяйственных культур, произраставших на смытых почвах, показывают, что в этих условиях растительные вещества обогащаются азотом. Кроме того, на ускорение процесса разложения растительных остатков может влиять и микробиологическая предрасположенность смытых почв к эффективной утилизации органического вещества.

Поверхностные остатки, например озимой пшеницы, интенсивнее разлагаются на среднесмытой почве, а корневые — на несмытой. Это связано с тем, что поверхностные и корневые остатки пшеницы имеют различные соотношения легко- и труднодоступных для микроорганизмов веществ.

Большая трансформация поверхностных остатков на среднесмытой почве связана с дефицитом поступающей с ними доступной целлюлозы, составляющей 55...60 % количества на несмытой почве при близкой микробиологической активности. Более активному протеканию процесса разложения поверхностных остатков способствует недостаток азота в смытой почве.

Отмечено, что включение углерода в состав гумусовых веществ на безгумусовой породе в 3...4 раза эффективнее, чем в условиях гумусированной почвы. В генетически зрелых почвах коэффициент гумификации снижается, а минерализация растительных остатков возрастает. Потенциальные скорости формирования гумусового горизонта среднесмытых почв в 2...3 раза, а сильносмытых почв — в 3,5...5,5 раза больше, чем несмытых и слабосмытых.

На эрозионно-опасных территориях эффективно использовать поверхностные остатки для поддержания плодородия почвы сложнее, так как это усложняется вынужденным применением части их в противоэрозионных целях (при различных почвозащитных обработках, формировании стерневых кулис, заполнении стокорегулирующих канав, мульчировании и др.). Однако и оставлять на поверхности почвы большое количество растительных остатков нецелесообразно. В этом случае снижается температура почвы, что задерживает рост и развитие яровых культур, а также наблюдаются переувлажнение почвы и ее анаэробизм в весенний период. Недопустимо сжигание стерни.

При небольшом количестве послеуборочных остатков (2...4 т/га) можно использовать минимальную обработку почвы, что особенно эффективно в районах недостаточного или умеренного увлажнения. Минимальная обработка почвы замедляет дегумифика-

цию, заделывать солому в почву целесообразно чизелем и тяжелым культиватором (табл. 6.13).

6.13. Влияние способов заделки соломы на содержание гумуса и общего азота (чернозем мощный), %

Способ заделки	Содержание гумуса			Содержание азота		
	исходное	конечное	±	исходное	конечное	±
Запашка:						
плугом	10,1	8,4	-1,7	0,55	0,45	-0,10
дисковыми орудиями	10,1	9,4	-0,7	0,55	0,51	-0,04
Частичная заделка	10,1	9,8	-0,3	0,55	0,52	-0,03

Наиболее благоприятные условия для гумификации поступающих растительных остатков и удобрений создаются при периодическом чередовании мелкой и глубокой обработок. Это связано с замедлением процессов минерализации на глубине и лучшей сохранностью активного (новообразованного) гумуса. Эффективность поверхностных остатков зерновых культур в гумусообразовании можно повысить с помощью использования минеральных удобрений. При добавлении азота в почву отношение C : N становится более узким и коэффициент превращения углерода соломы в углерод гумуса достигает 20...30 % по сравнению с 5...6 % при разложении соломы без добавочного (10...12 кг на 1 т соломы) внесения азота.

Разнообразие растительных остатков в севообороте способствует гармоничному развитию основных групп микроорганизмов в почве (табл. 6.14). Помимо этого наблюдается более сбалансированный возврат в почву химических элементов. На склоновых землях эффективна система уплотненного использования пашни при возделывании в севообороте наряду с основными культурами озимых, промежуточных, поукосных, пожнивных и подсевных культур. Растительные остатки промежуточных культур (табл. 6.15) пополняют почву элементами питания, ферментами, благоприятствующими синтезу гумуса.

6.14. Содержание питательных веществ в растительных остатках отдельных культур

Культура	Растительные остатки	Содержание азота, %	Содержание питательных веществ, относительно азота (N = 1)	
			P ₂ O ₅	K ₂ O
Ячмень	Поверхностные	0,66	0,3	1,65
	Корневые	1,14	0,24	0,51
Озимая пшеница	Поверхностные	0,46	0,31	1,74
	Корневые	1,02	0,21	0,59
Горох	Поверхностные	1,13	0,22	0,74
	Корневые	1,81	0,3	0,33

Продолжение

Культура	Растительные остатки	Содержание азота, %	Содержание питательных веществ, относительно азота (N = 1)	
			P ₂ O ₅	K ₂ O
Кукуруза	Поверхностные	0,96	0,29	1,62
	Корневые	0,86	0,3	1,62
Люцерна, эспарцет, клевер, люпин	Поверхностные	2,15	1,82	0,24
	Корневые	0,26	0,74	0,33

Эффективность воздействия промежуточных культур на плодородие почвы обусловлена спецификой химического состава (высоким содержанием азота и оксида кальция), а также уборкой растений до наступления их физиологической спелости. При этом эффективность промежуточных посевов в почвоулучшении приближается к эффективности хорошо приготовленного навоза.

6.15. Количество растительных остатков, поступающих в почву при возделывании промежуточных культур

Промежуточная культура	Растительные остатки	
	сухое вещество, т/га	N, кг/га
Озимые:		
райграс:		
многолетний	4,5	57
многоукосный	5	43
Поживные:		
крестоцветные:		
раннего срока посева	1,5	30
позднего	1	16
смеси бобовых	1,8	40
Подсевные:		
сераделла, клевер луговой	2,6	62
райграс многолетний	4	47

Более низкая эффективность вносимого с органическими удобрениями азота по сравнению с азотом минеральных удобрений для полного и экологически безопасного удовлетворения потребностей культур в этом элементе требует проведения запашки всей массы бобовых культур в качестве сидератов. Возделывание сидератов (люпина, гороха, чины, масленичной редьки, эспарцета, донника белого, рапса, райграса, горчицы и др.) — один из способов повышения плодородия почв за счет улучшения водно-физических свойств, активизации биологических процессов, увеличения содержания азота. Особенно эффективно их применение в районах, удаленных от животноводческих ферм, а также их малопродуктивных и легких по гранулометрическому составу почвах. Вид зеленых удобрений выбирают по их действию: бобовые куль-

туры предпочтительнее для сохранения и увеличения в почве азота, злаковые травы за счет более разветвленной корневой системы — для улучшения структуры почвы.

Агролесомелиорация — система мероприятий по борьбе с эрозией почвы, засухой и суховеями. Она включает создание защитных лесонасаждений на оврагах, балках, мелиорируемых и рекультивируемых землях.

В лесных полосах повышается поглотительная способность и фильтрация, улучшаются водно-физические свойства смытых почв, воспроизводство гумуса. Под пологом леса в светло-каштановой почве валовые запасы гумуса достигают 69 т/га, в темно-каштановой — 192 т/га, при удалении от лесонасаждений на расстояние до двух высот запасы гумуса уменьшаются до 62 и 163 т/га, а при большем удалении от полосы гумуса снижаются до 29 и 88 т/га.

По сравнению с почвами полей без лесных полос почвы вблизи деревьев при прочих равных условиях имеют повышенное содержание гумуса в 1,7 раза, P_2O_5 в 1,3...1,5 раза, K_2O в 4,5 раза, N в 1,7...7 раз.

Основные элементы агролесомелиорации — лесные полосы, которые размещают по возможности во взаимно перпендикулярных направлениях так, чтобы ограниченные ими земельные участки имели прямоугольную форму. Основные лесные полосы располагают поперек господствующих эрозионно-опасных и суховейных ветров (отклонение не должно превышать 30°). Расстояние между основными лесными полосами не должно превышать рабочую высоту взрослых древостоев более чем в 30 раз; расстояние между вспомогательными полосами принимают до 2000 м (табл. 6.16).

6.16. Параметры полезащитных лесных полос

Почвы	Возможная высота взрослых древостоев, м	Расстояние между полосами (не более), м	
		основными	вспомогательными
Серые лесные, оподзоленные и выщелоченные черноземы	20...22	600	2000
Типичные и обыкновенные черноземы	16...18	500	2000
Южные черноземы	12...14	400	2000
Темно-каштановые и каштановые	8...10	350	1500
Светло-каштановые	6...8	250	1500

На легких почвах во избежание эрозии расстояние уменьшают. В зависимости от размещения полос площадь пашни, окаймленная ими, составляет 20...120 га. Полезащитные лесные полосы уст-

раивают при уклонах местности не более 2°. Конструкция лесополос оказывает влияние на снижение скорости ветра, а следовательно, на условия эрозии почвы, снегонакопления и испарения влаги. Наиболее эффективны продуваемые и ажурные лесополосы.

Лесные полосы продуваемой конструкции имеют крупные просветы между стволами (площадь просветов более 60 %) и мелкими просветами в кронах (0...10), а ажурные полосы — мелкие просветы между стволами и в кронах суммарной площадью 15...33 %, в непродуваемых конструкциях — 0...10 %.

Продуваемые лесополосы рекомендуют для лесостепи и черноземной степи, Центральной черноземной зоны, Поволжья, Западной Сибири и Северного Кавказа, ажурные — в районах распространения каштановых почв Поволжья и в степных районах Северного Кавказа. Устройство непродуваемых полос не рекомендуется.

Полезащитные лесные полосы закладывают в три-четыре ряда, редко в пять рядов, шириной до 15 м, внутри полей севооборотов допускается применение двухрядных полос.

Лесные полосы бывают чистыми и смешанными. Чистые насаждения состоят из одной главной породы. При использовании медленнорастущих пород (дуб, сосна и др.) для ускорения действия лесополосы в опушечный ряд вводят 20...35 % низкорослых кустарников, чередуя их с древесными породами.

Смешанные насаждения из светолюбивых и теневыносливых древесных пород применяют в степных районах. Последние размещают в крайних рядах, а в трехрядных полосах высаживают через одно дерево главную породу.

Расстояния между рядами на серых лесных почвах и черноземах — 2,5...3 м, на южных черноземах и каштановых почвах — 3...4 м, между сеянцами в ряду — 1,5...2 м. Для разных районов требуемое число сеянцев на 1 га лесной полосы составляет от 880 до 2700 (табл. 6.17). Саженьцы и черенки высаживают через 2,5...3 м.

6.17. Число сеянцев на 1 га при рядовой посадке

Расстояние между сеянцами в рядах, м	Расстояние между рядами, м				
	2,5	3	3,5	4	4,5
1	4000	3300	2900	2500	2200
1,5	2668	2201	1934	1668	1467
2	2200	1650	1450	1250	1100
2,5	1600	1320	1160	1000	880

Посадку (посев) лесных полос на подверженных ветровой эрозии землях проводят ранней весной.

Лесные полосы создают диагонально-групповым (сеянцы размещают группами по 3...5 растений, расстояние между группами в

ряду 7...9 м), шахматным (расстояние в ряду 5...8 м, между рядами — 2 м), группово-рядовым и другими способами, при которых обеспечивается механизированный уход за почвой. Шахматный способ лучше использовать в засушливых районах.

За лесными полосами постоянно ухаживают и следят, почву в рядах обрабатывают до смыкания крон деревьев от 4...6 (в лесостепи) до 10...12 лет (в сухой степи). В состав работ по уходу входят культивация, осенняя безотвальная перепашка, ручные рыхления и прополки.

Агрохимические мероприятия включают расчет и внесение доз удобрений на создание необходимого запаса питательных веществ в почве.

В увеличении продуктивности эродированных почв главное значение, как правило, имеют азотные удобрения, хотя на некоторых генетических типах (подтипах) почв эффективность фосфорных удобрений выше. Действие же калийных удобрений незначительно и нестабильно. При применении только минеральных удобрений на эродированных почвах необходимо учитывать процессы, происходящие в почве. Внесение азотных удобрений активизирует микробиологическую деятельность, ускоряет круговорот органического и минерального азота, увеличивает его активность. Одновременное нахождение иммобилизованного азота удобрений и почвенного азота при недостатке органической составляющей, что характерно для эродированных почв, приводит к увеличению содержания минеральной формы азота. Дополнительная минерализация почвенного азота, способствуя кратковременному повышению урожаев на эродированных почвах, усиливает несбалансированность процессов синтеза — распада гумусовых соединений и потери азота.

На склоновых землях имеются и иные трудности в использовании удобрений. Так, в условиях минимальной обработки почвы и при поверхностном внесении азотных удобрений газообразные потери азота могут достигать более 30 %.

В различных системах альтернативного земледелия для обеспечения растений элементами минерального питания апробируют базальтовую муку, муку из водорослей, древесную золу, кости, томасшлак, доломит, калимагнезию и др. Перспективное направление в использовании биологического азота — применение инокулянтов, с помощью которых происходит фиксация азота злаковыми и другими небобовыми растениями за счет деятельности ризосферных бактерий.

Доказана высокая эффективность органо-минеральной системы, при которой сочетают медленнодействующие органические удобрения с оптимальными дозами быстродействующих минеральных. При сочетании минеральных и органических удобрений

с соломой и другими растительными остатками заметно снижаются потери азота благодаря его иммобилизации в процессе гумификации и образования легкогидролизуемых органических соединений. Применение такой системы на эродированных почвах способствует большему накоплению гумуса, улучшает ряд агрофизических параметров. При внесении органических удобрений (навоза, сапропеля, компоста, торфа) отрицательное влияние азотных минеральных удобрений на жизнедеятельность почвенных азотфиксаторов снижается.

При сельскохозяйственном использовании эродированных почв важное значение в повышении их плодородия имеют органические удобрения как растительного происхождения (поверхностные и корневые остатки культур, солома, сидераты, торф, опилки, листья, хвоя, лигнин, сапропель), так и животного (навоз крупного рогатого скота, свиной, овечий, конский, птичий помет, вермикомпост). Особую группу составляют органоминеральные удобрения (донные отложения водоемов, продукты отмывки корнеплодов сахарной свеклы, гранулированные органоминеральные удобрения, некоторые виды компостов).

Органические удобрения, особенно при систематическом применении, увеличивают содержание гумуса в почве и, как следствие, увеличиваются размеры и улучшается водоустойчивость макро- и микроструктуры, повышаются водоудерживающая способность и запасы доступной растениям почвенной влаги, возрастают скорость инфильтрации, пористость, улучшаются реологические свойства. Критерием дифференцированного использования отдельных видов органических удобрений на почвах неодинаковой степени смытости может служить содержание питательных веществ, которое существенно отличается у разных видов навоза и торфа (табл. 6.18). В зональном ряду почв наибольшее влияние органических удобрений на увеличение содержания гумуса отмечено на бедных гумусом дерново-подзолистых и серых лесных почвах. С усилением степени смытости возрастают прибавки урожая от применения навоза. При внесении органических удобрений противоэрозионная устойчивость черноземов обыкновенных повышается на 58 %, при этом положительный эффект сохраняется в течение 2 лет.

6.18. Содержание питательных веществ в навозе и торфе, % сухой массы

Удобрение	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Навоз:				
крупного рогатого скота	0,45	0,26	0,55	0,1
конский	0,58	0,28	0,53	0,3
овечий	0,85	0,25	0,67	0,3
свиной	0,45	0,19	0,55	0,05

Удобрение	Продолжение			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Торф:				
низинный	0,4	0,04	0,01	0,6
верховой	0,2	0,01	0,01	0,05

Питательные вещества торфа, в особенности азот, находятся в труднодоступной для растений форме. Эффективность их использования резко возрастает при компостировании торфа с навозом, навозной жижей, птичьим пометом, фосфоритной мукой, известью, золой и т. д. Применение навозно-торфяных компостов (60 т/га) в сочетании с минеральными удобрениями сглаживает различия в продуктивности дерново-подзолистых почв, имеющих разную степень смытости.

Сапропель — донные отложения пресноводных водоемов, образующиеся в результате биохимических, микробиологических и физико-механических процессов из остатков населяющих озеро животных и растительных организмов, а также приносимых водой и ветром органических и минеральных примесей. Их запасы на территории бывшего СССР оценивали в 250 млрд м³ сырой массы, или 100 млрд т в пересчете на 60%-ю влажность. Основные компоненты золы сапропеля — оксиды кремния, магния, железа, алюминия, марганца, фосфора, натрия, карбоната кальция, а также различные микроэлементы (табл. 6.19). Высокая водоудерживающая и низкая фильтрационная способность сапропеля улучшает водно-физические свойства легких почв. Обладая клеящей способностью, сапропель при взаимодействии с почвой улучшает ее структуру, придает ей комковатость, увеличивает воздухопроницаемость. Очевидно, что сапропели в качестве удобрений на эродированных почвах целесообразны лишь при противоэрозионном обустройстве прилегающих к озеру склоновых земель.

6.19. Характеристика различных видов сапропелей

Вид сапропеля	Влажность, %	Кислотность, pH	N	Зольность, % на сухое вещество	Состав золы		
					CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O
Органический	82,5...97,4	3,2...7,9	2...4,1	6,1...30	0,3...0,8	0,02...2,53	0,3...1,8
Органо-песчаный	81,2...95	2,4...7,2	0,7...2,9	31...65	0,8...8	0,07...0,67	—
Органо-глинистый	70,8...96,3	3...8	0,9...3,7	30...65	1...8	0,02...0,87	0,3...5,8
Органо-известковый	67,8...94,8	6...8,5	0,6...3,5	20,5...65	8,1...30	0,03...3,9	0,2...9,8
Известковый	50...93,1	6,6...8,5	0,4...2,6	39,7...85	30...52	0,01...0,66	0,1...2,4

К верховому торфу близок по своим физико-химическим свойствам и структуре гидролизный лигнин. В 1 т лигнина содержится 0,5 кг азота, фосфор и калий практически отсутствуют. В некоторых районах использование отходов углеобогащительных фабрик, содержащих углерод в органической форме, азот, фосфор, калий, ряд микроэлементов, позволяет увеличить применение органических удобрений в 2 раза. Высокий эффект от применения углегуминовых удобрений (гидролизованый уголь, гумофос, гуминовая кислота) на эродированных сероземах. Эти удобрения составляют переходную группу от органических (содержат до 30...40 % гуминовых кислот) к минеральным удобрениям.

Гранулированное органо-минеральное удобрение (ГОМУ) получают из отходов мелассо-спиртового производства. Оно содержит азот, фосфор, калий, органические вещества, в том числе гумины.

Высокой эффективностью отличаются органо-минеральные удобрения, приготовленные из отходов гидролизно-дрожжевой промышленности, что объясняется высоким уровнем связывания гуминовых кислот гипсом. Гранулированное удобрение, полученное на основе шламовых отходов и лигносульфонатов, содержит 66,75 % минеральных веществ, 0,57 — общего азота, 2,07 — фосфора, 31 % кальция.

Донные отложения прудов, пресноводных озер и некоторых лиманов, внесенные на эродированные земли, сопровождаются потерей органического вещества, обедненным содержанием бора, меди, марганца, цинка, кобальта. Их можно рассматривать как комплексное органо-минеральное удобрение, способное поддерживать гумусное состояние почв и их микроэлементный потенциал. Наибольшую эффективность получают при внесении 100 т прудового ила или по 40 т ила и навоза на 1 га сильноэродированного чернозема обыкновенного. Отходы сахарного производства (продукты отмывки корнеплодов), отобранные из отстойников биологической очистки, представляют собой при высыхании хорошо оструктуренный субстрат: доля крупнозернистых и зернистых агрегатов (5...3 и 3...1 мм) составляет 40 %. В них содержится 4,83 % органического вещества, 0,47 — валового азота, 21 % CaCO_3 . Достигается обеспеченность подвижными формами питательных веществ — повышенная для азота (5,6 мг/100 г) и очень высокая для фосфора и калия (8,8 и 152 мг/100 г соответственно). Для приготовления компостов на основе навоза в практике альтернативных систем земледелия используют солому, отходы бумаги, траву сорных растений, листья деревьев, фруктовые выжимки, добавляют минеральные вещества (сырые фосфаты, базальтовую пыль и др.). Большое внимание при приготовлении компостов уделяют дождевым червям.

При использовании различных органических отходов (навоз, бытовой мусор, осадок сточных вод, растительные остатки, опилки и др.) в качестве корма для красного калифорнийского и навозного червей получают вермикомпост (или биогумус). Органические отходы подвергаются в кишечнике червей физико-химическим, биологическим и микробиологическим изменениям, обогащаются некоторыми питательными веществами, ферментами и микроорганизмами. В вермикомпостах в зависимости от видов отходов содержится органического вещества 24...64 %; углерода — 12...29; общего азота — 0,8...3; P_2O_5 — 0,5...5, K_2O — 0,3...2,5 %. При вермикомпостировании процесс гумификации органических отходов проходит быстрее и более глубокий, чем при обычном компостировании.

Эффективность удобрений значительно повышается при наличии в почве активного кальция. Хороший эффект в Нечерноземье дает известкование кислых почв, которое устраняет избыточную кислотность, увеличивает сумму поглощенных оснований, изменяет агрохимические свойства почвы, повышает ее плодородие.

Применение кальцийсодержащих удобрений актуально и для черноземных почв, особенно оподзоленных и выщелоченных. Связано это с тем, что при использовании физиологически кислых удобрений из почвы теряется определенное количество кальция, а реакция почвенного раствора повышается. Дефекат сахарных заводов снижает гидролитическую кислотность почв, повышает степень насыщенности основаниями, содержит до 15...20 % органического вещества. При внесении дефеката дозой 80 т/га в черноземах обыкновенных содержание подвижных форм N составляло 6,2 мг/100 г; P_2O_5 — 9,4; K_2O — 37,2 мг/100 г.

Для почв легкого гранулометрического состава перспективно использование цеолитов, имеющих высокую емкость поглощения и содержащих активный кальций.

Мелиорация земель позволяет регулировать водно-воздушный, тепловой и химический режимы нарушенных земель. Способы регулирования режимов изложены в курсе «Мелиорация земель». При орошении эродированных склоновых участков наиболее перспективными являются синхронно-импульсное и мелкодисперсное дождевание.

В условиях орошения эффективно восстановление почвы подбором сельскохозяйственных культур (трав), которые обладают высоким мелиорирующим воздействием. К таким культурам относят травы. Они оказывают более равномерное по площади и более глубокое мелиоративное воздействие (корни люцерны, например, могут проникать вглубь до 3 м, а длина корневых волосков у мятлика лугового достигает 5,2 м), улучшают физические свойства почвы за счет образования устойчивых биопор (диаметром более 4 мм).

В первый год жизни люцерны величина опад составляет 0,37 т/га на богаре и 0,95 т/га в условиях орошения, а в последующие годы возрастает соответственно до 1,1 и 1,8 т/га. При использовании люцерны как подпокровной культуры (под покров кукурузы на зеленый корм овса, ярового ячменя) уже на второй год накапливается более 3 т/га растительного вещества с высоким содержанием азота. В многолетних посевах масса живых корней люцерны в слое 0...20 см составляет 7,2...9,2 т/га, в слое 0...40 см — 11,9, в слое 0...100 см — 13 т/га. Ежегодно в слое 0...20 см обновляется не менее 2,5...3 т/га, а в слое 0...40 см — 4 т/га корней. Важное значение для плодородия почвы имеет также фиксация атмосферного азота, осуществляемая клубеньковыми бактериями при симбиозе с люцерной. За счет поверхностных и корневых остатков ежегодное поступление азота в пахотный горизонт составляет 75...90 кг/га, а после распашки посева люцерны — 300 кг/га биологического азота.

В опытах при оптимальном увлажнении урожаи люцерны на сильноосмытых почвах составляют 74...95 % урожая на несмытой почве. При выращивании озимой пшеницы с весенним подсевом люцерны в условиях оптимального увлажнения урожай на смытых почвах не опускался ниже 80 % относительно несмытой почвы. По сравнению с условиями поддержания фактической (полевой) влажности почвы орошение, обеспечивающее влажность 0,6 ПВ, увеличило урожайность на смытых почвах в 1,9...3,2 раза. Таким образом, многолетние бобовые травы, урожайность которых в отличие от зерновых культур зависит меньше от почвенного плодородия, а больше от различий во влагообеспеченности, можно рекомендовать как основные и подсевные культуры для орошаемых участков со средне- и сильноосмытыми почвами. Это позволит ускорить воспроизводство почвенного плодородия при одновременном увеличении производства кормов.

Учитывая необходимость получения продукции, хорошо сбалансированной по кормовым достоинствам, значение поликомпонентных (бобово-злаковых) травосмесей должно возрастать по мере восстановления почвенного плодородия.

Землевание позволяет заново создать почвенный слой. Оптимальная мощность почвенного слоя, наносимого на эродированные почвы под зерновые культуры, составляет 30...40 см, для слабосмытых почв — 15, среднесмытых — 30, сильноосмытых — 45 см; при внесении удобрений мощность уменьшается. Землевание больших территорий — это дорогостоящий способ рекультивации деградированных земель. Эффект от этого мероприятия получают в течение первого года, а окупаемость затрат, особенно при создании рекультивационного слоя на малопродуктивных вскрышных породах, составляет десятки лет (табл. 6.20).

6.20. Влияние мощности почвенного слоя на урожайность вико-овсяной смеси и срок окупаемости капитальных затрат (Подмосковный угольный бассейн)

Мощность почвенного слоя, см	Урожайность, ц/га		Срок окупаемости, лет	
	без удобрений	НPK*	без удобрений	НPK*
40...60	1,91	2,71	19...25	15...9
80...100	2,00	2,83	29...34	22...27
115...150	2,09	3,34	40...46	27...30

*Внесение комплекса азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Применение землевания, как способа рекультивации нарушенных земель при отсутствии или ограниченном резерве почв, необходимо обосновывать эколого-экономическими расчетами.

6.6. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПЕСТИЦИДАМИ

К пестицидам относятся органические и неорганические соединения, применяемые для борьбы с вредителями и болезнями растений, сорняками, а также для ускорения созревания регенеративных органов ряда культур, убираемых с помощью машин. Пестициды включают инсектициды (для борьбы с насекомыми), фунгициды (для борьбы с грибковыми), гербициды (для борьбы с сорняками), родентициды (для борьбы с грызунами), бактерициды (для борьбы с бактериями), майтициды (для борьбы с клещами), нематоциды (для борьбы с червями) и моллюскициды (для борьбы с моллюсками). Они проникают в организм через желудочно-кишечный тракт, легкие, кожу и раны на теле. Список химикатов, используемых для борьбы с вредителями, очень велик и постоянно пополняется.

Пестициды нашли широкое применение во многих странах мира и попытка регулировать этот процесс остается неэффективной, поскольку многие производители сельскохозяйственной продукции часто не понимают или не соблюдают инструкцию по их использованию. В мире на 1 га в среднем вносят 30 г химических средств защиты растений, что представляет определенную угрозу для жизни человечества земного шара.

Неумелое обращение с пестицидами, нарушение санитарных и природоохранных требований при применении, транспортировке и хранении пестицидов было и остается важной экологической проблемой использования пестицидов в России.

Для сокращения площади загрязнения необходимо соблюдать требования инструкции по приготовлению и использованию пес-

тицидов. Подготовка рабочих составов необходимо выполнять на специально оборудованных стационарных пунктах или в передвижных агрегатах, которые должны быть отдалены от жилых построек, скотных дворов, мест хранения фуража, источников водоснабжения, зон отдыха населения на расстояние не менее 300 м. Заправочные площадки должны быть забетонированы и ограждены. При наземной обработке растений пестицидами санитарно-защитная зона должна быть не менее 300 м, при авиационной — 1000 м. Опыление растений наземной аппаратурой допускается при скорости ветра не более 3 м/с; опрыскивание с использованием вентиляторных опрыскивателей допускается при скорости ветра не более 3 м/с (мелкокапельное) и 4 м/с (крупнокапельное), а с использованием штанговых тракторных опрыскивателей при скорости ветра не более 4 м/с (мелкокапельное) и 5 м/с (крупнокапельное). Авиаопыление разрешается при скорости ветра не более 2 м/с, а авиаопрыскивание — не более 3 м/с (мелкокапельное) и 4 м/с (крупнокапельное).

Почвы, загрязненные остаточным количеством пестицидов, оценивают сравнением исходного содержания с санитарно-гигиеническими нормативами [Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых количеств (ОДК) химических веществ в почве, 1993 г.]. ПДК для некоторых из них составляет: атразин — 0,01 мг/кг почвы, ДДТ — 0,1 мг/кг, линурон — 1 мг/кг, купроцин — 1 мг/кг, симазин — 0,01 мг/кг.

Попадая в почву, пестициды вовлекаются в различные процессы: мигрируют с почвенной влагой, сорбируются органическими и минеральными коллоидами, поглощаются корневыми системами растений, подвергаются процессам микробиологического и фотохимического разложения, некоторые могут улетучиваться с поверхности почвы. В наибольшей степени накопление токсичных пестицидов в почвах обусловлено двумя основными процессами — детоксикацией и сорбцией, которые зависят от ряда свойств и режимов почв.

Детоксикация связана с солнечной радиацией, которая нарастает с севера на юг. Микробиологическая активность наиболее высока в условиях оптимального сочетания тепла и увлажнения — в Черноземном Центре и Поволжье, на юге Западной Сибири.

Интенсивность передвижения пестицидов в почве с почвенным раствором или одновременно с перемещением коллоидных частиц, на которых они адсорбированы, зависит как от процессов диффузии, так и массового тока (растворения). При поверхностном стоке, вызываемом осадками или орошением, пестициды передвигаются в растворе или суспензии, скапливаясь в углублениях почвы. Данная форма передвижения пестицидов зависит от рельефа местности, эродированности почв, интенсивности осадков,

степени покрытия почв растительностью, времени, прошедшего с момента внесения пестицида. Количество пестицидов, передвигающихся с поверхностным стоком, составляет более 5 % внесенного в почву. По данным Румынского НИИ почвоведения и агрохимии, на стоковых площадках в результате промывных дождей одновременно с почвой происходит и потеря триазина. На стоковых площадках с уклоном 2,5 % в поверхностных водах были обнаружены остаточные количества хлорорганического инсектицида ГХЦГ от 1,7 до 3,9 мг/кг, а в суспензии — от 0,041 до 0,085 мг/кг ГХЦГ и от 0,009 до 0,026 мг/кг ДДТ. Вымывание пестицидов по профилю почв заключается в их передвижении вместе с циркулирующей в почве водой, что обусловлено в основном физико-химическими свойствами почв, направлением движения воды, а также процессами адсорбции и десорбции пестицидов коллоидными частицами почвы. Так, в почве, ежегодно в течение длительного времени обрабатываемой ДДТ в дозе 189 мг/га, через 20 лет обнаружено 80 % этого пестицида, проникшего на глубину 76 см. По данным исследований, проведенных в Румынии, на трех различных почвах (аллювиальной очищенной, типичной солончаковой, мощном черноземе), где проводились обработки хлорорганическими инсектицидами (ГХЦГ и ДДТ) в течение 25 лет (при орошении в течение последнего десятилетия), остаточные количества пестицидов достигли глубины 85 см в типичном солончаке, 200 см — в аллювиальной очищенной почве и 275 см — в перерытом черноземе при концентрации 0,067 мг/кг ГХЦГ и соответственно 0,035 мг/кг ДДТ на глубине 220 см. На пестициды, попавшие в почву, оказывают влияние различные факторы как в период их активности, так и в дальнейшем, когда препарат уже становится остаточным. Пестициды в почве подвержены разложению, обусловленному небиотическими и биотическими факторами и процессами. Небиотическое разложение определяется физическими и химическими свойствами почв. Так, глины, окислы, гидроокислы и ионы металлов, а также органическое вещество почвы выполняют роль катализаторов во многих реакциях разложения пестицидов. Гидролиз пестицидов идет при участии грунтовой воды и обычно в кислой среде. В результате реакции со свободными радикалами гумусовых веществ составные частицы почвы и молекулярное строение пестицидов изменяются.

Биотическое разложение пестицидов происходит с помощью микроорганизмов. Существует очень мало действующих веществ, не разлагающихся биологическим путем. Продолжительность разложения пестицидов микроорганизмами может колебаться от нескольких суток до нескольких месяцев, а иногда и десятков лет, в зависимости от специфики действующего вещества, видов микроорганизмов, свойств почв. Действующие вещества пестицидов

разлагаются бактериями, грибами и высшими растениями. Обычно разложение пестицидов, особенно растворимых, реже адсорбированных почвенными коллоидами, происходит при участии микроорганизмов. Грибы участвуют главным образом в разложении слаборастворимых и слабоадсорбируемых почвенными коллоидами гербицидов.

Наиболее подвержены накоплению пестицидов черноземные почвы в южных земледельческих районах европейской части России, Западной Сибири, Забайкалья, Дальнего Востока.

Основная задача рекультивационных работ на почвах, загрязненных пестицидами, — активизация процессов разложения их остаточных форм. Для этого применяют биодеструкторы, ориентированные на разложение определенных соединений, проводят ультрафиолетовое облучение растений и почв, вносят органические и минеральные удобрения, выполняют комплекс агротехнических и агромелиоративных мероприятий.

В качестве специальных мероприятий применяют 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, выращивание кукурузы, сорго, рапса и люпина для очистки почв от атразина, линурона и др.

Очистка с помощью сеяных трав (люцерна, амарант, клевер, козлятник, тимофеевка и др.) основана на переходе пестицидов через корневую систему в вегетативную часть растений. После скашивания и фракционирования биомассы выделяется депротеинизированная жидкость — коричневый сок, содержащий техногенные образования. Дальнейшая переработка коричневого сока путем сгущения под вакуумом или использования молекулярной фильтрации (обратный осмос, ультра- и микрофильтрация) позволяет сконцентрировать или выделить техногенные образования для последующей их утилизации. Дальнейшая переработка позволяет получать продукцию кормового назначения: силос из растительного жома, силосованная солома с коричневым соком; белково-витаминные добавки: протеиновая паста из растительного сока, травяная мука из растительного жома.

К культуре, способной за счет своей биологической способности очищать почву, относят подсолнечник. Подсолнечник вытягивает из почвы не только полезные питательные вещества и быстро ее истощает, но таким же способом он усваивает хлор и мышьяк. Используя эту способность растения и внедрив в корневища подсолнечника некоторые виды микроорганизмов, удалось повысить его сопротивляемость ядохимикатам. Один посев подсолнечника снижает загрязненность почвы мышьяком в 2 раза. Причем даже

необязательно ждать, когда культура созреет, достаточно, чтобы растения достигли 60...70 см в высоту. Даже в условиях короткого лета можно за сезон собрать два урожая. Скошенную массу, содержащую токсичные вещества, сжигают в специальных печах, но, несмотря на сложность технологии, этот способ очистки почв высокоэффективен.

Положительный результат по очистке почвы получают при выращивании кукурузы. Одно растение кукурузы при густоте стояния 12 000 растений на 1 га может разложить 0,01 мг/сут атразина.

Один из биологических деструкторов пестицидов и стимуляторов почвенного плодородия — биопрепарат, содержащий консорциум молочнокислых бактерий, выращенный на молочном образце с последующим внесением свежей молочной сыворотки. Полученный препарат обогащают карбамидом, растительными полисахаридами, комплексонатами — промоторами деструкции пестицидов, стабилизаторами (консервантами) — аскорбатом, пропионатом кальция, бензоатом натрия. Использование биопрепарата позволяет создать в почве условия интенсивного разложения пестицидов и повысить ее плодородие. Другой биопрепарат для очистки почвы содержит адаптированную к ядохимикатам спонтанную микрофлору навоза сельскохозяйственных животных и птиц, полученную в процессе компостирования путем многостадийной ферментации при температуре $28 \pm 3^\circ\text{C}$ с добавлением ядохимикатов и постепенным увеличением их концентрации от 0,1 до 2 % на последней стадии ферментации. При этом в качестве материала для посева в каждой последующей стадии ферментации используют 10...30 % готового компоста от предыдущей стадии.

Для снижения активности нитралина или флуометурона в почву вносят активированный уголь.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите основные негативные последствия антропогенной деятельности для геосистем. 2. Охарактеризуйте основные признаки опустынивания. 3. Что такое эрозия и дефляция? Как количественно оценить эти процессы? 4. Какие растения называют галофитами? Какова их роль в восстановлении засоленных земель? 5. Что такое бонитет почвы? Как его рассчитать? 6. Как количественно охарактеризовать накопление и истощение запасов гумуса в почве? 7. Назовите основные виды пестицидов и охарактеризуйте их опасность для геосистем.

Глава 7

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ



7.1. ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГЕОСИСТЕМ И ПРИНЦИП РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Загрязнение будь то природное или антропогенное по своей сущности — 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 загрязнения, оптимизирует объем работ по описанию процессов загрязнения;

выявлять объективные связи между отдельными элементами ландшафта, которые определяют структуру моделей горизонтального переноса загрязняющих веществ;

обеспечивать пространственную полноту описания процессов загрязнения, поскольку любой ландшафт состоит из земель разного назначения;

знать и выделять объекты риска по последствиям 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; гибель биоты.

Загрязнение может вызываться природными процессами, но часто это результат деятельности человека. Антропогенное загрязнение почв можно разделить 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 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, испытаниях и эксплуатации 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, загрязнения продукции и другие, связанные с этим последствия;

почва, как активно действующее органоминеральное тело, способна значительно трансформировать загрязняющие вещества, связывать их в неподвижные формы и даже разрушать;

почва, трансформируя потоки влаги и содержащие 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 компо-

нентов геосистем и выработки способов их рекультивации (очистки, санации) полезно использовать теорию биогеохимических барьеров, объективно существующих в природе и создаваемых человеком. В связи с этим в качестве основных мероприятий по рекультивации загрязненных земель надо рассматривать такие, 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 20...36 °С, влажности от 60 до 70 % полной влагоемкости и в условиях достаточного минерального питания. Динамику микробной популяции описывают уравнением Моно:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\mu C}{C + K_s} M - \lambda M, \quad (7.1)$$

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 бактерий.

Для быстро разлагающихся загрязняющих веществ процесс самоочищения представляют экспоненциальной функцией

$$C_k \sim C_n e^{-S/t}.$$

Для веществ, разлагающихся в течение длительного времени, процесс самоочищения представляют 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.

Используя модели, описывающие изменения водного, теплового и питательного режимов, можно прогнозировать динамику жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в процессе самоочищения почвы. Модели по передвижению тяжелых металлов и нефтепродуктов позволяют изучать изменение содержания этих веществ в условиях самоочищения почвы и оценивать эффективность применения рекультивационных мероприятий.

Особенность подготовительного периода рекультивации загрязненных земель — проведение исследований по установлению источников и причин загрязнения, оценки уровня загрязнения, разработки мероприятий и проектов 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 ведутся поиски способов рекультивации земель, загрязненных другими токсическими веществами. Однако до сих пор остается не изучена своевременность проведения рекультивации, а точнее — значимость нормативного 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 способа 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», 1993; «Методика исчисления размеров ущерба, вызываемого захламлением, загрязнением и деградацией земель на территории Москвы», 1999). В методиках определено пять уровней загрязненности почв химическими веществами: 1 — допустимый; 2 — низкий; 3 — средний; 4 — высокий; 5 — очень высокий. Содержание загрязнителя при каждом уровне зависит от токсичности вещества, например для кадмия, имеющего допустимую концентрацию 2 мг/кг при рН суглинистой и глинистой почвы более 5,5, низкий — 2...3 мг/кг; средний — 3...5 мг/кг; высокий — 5...10 мг/кг; очень высокий — более 10 мг/кг почвы. Загрязнение цинком при тех же почвенных условиях характеризуется соответственно: допустимый — менее 220 мг/кг; низкий — 220...450 мг/кг;

средний — 450...900 мг/кг; высокий — 900...1800 мг/кг; очень высокий — более 1800 мг/кг.

Определение нормативного содержания химических веществ в почве — это сложный процесс, который зависит от вида использования земель (земли поселений, сельскохозяйственные земли и т. д.), свойств почвы и выращиваемых растений. Предельно допустимые концентрации — это такие концентрации, которые при длительном воздействии на почву не вызывают каких-либо патологических изменений в ходе биологических процессов, а также не приводят к накоплению токсичных элементов в сельскохозяйственных культурах и, следовательно, не могут нарушить биологический оптимум для животных и человека.

Известны следующие способы нормирования ПДК:

по поглотительной способности почвы (чем выше поглотительная способность почвы, тем выше значения ПДК этой почвы);

концентрации веществ, приводящей к патологии растений (например, при содержании нефтепродуктов в почве более 300 мг/кг в растениях начинается нарушение физиологических процессов);

времени присутствия токсичных веществ в почве (растворенные токсичные вещества, попадающие в почву, подавляют почвенную биоту и поступают в растения; в течение времени эти вещества распределяются на подвижные — находящиеся в почвенном растворе, и неподвижные — связанные почвой в нерастворимые соединения, т. е. при длительном присутствии токсичных веществ в почве значения ПДК могут снижаться);

значению рН в почве (в кислой почвенной среде ПДК многих веществ меньше, чем в нейтральной и щелочной среде — это связано с растворимостью веществ);

активности азотофиксирующих бактерий (подавление жизнедеятельности азотофиксирующих бактерий приводит к снижению накопления почвенного азота);

значению биомассы почвенной микрофлоры (токсикологические воздействия загрязняющих веществ приводят к гибели почвенной микрофлоры), аналогично проводят нормирование по выделению CO_2 из почвы;

снижению на 5...10 % урожайности тест-растений (в качестве тест-растений использовали ячмень, овес и картофель; в результате опытов получены значения ПДК для ртути — 25 мг/кг, мышьяка — 12...15, кадмия — 20 мг/кг).

Кроме значений ПДК разрабатывают экологические нормативы, которые отражают последствия негативных воздействий на экологические связи и биоту.

Все названные способы нормирования ПДК имеют право на существование. В качестве ПДК используют утвержденные гигиенические нормативы, приведенные в таблице 7.1.

Химическое загрязнение почв оценивают по суммарному химическому показателю

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{c_i} - (n-1), \quad (7.2)$$

где n — число определяемых элементов; K_{c_i} — коэффициент концентрации i -го загрязняющего вещества:

$$K_{c_i} = C_i / C_{нi},$$

здесь C_i — концентрация i -го загрязняющего вещества; нормативное содержание i -го вещества в данной зоне (табл.7.1, 7.2);

7.1. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве (извлечение из гигиенического норматива ГН 2.1.7.020—94)

Наименование вещества	Класс опасности	Общие 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...2**	—
Кобальт	2	—	5
Цинк	1	55...110...220**	23

*Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК).

**Первые значения приведенного ряда соответствуют песчаным и супесчаным почвам, вторые — глинистым и суглинистым при pH менее 5,5, последние значения — глинистым и суглинистым при pH более 5,5.

7.2. Фоновое содержание валовых форм тяжелых металлов и мышьяка, мг/кг

Почвы	Цинк	Кадмий	Свинец	Ртуть	Мель	Кобальт	Никель	Мышьяк
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	28	0,05	6	0,05	8	3	6	1,5
Дерново-подзолистые суглинистые и глинистые	45	0,12	15	0,1	15	10	30	2,2
Серые лесные	60	0,20	16	0,15	18	12	35	2,6
Черноземы	68	0,24	20	0,2	25	15	45	5,6
Каштановые	54	0,16	16	0,15	20	12	35	5,2

Санитарными нормами и правилами (СанПиН 2.1.7.1287—03) для всей территории России установлены пять уровней загрязнения почв и даны рекомендации по их использованию.

По степени опасности почвы населенных пунктов разделены на следующие категории: чистая, допустимая, умеренно опасная, опасная и чрезвычайно опасная (табл. 7.3).

7.3. Оценка степени химического загрязнения земель населенных пунктов

Категория загрязнения	(Z_c)	Содержание в почве, мг/кг, при классе опасности соединений					
		1		2		3	
		органических	неорганических	органических	неорганических	органических	неорганических
Чистая*	—	От фона до ПДК	От фона до ПДК	От фона до ПДК	От фона до ПДК	От фона до ПДК	От фона до ПДК
Допустимая	Менее 16	1...2 ПДК	От 2 фоновых значений до ПДК	1...2 ПДК	От 2 фоновых значений до ПДК	1...2 ПДК	От 2 фоновых значений до ПДК
Умеренно опасная	16...32					2...5 ПДК	От ПДК до K_{\max}
Опасная	32...128	2...5 ПДК	От ПДК до K_{\max}	2...5 ПДК	От ПДК до K_{\max}	Более 5 ПДК	Более K_{\max}
Чрезвычайно опасная	Более 128	Более 5 ПДК	Более K_{\max}	Более 5 ПДК	Более K_{\max}	То же	То же

*Категория загрязнения относится к объектам повышенного риска (детские площадки, зоны отдыха, прибрежные зоны и т. д.).

K_{\max} — максимальное значение допустимого содержания элемента по одному из четырех показателей вредности (табл. 7.4).

В зависимости от пути миграции загрязняющих веществ и их воздействия на различные компоненты окружающей среды установлены четыре показателя вредности (табл. 7.4), которые отвечают разным уровням ПДК: 1 — транслокационный показатель отражает переход химических веществ из почвы в растения и возможность накопления токсикантов в выращиваемых продуктах питания и кормах; 2 — миграционный водный показатель характеризует поступление химических веществ из почвы в грунтовые воды и водоисточники; 3 — миграционный воздушный показатель учитывает переход химических веществ из почвы в атмосферу; 4 — общесанитарный показатель отражает влияние химических веществ на самоочищающуюся способность почвы.

7.4. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве и допустимые уровни их содержания по показателям вредности

Наименование вещества	ПДК, мг/кг почвы с учетом фона (кларка)	Показатели вредности (ПВ)			
		транслокационный (ПВ _т)	миграционный		общесанитарный (ПВ _с)
			водный (ПВ _в)	воздушный (ПВ _в)	
<i>Подвижная форма</i>					
Медь	3	3,5	72	—	3
Никель	4	6,7	14	—	4
Цинк	23	23	200	—	37
Кобальт	5	25	>1000	—	5
<i>Водорастворимая форма</i>					
Фтор	10	10	10	—	25
<i>Валовое содержание</i>					
Сурьма	4,5	4,5	4,5	—	50
Марганец	1500	3500	1500	—	1500
Ванадий	150	170	350	—	150
Свинец	32	35	260	—	32
Мышьяк	2	2	15	—	10
Ртуть	2,1	2,1	33,3	2,5	5
Нитраты	130	180	130	—	225
Бенз(а)пирен (БП)	0,02	0,2	0,5	—	0,02
Бензол	0,3	3,0	10	0,3	50
Толуол	0,3	0,3	100	0,3	50

Почвы сельскохозяйственных земель по степени загрязнения химическими веществами разделяют на следующие категории:

допустимая — содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но не выше ПДК;

умеренно опасная — содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем показателе вредности (общесанитарном, миграционном водном и воздушном), но ниже допустимого уровня по транслокационному показателю;

опасная — содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности;

чрезвычайно опасная — содержание химических веществ превышает ПДК по всем показателям вредности.

Ограничения по использованию почв селитебных территорий начинаются с допустимой категории загрязнения, при которой запрещается создание и функционирование объектов повышенного риска (см. табл. 7.3.). На почвах сельскохозяйственных земель при допустимой категории загрязнения можно выращивать любые культуры, но обязательно проведение мероприятий по снижению возможности поступления загрязняющих веществ в растения. По-

этому рекультивацию загрязненных почв надо начинать при допустимой категории загрязнения, когда только появляется опасность токсикологического воздействия на почву и сопряженные с ней компоненты природы.

Для умеренно опасной и опасной категории загрязнения набор методов и способов рекультивации одинаков, отличие заключается лишь в объемах и продолжительности работ. На территории с чрезвычайно опасной категорией загрязнения, соответствующей угрозе разрушения функционированных геосистем, требуются способы сдерживания и ограничения деградации иерархической структуры геосистем, создаются условия восстановления утраченных природных объектов и их связей.

Оценку загрязнения почв для целей рекультивации проводят по трем уровням (табл. 7.5): 1-й — допустимый уровень загрязнения (допустимая категория загрязнения); 2-й — опасный уровень загрязнения (умеренно опасная и опасная категория загрязнения); 3-й — чрезвычайно опасный уровень загрязнения (чрезвычайно опасная категория загрязнения).

7.5. Показатели загрязнения для оценки экологического состояния почв в целях проведения рекультивации

Показатель	1-й уровень (загрязнение допустимое)	2-й уровень (загрязнение умеренно опасное)	3-й уровень (загрязнение чрезвычайно опасное)
<i>Почвы селитебных территорий</i>			
Мощность экспозиционной дозы на расстоянии 1 м от поверхности почвы, мкР/ч	До 20	200...400	Более 400
Радиоактивное 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
Суммарный показатель химического загрязнения — Z_c	Менее 16	16...128	Более 128
<i>Почвы сельскохозяйственных земель</i>			
Фоновое содержание химических веществ (Ф)	Более Ф	—	—
Предельно допустимая концентрация (ПДК)	Менее ПДК	Более ПДК	Более ПДК
Показатели вредности (ПВ):			
транслокационный (ПВ ₁)		Менее ПВ ₁ —Лим.	Более ПВ ₁
водный (ПВ ₂)		Лим. — более ПВ ₂	» ПВ ₂
воздушный (ПВ ₃)		Лим. — более ПВ ₃	» ПВ ₃
общесанитарный (ПВ ₄)		Лим. — более ПВ ₄	» ПВ ₄

Примечание. Лим. — значение лимитирующего показателя вредности химического вещества (см. табл. 7.4).

Эффективность рекультивационных мероприятий на сельскохозяйственных землях оценивают по содержанию химических веществ в производимой продукции растениеводства и животноводства. В растения химические вещества поступают из почвы вместе с питательным раствором, а в животных — при потреблении растительной массы. Возможные уровни накопления тяжелых металлов в растениях приведены в таблице 7.6.

7.6. Накопление тяжелых металлов в растениях (сырая масса) при разном загрязнении почвы, мг/кг

Свинец					Цинк			Кадмий		
почва	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	0,4	0,91
125	0,21	6,8	2,9	3,5	125	49	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	9,8	9,5	500	184,4	218,5	20	15,2	18,4

При совместном поступлении тяжелых металлов содержание их в растениях возрастает. Загрязнение сельскохозяйственной продукции оценивают, сравнивая исходное содержание конкретного вещества с предельно допустимой его концентрацией в пищевых продуктах (табл. 7.7).

7.7. Предельно допустимые концентрации химических элементов в продовольственном сырье и пищевых продуктах, мг/кг сырого веса

Пищевые продукты	Свинец	Кадмий	Мышьяк	Ртуть	Медь	Цинк
Зерновые	0,5	0,1	0,2	0,03	10	50
Зернобобовые	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 70
Мясо и птица свежие и мороженые	0,5	0,005	0,1	0,03	5	—
Чай	10	1	1	0,1	—100	—

Для 1-го уровня загрязнения (см. табл. 7.5) рекультивация имеет предупредительное и оздоровляющее назначение. На этом уровне регулируют подвижность и трансформацию загрязняющих веществ, поддерживают или повышают плодородие почвы, применяют мероприятия почвозащитного земледелия; проводят агро-мелиорацию и фиторекультивацию, культивируют устойчивые к загрязнению растения. Здесь же рассматривают возможные вари-

анты снижения, стабилизации или повышения уровня загрязнения от выявленных источников, а в рамках пилотных проектов или опытно-производственных испытаний отрабатывают способы рекультивации для конкретных условий.

Для почв 2-го уровня загрязнения создают инженерно-экологические системы, предназначенные для управления техноприродными процессами на больших территориях с использованием барьерных свойств геосистем, очищают почвы с помощью биодеструкторов и мероприятий 1-го уровня.

На почвах, относящихся к 3-му уровню, проводят санитарно-гигиеническую рекультивацию, создают инженерные системы природообустройства, 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.

7.2. БАРЬЕРНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОНЕНТОВ ГЕОСИСТЕМ

В природе наряду с круговоротами вещества идут процессы накопления или сосредоточения их в некоторых областях. В качестве примера можно привести месторождения различных полезных ископаемых: известняков, металлических руд. Иными словами, наряду с проводимостью природные тела обладают свойствами задерживать некоторые вещества, что можно назвать барьерностью. В самом общем смысле барьер — это локальное нарушение проводимости, что приводит к ускорению или замедлению потоков веществ и круговоротов в целом.

Барьеры могут быть природными и техногенными (созданными человеком), каждый из которых делят на следующие виды: механические (природное тело работает как фильтр); физические (испарительный, гидрофизический); физико-химические (когда 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 биотой большого ряда макро- и микроэлементов) — биологическая деструкция, избирательное накопление веществ в биоте.

Все эти процессы очень часто происходят одновременно, поэтому барьеры называют биогеохимическими. Теория биогеохимических 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 техногенные 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 тепловлагообеспеченность территорий путем мелиорации и рекультивации, повышая тем самым естественную самоочищаемость.

Естественный или искусственно созданный растительный покров — эффективный биогеохимический барьер. Во-первых, это перехват воздушных потоков, содержащих пыль, аэрозоли, 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, деревья 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 опасные 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 P₂O₅) — 60...120, калия (в форме K₂O) — 300...600 кг/га, в меньших количествах — металлы, в том числе и тяжелые. Это свойство растений используется при утилизации сточных вод путем орошения и при очистке почв от химических веществ.

Мощным биогеохимическим барьером является почва — активно функционирующее органоминеральное тело, в котором идут разнообразнейшие физико-химические и биологические процессы, в том числе присутствует широкая гамма микроорганизмов. Почвоведы одним из основных свойств почвы, отличающих ее от инертной горной породы, называют поглотительную способность, умеют количественно оценивать 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, наличия гумуса. Она используется, например, при кольматировании почвы, т. е. насыщении ее мелкими частицами при впитывании глинистых растворов для повышения вододерживающей 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 (слипении). 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 и уменьшается загрязнение подземных вод.

Физико-химическая, или обменная, поглотительная способ-

ность — 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 изменять свойства почв, уменьшать 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 органоминеральные вещества.

Поглотительную способность почвы можно регулировать доступными агротехническими, мелиоративными и рекультивационными 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); землеванием, включая внесение торфа, сапропелей и отходов промышленности. 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 значения потоков влаги в неполностью (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 области загрязнения, например нефтепродуктами, гидрофизический барьер можно выполнить в виде системы нагнетательных 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 барьером мощностью L_B :

$$t = \frac{\omega(1+\alpha)}{\alpha V} (8\lambda + L_B) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{L_B^2}{(8\lambda + L_B)^2}} \right) \quad (7.3)$$

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 лессовидные суглинки с параметром дисперсии $\lambda = 0,5$ м, коэффициент сорбции $\alpha = 0,15$, мощность гидрофизического барьера, т. е. аэрированный слой суглинков над капиллярной каймой $L_B = 7$ м при глубине грунтовых вод около 10 м. При промываемости 80 мм в 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 $L_B = 7$ м загрязнение начнется через 16 лет, т. е. в 3 раза раньше.

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

$$t = (\omega/V)L_B, \quad (7.4)$$

т. е. время продвижения загрязнителя равно длине пути, деленной на истинную скорость потока влаги в обводненных порах: $v_{\text{ист}} = V/\omega$.

Обустройство ландшафтов и улучшение качества подземных и речных вод могут быть достигнуты управлением биологическим и геологическим круговоротами воды и химических веществ, в которых барьеры играли существенное значение.

В процессе биологического круговорота многие биогены связываются, 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 улучшают с помощью линейных и площадных биогеохимических барьеров: природоохранных полос отчуждения вдоль линейных инженерных сооружений; каналов вдоль 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 барьерное значение.

Лесные насаждения существенно влияют на миграцию биогенов и других загрязнителей, 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 сельскохозяйственные угодья ширина лесных водопоглотительных полос, ограждающих водные объекты, должна быть не менее $\frac{1}{3}$... $\frac{1}{4}$ длины примыкающих склонов. Узкие менее 5...8 м полосы, особенно разреженные, вытоптаные скотом, не способны трансформировать химический состав вод, притекающих с пахотных частей склонов,

т. е. не способны эффективно бороться со склоновым типом загрязнения. Барьерное значение лесных насаждений усиливается в понижениях рельефа, в местах концентрации поверхностных и почвенных вод. Именно в этих местах закладывают самые широкие полосы, требующие особенно бережного ухода.

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

При рекультивации земель действия биогеохимических барьеров регулируют с помощью следующих приемов: глубокое рыхление плотных подпочвенных горизонтов, увеличение естественной дренированности, изменение скорости впитывания воды, противофильтрационные барьеры, разрушение гипсоносных или оглеенных горизонтов и т. п.

7.3. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

К тяжелым металлам относится 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 их содержании в почвах их называют микроэлементами, т. е. необходимыми, хотя и в очень малых количествах, элементами питания для биоты. Их недостаток сказывается негативно на развитии растений, животных и человека. При повышенном содержании этих элементов возникает угроза загрязнения, приводящего к токсичным условиям.

Обычно в группу тяжелых металлов включают свинец, цинк, кадмий, ртуть, молибден, марганец, никель, олово, кобальт, таллий, медь, ванадий, сурьму, а также мышьяк. 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 мг/кг, ртути — 0,02 мг/кг, в серых лесных почвах: 25; 0,5 и 0,08 мг/кг, в выщелоченных черноземах — 35; 0,6 и 0,20, в черноземах обыкновенных соответственно — 13; 1,4; 0,06 мг/кг. Содер-

жание цинка 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:

Элементы	Цинк	Хром	Никель	Медь	Свинец	Кобальт	Ртуть
Среднее	86	60	26	34	16	9	0,13
Пределы	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 опасно.

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 от источника загрязнения, заметное — 3...8 км, меньшее — 10...50 км. Загрязнение почв тяжелыми металлами в непосредственной близости от предприятий может превышать фон в десятки и сотни раз.

Другие источники загрязнения — рудники, обогатительные 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, а также например, при внесении минеральных удобрений.

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, к 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 посевов, обеспечивающей получение качественной продукции. В зонах со вторым уровнем загрязнения, содержащих многоэлементный набор загрязнителей, целесообразно переходить с производства овощей на введение зернокармливых севооборотов и развитие животноводства с особым режимом содержания животных, например, со стойловым и кормлением разбавленными кормами или с выгоном, чередуя пастбищу на загрязненных и чистых лугах.

Переход на другие сельскохозяйственные культуры зависит от их отзывчивости на содержание металлов в почве, причем эта отзывчивость у растений проявляется как в зависимости от вида, сорта, так и 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 тяжелых металлов накапливается больше 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, тимopheевка, ежа сборная, овсяница, мятлик луговой, райграс пастбищный; для однолетних: зерно люпина, редька масленичная, 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 вдоль автомобильных дорог листва деревьев за вегетационный период способна накапливать на своей поверхности большое количество свинца, поэтому в населенных

пунктах листовой опад целесообразно собирать и утилизировать, но не сжигать.

Для очистки почв от цинка, свинца и кадмия необходимо выращивать большой горец, от свинца и хрома — горчицу, от никеля — гречиху. При загрязнении радиоактивными изотопами можно использовать вику, горох, люцерну, махорку; применяют рапе, 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, которое 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 биогеохимических барьеров, а рекультивация загрязненных почв сводится к созданию дополнительных барьеров, управлению существующими барьерами или к ослаблению некоторых из них.

Тяжелые по гранулометрическому составу и высокоплодородные почвы содержат меньше подвижных форм тяжелых металлов, чем почвы легкие и малопродуктивные. Многие из металлов, относящиеся 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 среде. К подвижным в кислой среде относятся химические соединения, содержащие катионы Zn, Cu, Pb, Cd, Sr, Mn, Ni, Co и др.; в нейтральной и щелочной среде — Mo, Cr, As, V, Se.

В районах с высокой автотранспортной нагрузкой и с промышленными предприятиями, связанными со 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, исключением являются гидроксид Fe (pH 2,5) и Al (pH 4,1).

На подвижность влияют органические вещества с малой молекулярной массой, фульвокислоты и гуминовые кислоты. Так, ко-

личество подвижной меди уменьшается из-за большей 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 слабо разложившихся 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). Результаты применения таких способов показаны на рисунках 7.1 и 7.2.

При внесении в среднесуглинистую дерново-подзолистую почву мелиоранта (известь + навоз + минеральные удобрения) содержание водорастворимого свинца в почве снижается 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 продукции снижается в 1,5...10 раз. Применение органических удобрений снижает поступление радионуклидов из почвы в растения на 15...30%, использование повышенных доз калийных удобрений (120...180 кг/га) снижает поступление стронция-90 на 35...57%, радионуклиды в почве фиксирует фосфор.

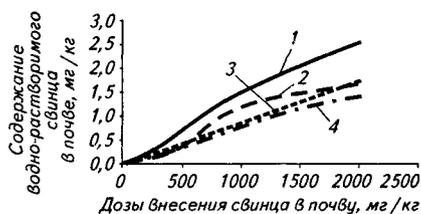


Рис. 7.1. Изменение содержания водно-растворимой формы свинца в среднесуглинистой дерново-подзолистой почве:

1 — контроль (без мелиорантов); 2 — известь + минеральные удобрения; 3 — цеолит (клинтоптитолит) + минеральные удобрения; 4 — известь + навоз + минеральные удобрения

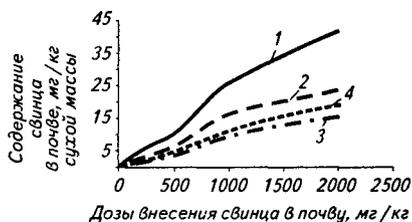


Рис. 7.2. Изменение содержания свинца в ячмене при внесении мелиорантов в среднесуглинистую дерново-подзолистую почву:

1 — контроль (без мелиорантов); 2 — известь + минеральные удобрения; 3 — цеолит (клинтоптитолит) + минеральные удобрения; 4 — известь + навоз + минеральные удобрения

При рекультивации земель, загрязненных тяжелыми металлами, значительное внимание уделяют поддержанию и образованию в почве труднорастворимых соединений. Для этого в дополнение к приведенным способам используют искусственные и природные адсорбенты. К природным относятся торф, мох, черноземные почвы, сапрпель, 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, цеолитополисилоксаны, 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.

Растворимые или труднорастворимые соединения тяжелых металлов при рекультивации земель создаются 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 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.

Загрязненный слой разбавляют землеванием чистой почвы с последующим смешиванием, а также с помощью глубокой вспаш-

ки, когда верхний загрязненный слой перемешивается с чистым нижним слоем. Глубокая вспашка на почвах с мощным гумусовым горизонтом снижает поступление радионуклидов в растение в 5...10 раз.

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. Оно 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 (оксиданты 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 дождевые черви изымаются из почвы.

Загрязненные земли 2-го и 3-го уровней загрязнения, охватывающие большие территории, куда входят селитебные и рекреационные зоны поселений, сельскохозяйственные и лесные угодья, водные объекты, очищают, создавая *инженерно-экологические системы*, которые обеспечивают:

существенное сокращение выбросов предприятиями (технологический барьер);

локализацию очагов загрязнения, недопускающую распространение загрязняющих веществ по территории и вглубь: борьбу 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 (агрехимический барьер);

создание рекультивационного слоя, замену 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 по-

чве 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, разработанные А. И. Головановым.

7.4. МОДЕЛЬ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

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 трудно. 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:

$$S_g^p = \omega C / \alpha, \quad (7.5)$$

где S_g^p — равновесное, соответствующее C количество металла, сорбированное почвой, г · экв/м³_п; ω — объемная влажность почвы, м³_п/м³; C — концентрация металла в почвенном растворе, г · экв/м³; α — коэффициент изотермы сорбции.

Для описания поведения тяжелых металлов в почве нужно достоверно знать коэффициент изотермы сорбции α , так как по сути дела этот коэффициент объединяет все описанные выше процессы, формирующие соотношение между подвижной и связанной фракциями иона конкретного металла. Содержание этого иона в единице объема почвы в равновесном состоянии $Z = \omega C + S_g^p$ 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 эффективный коэффициент изотермы сорбции

$$\alpha = R / (1 - R). \quad (7.6)$$

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 наблюдается рост их содержания в растениях, который начинается после достижения некоторого порогового уровня загрязнения.

Процессы потребления тяжелых металлов растениями для построения строгих моделей изучены еще недостаточно. Значительное влияние на это оказывает состав и свойства почвенных растворов, соотношение между подвижными и связанными фракциями металлов, количество и состав поглощенных почвой катионов, оно зависит 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/кг продукции) $C_{Cd} = 0,16Z_{Cd}^{0,57}$, Z_{Cd} — содержание кадмия в почве, мг/кг сухого вещества. Для свинца аналогичная зависимость имеет вид $C_{Pb} = 0,55Z_{Pb}^{0,5}$.

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

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

$$K_z = U_z / U_{\text{opt}} = ae^{-b(Z - Z_{\text{доп}})^n}, \quad (7.7)$$

где U_z — урожайность при содержании в корнеобитаемом слое конкретного металла Z ; U_{opt} — урожайность при допустимом содержании металла $Z_{\text{доп}}$, 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 рН.

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 подстиляющем ее аэрированном слое горных пород и в подземных водах в

виде дифференциального уравнения

$$\frac{\partial(\omega C)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\omega D_k \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\omega D_k \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \frac{\partial(q_x C)}{\partial x} - \frac{\partial(q_y C)}{\partial y} - \frac{\partial S_c}{\partial t} - Q, \quad (7.8)$$

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

$$D_k = D_m + \lambda |q|, \quad (7.9)$$

здесь λ — параметр дисперсии, $\text{м}^4/\text{м}^3$, для глинистых и тяжелосуглинистых почв и грунтов он примерно равен $0,5 \dots 1$, для суглинистых — $0,2 \dots 0,5$, для легкосуглинистых, супесчаных и песчаных — $0,005 \dots 0,2$; q — объемный поток почвенной влаги или подземных вод через единицу площади, $\text{м}^3/\text{м}^2/\text{сут}$; q_x , q_y — вертикальный и горизонтальный поток влаги, $\text{м}^3/\text{м}^2/\text{сут}/\text{м}^3$ (м^3 — кубический метр почвенной влаги или подземных вод); dS_c/dt — интенсивность сорбции или десорбции ионов металла; Q — интенсивность отбора ионов металла корнями растений из единичного объема почвы.

Значения влажности почвы и потоков влаги, изменяющиеся по глубине и во времени, принимают в результате параллельного расчета передвижения влаги.

Двумерное передвижение почвенной влаги и подземных вод описывается уравнением

$$C_\omega \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_\omega \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_\omega \frac{\partial H}{\partial y} \right) - e_k(x, t), \quad (7.10)$$

где C_ω — коэффициент влагоемкости, $\text{м}^3/\text{м}^4$ (при полном влагонасыщении $C_\omega = 0$); t — время, сут; x и y — вертикальная и горизонтальная координаты, м; e_k — отбор влаги растениями, $\text{м}^3/\text{м}^3/\text{сут}$.

$$C_\omega = \partial \omega / \partial H = \partial \omega / \partial \psi, \quad (7.11)$$

H — напор, при отсчете напоров от поверхности земли и оси x , направленной вниз

$$H = -x + \psi, \quad (7.12)$$

где ψ — напор, эквивалентный каркасно-капиллярному давлению в зоне неполного насыщения ($\psi \leq 0$) и эквивалентный гидростатическому давлению в зоне полного насыщения, м; k_ω — коэффициент влагопроводности, зависящий от влажности почвы, $\text{м}^3/\text{м}^2/\text{сут}$, рассчитывается по формуле А. И. Голованова:

$$k_{\omega} = k_{\Phi} \left(\frac{\omega - \omega_{\max}}{p - \omega_{\max}} \right)^5, \quad (7.13)$$

где k_{Φ} — коэффициент фильтрации, м/сут, при полном насыщении $k_{\omega} = k_{\Phi}$; ω — объемная влажность почвы, м³/м³; ω_{\max} — максимальная гигроскопичность почвы, м³/м³; p — полная влагоемкость или пористость почвы, м³/м³.

Связь между влажностью и каркасно-капиллярным напором можно описать математической зависимостью А. И. Голованова:

$$\frac{\omega - \omega_{\max}}{p - \omega_{\max}} = \exp \left[- \left(\frac{|\Psi|}{\mu h_k} \right)^n \right], \quad (7.14)$$

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

Одномерное вертикальное передвижение влаги в почве и под уровнем грунтовых вод описывают с помощью следующего дифференциального уравнения:

$$C_{\omega} \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_{\omega} \frac{\partial H}{\partial x} \right) - e_k. \quad (7.15)$$

Приведенные математические модели используют для долгосрочных 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 7.5.

7.5. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ВАРИАНТОВ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

В городе Новокуйбышевске Самарской области на левом берегу Волги сосредоточены предприятия, сильно загрязняющие окружающую среду: крупный нефтеперерабатывающий завод, нефтехимический комбинат, завод синтетического спирта, две большие ТЭЦ и ряд других. Годовой объем выбросов на 1 км² площади города составляет 2300 т, в них содержится значительное количество тяжелых металлов: свинца, хрома, никеля, меди, цинка, кадмия. Например, кадмия в снежной воде содержится даже в 1,5 раза больше, чем свинца.

Путем математического моделирования были исследованы различные варианты очистки, начиная с сокращения выбросов в пять раз, т. е. доведения их до допустимых, но этого оказалось недостаточно, так как запасы тяжелых металлов в почве из-за этого уменьшаются очень медленно. Поэтому было рассмотрено разовое внесение сорбентов дозой 2 кг/м^2 , 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 их нельзя использовать для водоснабжения. На данной территории, загрязненной к тому же и нефтепродуктами, необходимо строительство инженерно-экологической системы с локализацией очага загрязнения, откачки и очистки загрязненных грунтовых вод. Результаты моделирования общего содержания кадмия и его подвижной (несорбированной) части для 8 вариантов, включая и существующие условия (моделировали 30-летний период загрязнения и последующий 10-летний период очистки; результаты прогнозирования за последние 20 лет показаны на рисунке 7.3).

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 $0,08 \text{ мг/кг}$, общего содержания $0,5 \text{ мг/кг}$. Сравнительная оценка вариантов позволяет 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 растёт (вариант 1);

одно только уменьшение выбросов в 5 раз способствует медленному самоочищению почвы, темпы которого зависят от подвижности металла и интенсивности промываемости почвы, но за 10 лет требуемой очистки не достигнуто, содержание кадмия уменьшилось за 10 лет с $2,3$ до $1,08 \text{ мг/кг}$, или на 46 % (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 немного не удастся, в варианте 2 (без уменьшения выбросов) после внесения сорбента наблюдается

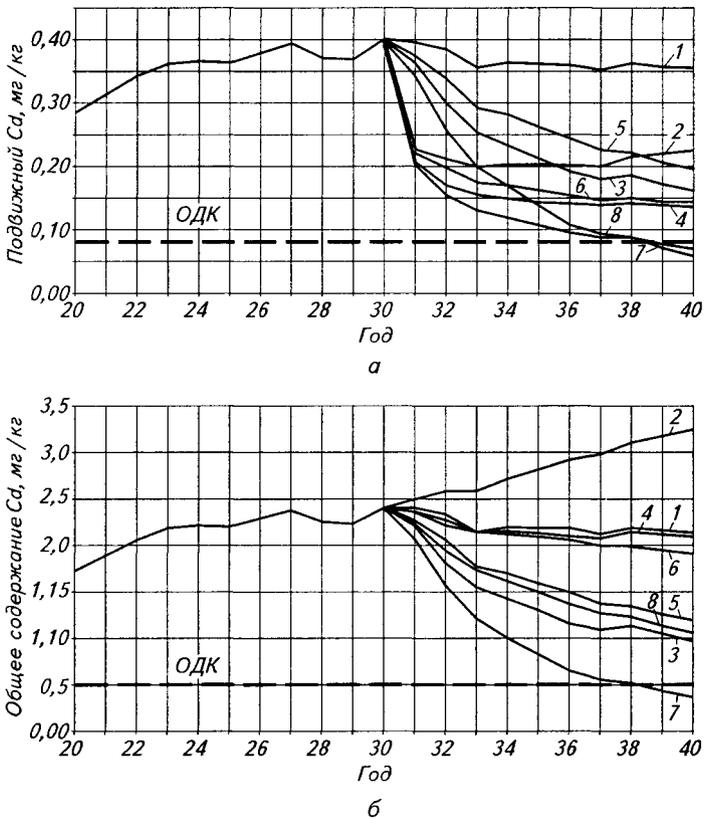


Рис. 7.3. Динамика подвижного кадмия (а) и общего содержания кадмия (б) в 50-сантиметровом слое при разных вариантах очистки:

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

заметное увеличение общего содержания Cd из-за уменьшения его миграционной способности; этот рост потенциально опасен, так как при изменении условий (кислотности, условий увлажнения) может 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 см слоя и такой вариант не может быть рекомендован как единственное мероприятие; при уменьшении выбросов (вариант 7) очищение по-

чвы идет быстрее, но все равно затягивается на 7...8 лет, что неприемлемо;

наиболее эффективно совместное внесение сорбента и организация регулярного орошения на фоне уменьшения выбросов (вариант 8), если же выбросы не уменьшать, они не дают должного эффекта (вариант 4).

Регулирование кислотности почвы. Один из факторов, изменяющий соотношение труднорастворимых и растворимых форм тяжелых металлов в почве, — ее кислотность, которая регулируется соотношением содержания ионов водорода с ионами кальция.

Изменение кислотности почвы благоприятно воздействует на микробиологические процессы, создавая условия для активной жизнедеятельности микроорганизмов. Известно, что при нейтральной среде складывается благоприятный питательный режим для растений, повышается плодородие почвы. Многие тяжелые металлы в кислой среде образуют подвижные формы и начинают мигрировать, другие становятся труднорастворимыми, а с повышением pH наблюдается обратный процесс. Это объясняется еще и тем, что тяжелые металлы, обладая высокой способностью к образованию различных химических, физико-химических и химико-биологических соединений, участвуют в окислительно-восстановительных процессах. Катионы металлов активно поглощаются коллоидной и гумусовой фракциями почв, сорбционная способность которых связана с кислотностью, т. е. ее регулирование может усиливать или ослаблять геохимические барьеры для конкретных металлов.

В качестве примера по оценке влияния кислотности почвы на изменение содержания в ней химических веществ были выполнены прогнозные расчеты для условий Республики Дагестан. Почвы этой республики по кислотности характеризуются как кислые, нейтральные и слабощелочные. Для изменения кислотности в почву вносили тонкие фракции отходов камнепиления известняков-ракушечников, которые содержат CaCO_3 73...94 %, MgCO_3 — 0,4...12 %. Внесение в почву тонких продуктов камнепиления улучшит ее плодородие и обеспечит качество продукции растениеводства за счет снижения доступных для растений подвижных форм тяжелых металлов.

Поведение тяжелых металлов в почве изучали с помощью вышеописанной математической модели для кадмия и свинца, характеризующихся как вещества первого класса опасности.

Для проведения расчетов необходимо знать коэффициент подвижности кадмия и свинца в почве. А. И. Голованов рекомендует принимать коэффициент подвижности кадмия α_{Cd} для нейтральных почв черноземного ряда 0,2, для свинца — 0,1. При таких значениях R отношение подвижных фракций кадмия к общему со-

держанию равно 1 : 6, свинца — 1 : 11. Эти соотношения позволяют привести зависимости (7.5) и (7.6) к содержанию подвижных форм, а зная влажность почвы, можно рассчитать концентрацию иона металла в почвенном растворе. Таким образом, оперируя концентрациями, можно прогнозировать вместе с переносом влаги и изменение содержания металла в почве.

Как уже отмечалось, важным фактором, оказывающим влияние на соотношение подвижных и неподвижных форм металлов в почве, являются кислотно-щелочные условия почвы. Для оценки влияния кислотности на подвижность указанных металлов были построены зависимости изменения коэффициента подвижности металлов от кислотности почвы (рис. 7.4). Согласно графиков наибольшее поглощение почвой (образование труднорастворимых соединений) кадмия наблюдается при рН 6,5...10, а свинца — рН 6...9,5. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что в указанных диапазонах кислотности кадмий и свинец минимально подвижны, причем коэффициент подвижности

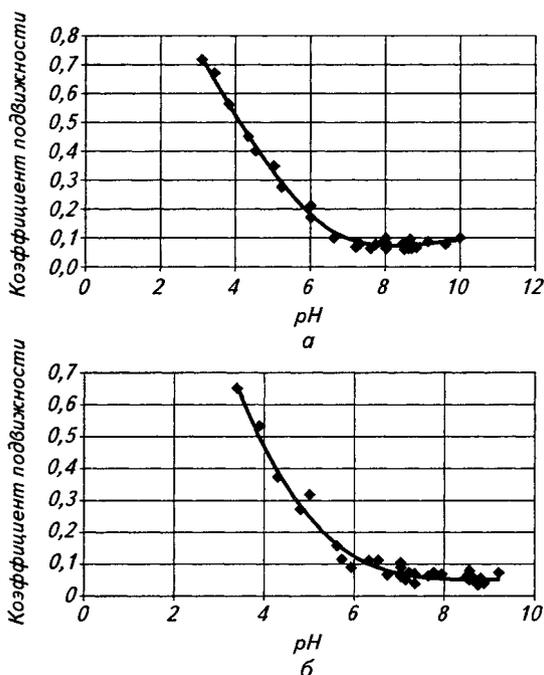


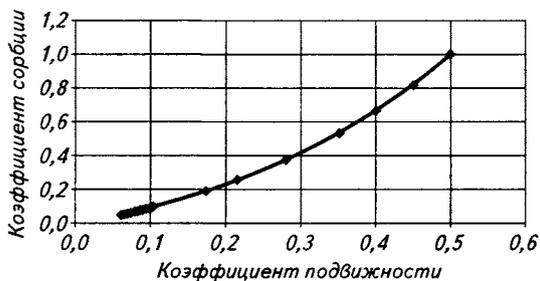
Рис. 7.4. Изменение коэффициента подвижности кадмия (а) и свинца (б) в зависимости от кислотности почвы

кадмия составляет около 0,08, а свинца — около 0,05. Следовательно, по подвижности металлы можно расположить следующим порядком: $Cd > Pb$.

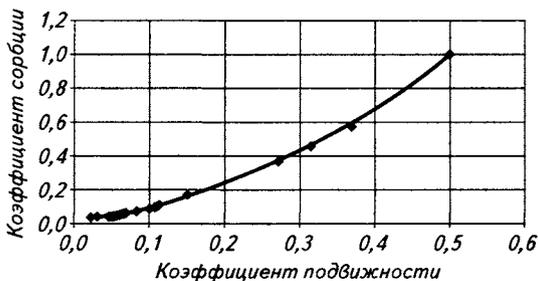
Эти результаты согласуются с тенденцией поглощения тяжелых металлов в почве как функцией аниона и pH.

Для расчета коэффициента сорбции α были использованы данные связи коэффициента подвижности с кислотнo-щелочными условиями почвы (см. рис. 7.4). В результате выполненных расчетов на рисунке 7.5 показаны зависимости коэффициента сорбции от коэффициента подвижности тяжелых металлов в почве.

Зависимости важны при прогнозировании изменения содержания тяжелых металлов в почве на сельскохозяйственных и приусадебных землях. Зная исходные кислотнo-щелочные условия и валовое содержание тяжелых металлов в почве (определяют наибольшую часть), можно, изменяя кислотность почвы, получить передвижение подвижных форм в системе почва — растения и оценить качество получаемой продукции.



а



б

Рис. 7.5. Зависимость коэффициента сорбции от коэффициента подвижности кадмия (а) и свинца (б)

Были рассмотрены варианты расчета эффективности применения отходов камнепиления в зависимости от степени кислотности рН и коэффициента подвижности R металлов в почве в соответствии с рисунком 7.5.

Вариант	pH_{Cd}	pH_{Pb}	R
1-й	8	7,5	0,05
2-й	6	6,5	0,1
3-й	5	5	0,3
4-й	4	4	0,5
5-й	2	2	0,8

Варианты 4 и 5 приняты для расчетов условно, поскольку почвы с такой кислотностью в данном регионе не встречаются, но это не отрицает возможности применения подобной зависимости в других условиях.

Результаты прогнозирования по кадмию показаны на рисунке 7.6.

Как показывает анализ полученных результатов, при внесении тонких известковых фракций отходов камнепиления, обеспечивающих подвижность металлов $R = 0,05$ (рис. 7.6), достижение минимального содержания кадмия в почве происходит в течение двух лет (вариант 1). Снижение подвижного содержания кадмия в любом варианте приводит к возрастанию общего содержания кадмия за счет создания в почве труднорастворимых соединений. По мере уменьшения нормы внесения известковых отходов или при повышении кислотности почвы подвижность кадмия увеличивается (рис. 7.6).

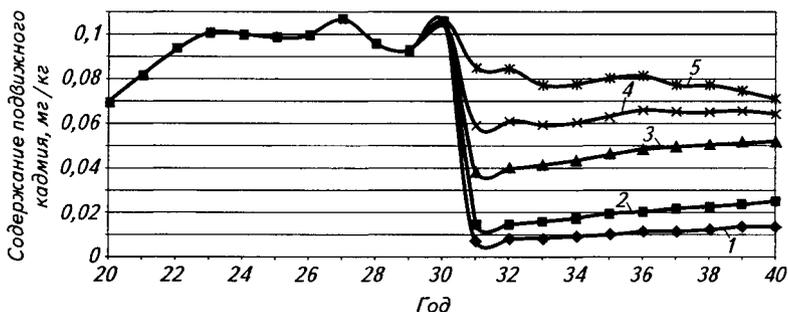


Рис. 7.6. Динамика общего содержания кадмия в слое 50 см по годам при разных уровнях рН (1...5 — варианты расчетов)

7.6. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ

Большой опыт рекультивации сельскохозяйственных земель, загрязненных радионуклидами, имеется в Белоруссии и России на территориях, примыкающих к Чернобыльской АЭС. Загрязненные земли в зависимости от вида и уровня загрязнения или показателей вредного воздействия на здоровье человека и окружающую среду используют следующим образом:

переводят в земли запаса для консервации в случае невозможности обеспечения безопасности здоровья человека и необходимого качества производимой на этих землях продукции, а также при отсутствии эффективных технологий восстановления загрязненных земель;

используют по целевому назначению с установлением особых условий их использования и режима хозяйственной или иной деятельности с целью обеспечения безопасности здоровья человека и необходимого качества производимой на этих землях продукции;

используют по целевому назначению без установления особых условий их использования и режима хозяйственной или иной деятельности, если уровень загрязнения и показатели неблагоприятного воздействия на здоровье человека и окружающую среду, обусловленного загрязнением, не превышают установленные нормативы.

Опасность радиоактивного загрязнения продовольствия и кормов отдельными радионуклидами может быть определена следующими показателями:

излучением радионуклидов в реакциях деления тяжелых ядер; продолжительностью существования данного радионуклида (периодом полураспада);

биологической подвижностью и усвояемостью организмом; способностью аккумулироваться в органах и тканях человека, животных и растений;

длительностью пребывания в организме (периодом полувыведения из организма — это время, в течение которого содержание радионуклидов в организме снижается в 2 раза в результате метаболических процессов и функционирования выделительных систем).

По совокупности этих признаков к наиболее опасным продуктам деления относится йод-131, стронций-90 и цезий-137. В сравнении с другими радионуклидами они обладают наибольшей биологической подвижностью, которая обусловлена тем, что йод является необходимым для организма микроэлементом, а стронций и цезий — химические аналоги таких важных элементов минерального питания, как кальций и калий (табл. 7.8).

7.8. Характеристика радионуклидов по периоду полураспада и биологической подвижности

Продукт деления	Период полураспада	Выход в реакции деления, %	Биологическая подвижность
Стронций-89	50,5 сут	4,8	Высокая
Стронций-90	28 лет	5,8	»
Иттрий-91	58 сут	5,4	Низкая
Цирконий-95	65 сут	6,2	»
Рутений-103	7 сут	3	»
Рутений-106	1,01 года	0,38	»
Сурьма-125	2 года	0,011	»
Йод-131	8,05 сут	3,1	Высокая
Теллур-132	77 ч	4,7	Низкая
Йод-133	20,8 ч	6,9	Высокая
Цезий-137	30 лет	6,2	»
Барий-140	12,8 сут	6,4	Низкая
Церий-141	33 сут	6	»
Церий-144	288 сут	6	»

Все эти три радионуклида характеризуются высоким выходом в реакциях деления, а радиоактивные изотопы йода и стронция — высокой способностью к аккумуляции: йод — в щитовидной железе, стронций — в костной ткани.

После прекращения радиоактивных выпадений загрязнение урожая сельскохозяйственных культур происходит главным образом в результате поступления радионуклидов в растения из загрязненной почвы. Источником радиоактивного загрязнения почвы, так же, как и растительности, являются радиоактивные выпадения из атмосферы. В зависимости от продолжительности выпадения загрязнение почвы сельскохозяйственных угодий может быть одноразовым или длительным (как, например, при глобальных выпадениях, продолжающихся в течение нескольких лет). В первом случае почвенный путь поступления радионуклидов в растения будет главным источником радиоактивного загрязнения урожая уже в следующем вегетационном сезоне после выпадения радиоактивных осадков. Во втором случае первые 2...4 года будет преобладать аэральный путь радиоактивного загрязнения растений, а в последующие годы — почвенный.

Радиоактивные вещества, осевшие на поверхность почвы, вступают во взаимодействие с почвенными частицами, и почва, как основной компонент агроценоза, оказывает определяющее влияние на миграцию радионуклидов по биологическим цепочкам. Известно, что почва — хороший поглотитель для радионуклидов.

Поглощение радионуклидов происходит сразу же при контакте их с почвой. Разные почвы обладают неодинаковой способностью к поглощению радионуклидов, но в целом поглощается не менее 50 %, а во многих случаях значительно больше. Так, при внесении

в дерново-подзолистую супесчаную почву растворимых форм радионуклидов было поглощено 66 % стронция-90; 98 % — цезия-137; 98 % — церия-144; 94 % — кобальта-60; 49 % — рутения-106. Еще сильнее радионуклиды поглощаются черноземной почвой: стронций-90 — 96 %; цезий-137 — 100; церий-144 — 100; кобальт-60 — 91; рутений-106 — 61 %.

Поглощенные радионуклиды довольно прочно удерживаются на почвенных частицах, в результате чего миграция их из поверхностного загрязненного слоя почвы в более глубокие горизонты крайне ограничена. Даже в условиях промывания поверхностно загрязненных почв дождями и талыми водами в течение нескольких лет не происходит заметного перемещения радиоактивного загрязнения по профилю почвы. Основная масса радионуклидов на целинных и необрабатываемых угодьях продолжает оставаться в верхнем слое почвы толщиной 2...5 см. Невелика, как правило, и горизонтальная миграция по поверхности почвы, обусловленная ветровой эрозией или переносом загрязненных почвенных частиц поверхностным потоком воды.

При вспашке поверхностно загрязненных угодий происходит перемешивание радионуклидов с почвой всего пахотного слоя.

Поглощение и фиксация радионуклидов почвой затрудняет их усвоение корневой системой. Поэтому поступление радионуклидов из почвы в растения в десятки раз меньше, чем из водного раствора, т. е. почва представляет собой мощный барьер на пути миграции радионуклидов по пищевым цепочкам.

Биологическая избирательная способность растений к усвоению различных химических веществ и отличия физико-химических свойств радионуклидов обуславливают неодинаковые размеры поступления отдельных радионуклидов из почвы в растения (табл. 7.9).

7.9. Концентрация радионуклидов в урожае овса при плотности радиоактивного загрязнения почвы (почва — выщелоченный чернозем)

Радионуклиды	Концентрация радионуклидов в урожае овса, л · 10 ⁻⁹ Ки/кг		Отношение концентрации радионуклида в соломе к концентрации в зерне
	солома	зерно	
Цинк-65	8,6	2,2	3,9
Стронций-90	4	0,3	13,3
Кадмий-115	3,6	1	3,6
Марганец-54	1,65	0,3	5,7
Цезий-137	0,43	0,1	4,3
Прометий-147	0,3	0,07	4,3
Рутений-106	0,1	0,02	5
Кобальт-60	0,1	0,17	0,59
Церий-144	0,01	0,07	0,14

Из числа приведенных в таблице 7.9 радионуклидов цинк-65 поступает из почвы в растения в максимальных количествах как в вегетативные органы, так и в зерно. По концентрации в соломе цинк-65 превосходит рутений-106 в 860 раз. Можно отметить, что в большинстве случаев накопление радионуклидов в вегетативных органах значительно выше, чем в зерне: для кобальта-60 и рутения-106 характерно обратное — преимущественное накопление их в зерне. Отсюда следует, что радионуклидный состав радиоактивного загрязнения почв далеко не безразличен для радиоактивного загрязнения урожая. Существенное значение имеет также длительность жизни радионуклидов, загрязняющих почву. Долгоживущие радионуклиды, такие, как стронций-90 и цезий-137, создают длительно действующие источники их поступления в растения и, напротив, короткоживущие, как, например, йод-131 с периодом полураспада около 8 сут, представляют значительно меньшую опасность для загрязнения урожая корневым путем, поскольку за период от начала вегетации растений до уборки урожая он практически исчезает в результате радиоактивного распада.

Поступление радионуклидов из почвы в растения и накопление их в урожае сельскохозяйственных культур в значительной мере зависит от биологических особенностей различных видов растений, что может быть обусловлено спецификой их минерального питания, распределением корневой системы, продолжительностью вегетационного периода. Приведенные в таблице 7.10 данные позволяют сопоставить степень радиоактивного загрязнения урожая различных сельскохозяйственных культур стронцием-90 и цезием-137 при поступлении их из почвы в растения. Достаточно отчетливо видно, что даже в пределах одной группы культур (зерновых злаков) различия в загрязнении зерна стронцием-90 могут достигать 50 раз (овес и кукуруза). По загрязнению цезием-137 эти различия значительно меньше. Самым высоким накоплением радионуклидов отличаются бобовые растения, в том числе и горох. В зерне кукурузы, проса, риса накапливаются минимальные количества стронция-90, однако по содержанию цезия-137 рис приближается к бобовым культурам. Надземные вегетативные органы загрязняются стронцием-90 примерно в 10 раз больше, а цезием-137 в 3...5 раз, чем зерно, плоды, клубни, корнеплоды. Очень высоким радиоактивным загрязнением отличаются кормовые травы.

Различия между сельскохозяйственными культурами по накоплению радиоактивных веществ в урожае могут быть использованы в условиях радиоактивного загрязнения территорий для снижения радиоактивного загрязнения получаемой продукции. Для этого необходимо подобрать для возделывания такие культуры и сорта, в урожай которых поступает минимальное количество радионуклидов.

7.10. Относительное накопление стронция-90 и цезия-137 в урожае сельскохозяйственных культур (относительно зерна озимой пшеницы, радиоактивное загрязнение которого принято равным единице)

Культура	Стронций-80		Цезий-137	
	в зерне, плодах, клубнях, корнеплодах, кочанах	в листьях, стеблях, ботве, соломе	в зерне, плодах, клубнях, корнеплодах, кочанах	в листьях, стеблях, ботве, соломе
Озимая пшеница, рожь	1	12	1	4
Яровая пшеница	3	28	2,6	15
Яровой ячмень	4,5	40	2	8
Овес	5,5	65	2	6
Кукуруза на зерно	0,1	—	1,9	—
Гречиха	5,9	160	—	—
Просо	0,5	40	—	—
Рис	0,7	35	9,1	30
Горох	6,5	70	11	28
Картофель	1,5	86	1,2	0,8
Капуста	2,2	—	2,4	—
Свекла	3,5	16	2,4	—
Морковь	2	13	2,7	—
Огурцы	1,2	—	2,7	—
Кукуруза на силос	—	6,5	—	5,9
Клевер, люцерна (сено)	—	100	—	45
Тимофеевка	—	30	—	30

Миграция радионуклидов по почвенному профилю, их биологическая доступность растениям в значительной мере определяются процессами взаимодействия их с почвой. К свойствам почвы, влияющим на поведение радионуклидов в почве и в системе почва—растение, относятся: кислотность почвы, емкости поглощения, количество и состав обменных катионов, содержание гумуса, минералогический состав почвы.

С увеличением кислотности почвы уменьшается прочность связи поглощенных радионуклидов с почвенными частицами, и чем выше кислотность почвы, тем большее количество радионуклидов поступает в растения. Поэтому известкование кислых почв, нейтрализующее их кислотность, может в несколько раз снизить поступление радионуклидов в растения.

Из почв с большой емкостью поглощения, с высокой степенью насыщенности обменными катионами, с высоким содержанием гумуса радионуклиды поступают в растения в значительно меньших количествах, чем из почв с низкими значениями перечисленных показателей. Для радионуклидов стронция-90 и цезия-137 существенное значение имеет содержание в почве их химических аналогов кальция и калия, которые являются элементами питания растений. Поступление стронция-90 в растения обратно пропорционально содержанию обменного кальция в почве. Несколько менее четко эта закономерность проявляется для пары

цезий-137 — калий. Внесение в загрязненные почвы минеральных удобрений, как правило, не оказывает существенного и однозначного влияния на переход радионуклидов из почвы в растения. При внесении в почву обычно применяемых доз фосфорных и калийных удобрений поступление стронция-90 и цезия-137 в растения несколько снижается. Азотные удобрения либо не оказывают никакого влияния, либо незначительно увеличивают переход радионуклидов из почвы в растения.

Большое разнообразие почв — причина значительных различий в поведении радионуклидов в почвах и накоплении их в растениях. Поэтому при возделывании сельскохозяйственных растений на разных почвах и в разных регионах можно отметить, что при одном и том же уровне радиоактивного загрязнения почв радиоактивные загрязнения получаемого урожая могут различаться в десятки раз (табл. 7.11 и 7.12). Более того, даже на различных разновидностях одного и того же типа почв накопление радионуклидов растениями также изменяется достаточно сильно. Например, содержание стронция-90 и цезия-137 в урожае пшеницы, выращенной на разных дерново-подзолистых почвах, варьируется в пределах пяти раз, а на черноземах — в пределах трех раз.

Влияние почвенных условий на накопление радионуклидов в урожае сказывается примерно одинаково для всех культур, но на поступление в растения цезия-137 свойства почв оказывают более сильное влияние, чем на поступление стронция-90. В условиях радиоактивного загрязнения территорий наиболее благоприятными, с точки зрения получения урожая пониженного радиоактивного загрязнения, будут почвы, обладающие сравнительно высоким плодородием, такие как серые лесные, каштановые, черноземы.

7.11. Среднее содержание стронция-90 ($n \cdot 10^{-9}$ Q/кг) в урожае основных сельскохозяйственных культур на различных почвах при плотности загрязнения территории 1 Q/км²

Почвы	Культура						
	озимая пшеница и рожь	яровая пшеница	яровой ячмень	овес	картофель	гречиха	свекла столовая
Дерново-подзолистые:							
песчаные	2	5	8	9	4	8	10
супесчаные	1	3	5	6	26	5	6
легко- и средне-суглинистые	0,6	2	3	3	1,7	3	3
тяжелосуглинистые	0,3	1	1,5	1,4	0,8	1,5	1,6
Серые лесные	0,4	1,3	1,8	2	1	1,7	2
Черноземы	0,1	0,3	0,4	0,4	0,1	0,2	0,3
Каштановые	0,2	0,5	0,8	1	0,3	0,5	2

7.12. Среднее содержание цезия-137 ($n \cdot 10^{-9}$ Q/kg) в урожае основных сельскохозяйственных культур на различных почвах при плотности загрязнения территории 1 Q/км²

Почвы	Культура						
	озимая пшеница и рожь	яровая пшеница	яровой ячмень	овес	картофель	гречиха	свекла столовая
Дерново-подзолистые:							
песчаные	0,4	0,7	0,6	0,8	0,4	1	2
супесчаные	0,2	0,5	0,4	0,4	0,2	0,5	1
легко- и средне-суглинистые	0,06	0,17	0,13	0,13	0,1	0,15	0,4
тяжелосуглинистые	0,03	0,08	0,06	0,06	0,03	0,1	0,2
Серые лесные	0,02	0,06	0,05	0,05	0,08	0,07	0,15
Черноземы	0,01	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04	0,07
Каштановые	0,02	0,06	0,05	0,5	0,08	0,07	0,15

На загрязненных землях основной способ рекультивации — *фиторекультивация*, которая включает также проведение таких агротехнических мероприятий, как глубокая вспашка, известкование, внесение минеральных удобрений. Все это способствует адсорбции радионуклидов, т. е. переходу их в кристаллические решетки некоторых элементов почв и тем самым переводу в неусвояемые для растений формы. Убранный биомассу компостируют в специальных траншеях до тех пор, пока уровень радиации культивируемых растений не достигнет ПДК.

Обыкновенная вспашка загрязненных радионуклидами земель уменьшает внешнее облучение в три раза, а запашка верхнего загрязненного радионуклидами слоя на глубину 0,25...0,4; 0,4...0,6; 0,6...0,8 м снижает загрязненность сельскохозяйственной продукции в 1,7; 2 и 10 раз и в значительной мере уменьшает внешнее облучение. Захоронение загрязненного радионуклидами слоя на глубину от 1,1 м и глубже почти полностью ликвидирует внутреннее и внешнее облучение.

При загрязнении радионуклидами пахотного слоя понижение уровня грунтовых вод с глубины 0,5 м и менее до глубины 0,9...1,2 м уменьшает загрязнение сельскохозяйственной продукции на 65...80 % (до 3...5 раз). При дальнейшем понижении УГВ до 0,2 м уменьшение составляет только 35...50 % (до 1,5...2 раз) от первоначального загрязнения. Переувлажнение загрязненного пахотного слоя приводит к увеличению содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции до 3 раз, а осушение до оптимальной влажности — к уменьшению до 3 раз. Применение калия и кальция (аналогов цезия и стронция) путем доведения их содержания в загрязненном слое до оптимальных норм уменьшает загрязнение сельскохозяйственной продукции радионуклидами в 2...4 раза.

Рекультивация земель Гомельской области на основных типах лугов (суходольном, пойменном и заболоченном) показала, что из комплекса контрмер, снижающих переход радионуклидов в травостой различных типов лугов, наиболее эффективно коренное улучшение лугов. Важной его составляющей частью обязательно должно быть применение повышенных доз фосфорных, калийных удобрений и доломитовой муки. Этот прием с последующим ежегодным внесением удобрений под каждый укос позволяет в течение 5 лет после коренного улучшения загрязненного луга получать корма с содержанием радионуклидов от 3 до 15 раз ниже, чем в естественном травостое. Снижение по ^{137}Cs достигает для растений заболоченного луга 4...10 раз, суходольного — 3...4 раза и пойменного — более чем в 10 раз.

Влияние коренного улучшения достаточно эффективно, но его продолжительность воздействия ограничена типом угодий, плотностью загрязнения, временем, прошедшим после залужения. С течением времени в результате деградации травостоев наблюдается увеличение размеров перехода радионуклидов в растения, т. е. возникает необходимость проведения повторного залужения (перезалужения), которое позволяет получать нормативно чистую продукцию уже в первый год жизни трав.

Перезалужение изучаемых типов лугов позволило снизить поступление ^{137}Cs в урожай многолетних сеяных трав соответственно: на суходольном типе луга в 2...11,5 раза; заболоченном 3...20 раз; пойменном 4...20 раз. Кратность снижения поступления ^{90}Sr при залужении составила в оптимальных вариантах соответственно: на суходольном — 2,6 раза, заболоченном — 3,2 и пойменном — 8,2 раза.

Полученные результаты рекультивации свидетельствуют, что как залужение, так и перезалужение способствует уменьшению поступления радионуклидов в урожай многолетних злаковых трав основных типов лугов, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

7.7. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

При ежегодной мировой добыче нефти 2 млрд 500 млн т в год теряется около 50 млн т, или примерно 2 %. Земли и воды загрязняются при добыче нефти, транспортировке ее и ее продуктов, переработке, хранении, заправке машин топливом в результате аварий, утечек, протечек, испарений. Опасны не только крупные аварии на водном и железнодорожном транспорте, при прорыве нефтепроводов, но и мелкоочаговые загрязнения вокруг много-

численных 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. Иными словами, в год потери нефтепродуктов на хозяйственных базах составляют от 120 до 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 по 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 значительная их часть просачивается вниз, достигает поверхности грунтовых вод и образует 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 — также и выше среднегодовой глубины грунтовых вод. В отдельных случаях, как это наблюдалось вокруг крупных баз аэродромов, нефтепродукты выклиниваются в подпольях, погребах и даже на дневную поверхность.

Просочившиеся нефтепродукты создают большую экологическую угрозу водоносным горизонтам, а также водоемам и водотокам, так как даже при незначительном содержании (0,1 мг/л) вода

непригодна 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. раздел 7.1).

В Нидерландах для оценки загрязнения почв применяют три уровня: 1-й — фоновый с содержанием нефтепродуктов 50 мг/кг почвы; 2-й — повышенное загрязнение (1000 мг/кг), при котором выявляют и устраняют причины загрязнения, организывают мониторинг; 3-й — высокое загрязнение (5000 мг/кг) — служит основанием для проведения рекультивации и грунтовых вод. В Германии допустимое содержание нефтепродуктов в почве водоохраных зон и заповедников составляет 300 мг/кг; почв древних речных долин — 3000 мг/кг; 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 мг/кг, 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 предельно допустимое содержание нефтепродуктов принято 1000 мг/кг, в случае превышения необходимы рекультивационные работы. Для Москвы утверждено предельное содержание нефтепродуктов 300 мг/кг.

В отдельных регионах страны в качестве ориентировочно допустимых уровней используют «фоновые значения» содержания углеродородов в почве или такое содержание нефтепродуктов, при котором за счет самоочищающей способности почвы в течение одного года восстанавливаются 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, характера загрязнения, вида нефтепродуктов, использования земель и природных условий, обуславливающих самоочищающую способность компонентов геосистем.

Для земель сельскохозяйственного назначения первого уровня рекультивации (низкий уровень загрязнения нефтью и нефтепродуктами) содержание их в почве 300...1000 мг/кг, второго (средний и высокий уровень загрязнения) — 1000...5000 мг/кг, третьего (очень высокий уровень загрязнения) — более 5000 мг/кг. Для земель несельскохозяйственного назначения эти пределы следующие: 1-й уровень — 1000...5000 мг/кг, 2-й уровень — 5000...10 000, 3-й уровень — свыше 10 000 мг/кг.

Состав работ первого 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 мульчирующей поверхности из высокопитательных смесей, посев нефтотолерантных растений повышенными нормами, а также возможно применение составных мелиорантов: NPK + навоз; NPK + известь; NPK + известь + навоз.

Большое внимание уделяют использованию растений для очистки почв, загрязненных углеводородами (нефтью и нефтепродуктами), рассматривая три наиболее перспективных метода очистки загрязнений с помощью растений: фитодеградация, фитоиспарение, ризодеградация.

Фитодеградация — «внутреннее» разрушение углеводов растением — после поглощения разложение их в ходе метаболических процессов либо «внешнее», когда нефтепродукты разлагаются под действием корневых выделений. Проведенные опыты за рубежом доказывают возможность разрушения — разложения на безопасные составляющие растением нефти и нефтепродуктов.

Фитоиспарение — способность растения поглощать нефть или нефтепродукты в процессе поддержания своего водного баланса, т. е. вместе с водой «выкачивать» из почвы загрязняющее вещество. Эта способность хотя и может быть использована для очистки загрязнений, но имеет отрицательное последствие (загрязняющее вещество выводится в атмосферу в процессе транспирации).

Более эффективна очистка, когда растение совмещает способность к фитоиспарению и фитодеградации, тогда в воздух выводятся только безопасные продукты разложения нефтепродуктов.

Ризодеградация — усиленная микроорганизмами биодеградация. Принцип этого механизма заключается в том, что загрязняющие углеводороды разлагаются не непосредственно самим растением, а микроорганизмами, обитающими около его корней, т. е. в ризосфере. Растения усиливают работу микроорганизмов за счет биологически активных корневых выделений. В то же время растения помимо стимуляции микробов в некоторой степени само-

стоятельно участвуют в разложении углеводов (фитодеградация).

Листья растения испаряют воду, выполняя функцию насоса, выкачивающего из почвы при помощи корней воду с растворенными в ней веществами. Углеводы, из которых состоит нефть, абсорбируются на поверхности корней (что снижает подвижность и токсичность нефти), поглощаются корнями, поступают в надземные части растений, где разрушаются (деградируют), накапливаются или испаряются в атмосферу.

Растения находятся в тесном взаимодействии с микроорганизмами, заселяющими почву. Растительный организм в ходе фотосинтеза аккумулирует солнечную энергию в углеводах (сахарах). От 10 до 20 % всей запасенной в процессе фотосинтеза энергии тратится растением на синтез и выделение веществ (сахара, спирты, органические кислоты) в прикорневую зону, что способствует развитию микроорганизмов. Поэтому непосредственно рядом с поверхностью корней в 1 см³ содержится около 130 млрд микроорганизмов, а на расстоянии 10 см их содержание снижается до 20 млрд. Важнейший механизм фиторемедиации почвы — биодеградация углеводов нефти микроорганизмами, чье развитие стимулируется выделениями корней.

Технология фиторемедиации почвы, загрязненной нефтью, достаточно проста в применении, но требует высококвалифицированных специалистов. Она складывается из нескольких этапов:

оценка загрязнения участка (химический состав разлива, степень проникновения нефти в почву, картирование);

разработка оптимальной схемы фиторемедиации (подбор видового состава растений, которые оптимально подходят для устранения данного типа загрязнения и соответствуют данным почвенно-климатическим условиям, определение схемы посадки, выбор необходимых агротехнических мероприятий, в том числе оптимизация питания и химическая защита растений);

выращивание растений (проведение комплекса агротехнических мероприятий, в том числе подготовка семенного материала, почвы, внесение минеральных удобрений, использование средств защиты);

мониторинг участка (определение концентрации и распространения химических компонентов нефти, отслеживание путей биодеградации нефти, проведение информационного анализа и прогнозирования).

В рекультивационные работы второго уровня входят замена загрязненного слоя путем удаления последнего, создание рекультивационного слоя способом смешивания замазученных и чистых слоев почвы; внесение органоминеральных и бактериальных активаторов (керамзитовые окатыши, навоз, био-

деструкторы); устройство под загрязненным слоем поглотительно-экранирующих слоев 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.

Приоритетный способ 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 °С) и питательного режимов почв. Благодаря действию таких препаратов содержание нефтепродуктов в почве за 10 сут может снизиться на 30 %.

Эффективность очистки почвы с помощью биологических препаратов можно проследить на примере биодеструкции нефти иммобилизованными на вермикулите клетками микроорганизмов.

Вермикулит — легкий слоистый природный минерал, обладающий высокой сорбционной емкостью по отношению к клеткам микроорганизмов и к нефтяным углеводородам одновременно. Обработка дробленых вермикулитов при высоких температурах увеличивает их общую сорбционную поверхность за счет вытеснения воды из межплоскостных и межпакетных объемов и из кристаллической структуры минерала. Сорбционная поверхность увеличивается вследствие возрастания суммарной пористости вермикулита, причем в основном за счет развития его макропористости. Поскольку для успешной иммобилизации клеток на пористом носителе важна не только общая площадь поверхности, но и диаметр пор, который в 4...5 раз должен превышать максимальный размер клеток. Для изготовления такого сорбента использовали образцы дробленых вспученных вермикулитов Ковдорского месторождения, обладающих достаточно большим суммарным объемом пор, включая мезо- и макропоры, и механической прочностью. Сорбцию дрожжевых клеток *S. tropicalis* 637, *S. parapsilosis* 907 и бактериальных клеток *Acinetobacter species* 72S на вермикулите проводили в диапазонах клеточных концентраций $1,4 \cdot 10^7$... $1,4 \cdot 10^8$ кл/мл для дрожжевых и $5,0 \cdot 10^8$... $15 \cdot 10^8$ кл/мл для бактериальных клеток.

Динамика изменений количества нефти в почве в процессе биодеструкции показана на рисунке 7.7. Через месяц содержание нефтяных углеводородов в контроле без биогенов было небольшим, в контроле с внесением биогенных элементов азота и фосфора (N и P) остаточное содержание углеводородов нефти (НУГВ) уменьшилось почти в 2 раза, что произошло, как и предполагалось, в результате активизации деятельности естественной углеводородокисляющей микрофлоры почвы.

Применение иммобилизованных культур (Ассоциация 1 —

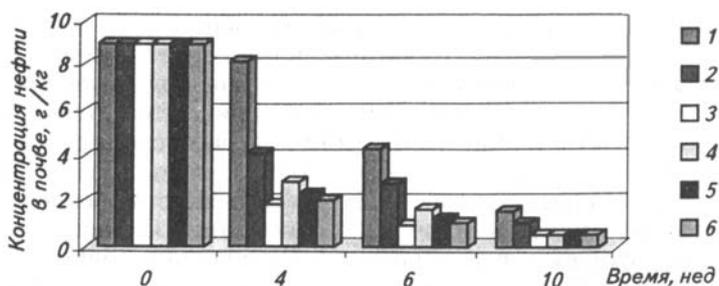


Рис. 7.7. Изменение концентрации нефти в почве под действием иммобилизованных на вермикулите клеток микроорганизмов:

1— контроль; 2— контроль + N и P; 3, 5 и 6— ассоциации 1, 2 и 3; 4— *Acinetobacter species 72S*

C. tropicalis 637, *C. parapsilosis* 907 (1 : 1); Ассоциация 2— *C. tropicalis* 637, *C. parapsilosis* 907, *Acinetobacter sp. 72S* (1 : 1 : 1); Ассоциация 3— *C. tropicalis* 637, *C. parapsilosis* 907, *B. polymyxa* 165 (1 : 1 : 1) и *Acinetobacter species 72S*) способствовало еще более глубокой деструкции нефти, что уменьшило нефтяное загрязнение в 3...4 раза по сравнению с контрольными вариантами. За месяц максимальная деструкция нефтяных углеводов для вариантов с биопрепаратами достигла 73...84 % и 64 % — для вариантов с аборигенными углеводородокисляющими микроорганизмами. Через 1,5 мес эксперимента деструкция нефтяных углеводов в вариантах с внесенными биопрепаратами по-прежнему была больше, чем в контрольных вариантах.

За 2,5 месяца остаточное содержание нефти значительно снизилось во всех вариантах и составило 0,48...0,54 г/кг почвы, что в 2 раза меньше, чем в контроле с биогенными добавками, и в 3 раза меньше, чем в первом контрольном варианте без биогенных добавок.

Таким образом, внесение в почву биопрепаратов с иммобилизованными ассоциациями алканотрофных микроорганизмов способствует ускорению деструкции НУГВ по сравнению с действием местной почвенной микрофлоры.

По мере снижения загрязненности почвы, при выполнении рекультивационных работ второго уровня, для доочистки применяются мероприятия первого уровня рекультивации.

В качестве устойчивых культур при среднем загрязнении выращивают ежу сборную и полевицу белую; при низком загрязнении, кроме указанных, — тимopheевку, 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 год и последующие годы — выращивание устойчивых культур до получения качественной продукции (табл. 7.13).

7.13. Условия применения агробиологических рекультиваций

Метод рекультивации	Способ, технология, материал	Условия применения	
		температура воздуха, более, °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 во второй и третий уровни, 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 формируются 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 ней подзем-

ных и поверхностных вод. Поэтому инженерно-экологические системы должны решать вопросы рекультивации почв, защиты рек и водозаборов от загрязнения нефтепродуктами с одновременной локализацией очагов загрязнения подземных вод.

Управляемая система в течение длительного периода (нескольких 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 гидрохимическими 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 нефтехимической промышленности показана на рисунке 7.8. Мероприятия и функции управляемой системы:

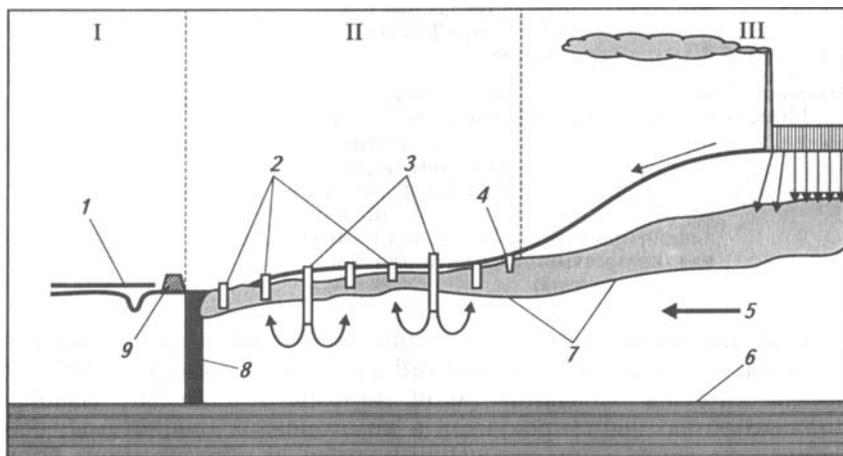


Рис. 7.8. Схема управляемой инженерно-экологической системы по восстановлению компонентов природной среды в зоне действия предприятий нефтехимической промышленности:

I — зона реки; *II* — зона рекультивации загрязненных земель, локализации и ликвидации загрязнения нефтепродуктами; *III* — зона нефтехимических предприятий; 1 — паводковый уровень воды в реке; 2 и 3 — добывающие и нагнетательные скважины; 4 — нагорно-ловчий канал; 5 — приток подземных вод; 6 — водоупор; 7 — загрязнение нефтепродуктами; 8 — противофильтрационная завеса; 9 — оградительная дамба

дамба обвалования и мероприятия по организации поверхностного стока предназначены для защиты загрязненной территории от затопления во время паводка и предотвращения поверхностного смыва нефтепродуктов; аккумулированный поверхностный сток после предварительного биодеструктирования и доочистки направляется в водооборотные системы промышленных предприятий;

стена в грунте из смеси глина — песок — цемент, представляющая собой противодиффузионную завесу и устраиваемая по контуру нефтяной залежи преимущественно в зоне разгрузки загрязненных потоков, а также нагнетательные скважины обеспечивают подъем несвязных нефтепродуктов, которые захватываются добывающими скважинами;

добывающие скважины в пределах контура загрязнения в регулируемом режиме откачивают нефтепродукты и загрязненные подземные воды, которые по системе трубопроводов направляются на очистные сооружения;

рекультивация загрязненных земель в условиях регулирования гидрохимического режима почв обеспечивает восстановление их продуктивности и создает условия для получения качественной растительной продукции на приусадебных участках и сельскохозяйственных угодьях;

управление инженерно-экологической системой осуществляют на основе экологического мониторинга, проводимого на рекультивируемой территории.

Передвижение легких нефтепродуктов в почве и в подземных водах*. В районах расположения нефтеперерабатывающих заводов, крупных складов топливно-смазочных материалов в результате проливов, утечек, аварий в грунтах скапливается большое 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 пористости, а на периферии области загрязнения — 0,05...0,1 пористости. Из-за коле-

*Написано А. И. Головановым.

бания уровня подземных вод эта область перемещается в горизонтальном направлении и растягивается по вертикали, захватывая нижние слои водоносного горизонта при опускании уровня, а при подъеме загрязняется почвенный слой, нефтепродукты даже выклиниваются на поверхность земли в понижениях.

Практически горизонтальный поток грунтовых вод всегда 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 выполнять последующую доочистку земель от оставшегося продукта.

Для обоснования мероприятий по удалению подвижных нефтепродуктов применяют теорию их совместного передвижения с водой в пористых средах и разработанные на ее основе математические модели. Характерная особенность рассматриваемого процесса — нахождение двух несмешивающихся жидкостей не только под действием внешних давлений, но появление между ними на границе раздела (иногда эти жидкости неудачно называют фазами) давления 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):

$$p \frac{\rho_n}{\rho_b} C_{вн} \frac{\partial H_n}{\partial t} - p(C_{вн} - C_b) \frac{\partial H_b}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_n f_n \frac{\partial H_n}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_n f_n \frac{\partial H_n}{\partial y} \right), \quad (7.16)$$

$$p C_{вн} \frac{\partial H_n}{\partial t} - p \frac{\rho_n}{\rho_b} C_{вн} \frac{\partial H_n}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_b f_b \frac{\partial H_b}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_b f_b \frac{\partial H_b}{\partial y} \right), \quad (7.17)$$

где n и b — индексы, обозначающие соответственно нефтепродукт и воду; p — пористость; ρ — плотность; $C_{вн}$ и C_b — емкостные коэффициенты, связывающие поры и насыщенности:

при $0 < s_b + s_n < 1$

$$C_b = \frac{\partial(s_b + s_n)}{\partial \psi_b}; \text{ при } s_b + s_n = 1 \text{ и при } s_b + s_n = 0 \text{ } C_b = 0; \quad (7.18)$$

при $s_b^* < s_b < (1 - s_n^*)$

$$C_b = -\frac{\partial \psi_{вн}}{\partial \psi_b}; \text{ при } s_b = s_b^* \text{ и при } s_b = 1 - s_n^* \quad C_{вн} = 0, \quad (7.19)$$

здесь s_b и s_n — насыщенность водой и нефтепродуктом, т.е. отношение объема жидкости к объему пор, s_b^* и s_n^* — 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):

$$\psi_b = -h_b \left(\ln \frac{1 - s_b^* - s_n^*}{s_b + s_n - s_b^* - s_n^*} \right)^{1/2}, \quad (7.20)$$

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

$$\psi_{вн} = h_{вн} \left(\ln \frac{1 - s_b^* - s_n^*}{s_b - s_b^*} \right)^{1/2}, \quad (7.21)$$

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

$$H_n = \frac{\rho_b}{\rho_n} (\psi_b + \psi_{вн}) - x; \quad (7.22)$$

H_b — напор в водном теле:

$$H_b = \psi_b - x; \quad (7.23)$$

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

$$k_n = k_b \frac{\rho_n \mu_b}{\rho_b \mu_n}, \quad (7.24)$$

μ_b, μ_n — динамический коэффициент вязкости соответственно воды и нефтепродукта; f — относительная проницаемость, зависящая от насыщенности одной из жидкостей, для воды

$$f_b = \left(\frac{s_b - s_b^*}{1 - s_b^*} \right)^{3,5}, \quad (7.25)$$

для нефтепродукта

$$f_n = \alpha \left\{ 1 - \exp \left[-\beta \left(\frac{s_n - s_n^*}{1 - s_n^*} \right)^2 \right] \right\}, \quad \alpha = (1 - e^{-\beta})^{-1}, \quad (7.26)$$

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

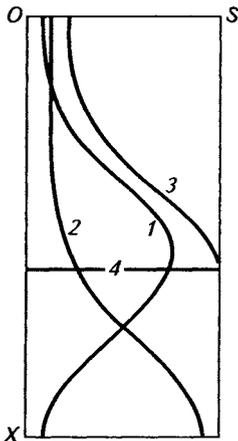
Рассмотрим случай равновесия двух жидкостей в зоне загрязнения, начинающейся с поверхности земли и распространенной до глубины L_3 (рис. 7.9). Начиная с глубины L_c , залегает зона полного насыщения, в которой $s_B + s_H = 1$, выше расположена зона неполного насыщения или капиллярная кайма, где $s_B = s_H < 1$. Примем, что в результате колебания уровня грунтовых вод на поверхности земли и на нижней границе загрязненной зоны содержание нефтепродукта равно гидравлически неподвижному. В условиях равновесия потоки жидкости отсутствуют, следовательно, $\partial H_B/\partial x = 0$, $\partial H_H/\partial x = 0$ и $\partial H_B/\partial y = 0$, $\partial H_H/\partial y = 0$, т. е. их напоры постоянны. На глубине L_c насыщенность обеими жидкостями равна 1, следовательно, здесь $\psi_B = 0$. Поэтому и во всей загрязненной толще $H_B = -L_c$, а $\psi_B = x - L_c$ [см. формулу (7.23)]. На глубине $x = L_3$ $s_H = s_H^*$, $s_B = 1 - s_H^*$, поэтому в соответствии с зависимостью (3.84) напор в теле нефтепродукта и по всей глубине будет

$$H_H = \frac{\rho_B}{\rho_H}(L_3 - L_c) - L_3$$
, а разность давлений в воде и в нефтепродукте (капиллярный скачок давления) $\psi_{BH} = \frac{\rho_H}{\rho_B}(H_H + x) - \psi_B = \varepsilon(L_3 - x)$, где $\varepsilon = 1 - \rho_H/\rho_B$.

Зная изменение ψ_B и ψ_H по глубине, можно из выражения (7.21) получить эпюру насыщенности водой во всей загрязненной зоне:

$$s_B = s_B^* + (1 - s_B^* - s_H^*) \exp \left[- \left(\frac{\psi_{BH}}{h_{BH}} \right)^2 \right]. \quad (7.27)$$

Насыщенность нефтепродуктом в зоне полного насыщения, т. е. при $x \geq L_c$, $s_H = 1 - s_B$, а в капиллярной кайме согласно зависимости (7.22):



$$s_H = s_B^* + s_H^* - s_B + (1 - s_B^* - s_H^*) \exp \left[- \left(\frac{\psi_B}{h_B} \right)^2 \right]. \quad (7.28)$$

Проинтегрировав выражения (7.27) и (7.28), получаем формулы для определения

Рис. 7.9. Эпюры насыщенности в зоне полного насыщения и в капиллярной кайме:

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

запасов нефтепродукта как во всей загрязненной толще, так и отдельно в зоне полного насыщения и в капиллярной кайме. Общие запасы нефтепродукта, $W_H = \bar{s}_H \rho L_C$, где \bar{s}_H — средняя насыщенность:

$$\bar{s}_H = 1 - s_B^* - (1 - s_H^* - s_B^*) \frac{L_C}{L_3} \left\{ 1 + \frac{\sqrt{\pi} h_{вн}}{2\varepsilon L_C} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{\varepsilon L_3}{h_{вн}} \right) - \frac{\varepsilon h_B}{h_{вн}} \operatorname{erf} \left(\frac{L_C}{h_B} \right) \right] \right\}. \quad (7.29)$$

Средняя насыщенность нефтепродуктом в зоне полного насыщения:

$$\bar{s}_{H1} = 1 - s_B^* - (1 - s_H^* - s_B^*) \frac{\sqrt{\pi} h_{вн}}{2\varepsilon(L_3 - L_C)} \operatorname{erf} \left[\frac{\varepsilon}{h_{вн}} (L_3 - L_C) \right], \quad (7.30)$$

а запасы нефтепродукта, m^3/m^2 , в этой зоне составят: $W_{H1} = \bar{s}_{H1} \rho (L_3 - L_C)$. Запасы в капиллярной кайме $W_{H2} = W_H - W_{H1}$. В этих формулах $\operatorname{erf}(x)$ — специальная функция, значения которой приведены в математических справочниках.

Пример. Определим запасы нефтепродукта в загрязненной толще $L_3 = 5$ м, если капиллярная кайма равна $L_C = 3$ м при следующих гидрофизических характеристиках: $\rho_B = 1$ т/ m^3 , $\rho_H = 0,8$ т/ m^3 , пористость грунта $p = 0,38$, гидравлически неподвижные насыщенности $s_B^* = 0,13$, $s_H^* = 0,08$, $h_{вн} = 0,3$ м, $h_B = 1,3$ м. По формуле (7.29) находим среднюю насыщенность нефтепродуктом во всей загрязненной толще $\bar{s}_H = 0,368$, а по формуле (7.30) — в зоне полного насыщения $\bar{s}_{H1} = 0,376$. Тогда общие запасы нефтепродукта $W_H = 0,368 \cdot 0,38 \cdot 5 = 0,699$ m^3/m^2 , в зоне полного насыщения $W_{H1} = 0,376 \cdot 0,38(5 - 3) = 0,286$ m^3/m^2 , а в капиллярной кайме $W_{H2} = 0,699 - 0,286 = 0,413$ m^3/m^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. Эпюра насыщенностей показана на рисунке 7.9. Максимальная насыщенность нефтепродуктом наблюдается на глубине 2,8 м и составляет 0,76 пористости.

При таких запасах нефтепродуктов и площади загрязнения 0,5 km^2 суммарное количество нефтепродуктов составит 350 тыс. m^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 $s_H^* = 0,08$ или, если говорить о запасах, то можно удалить $0,699 - 0,08 \cdot 0,38 \cdot 5 = 0,547$ m^3/m^2 или 78 %. Оставшуюся часть нефтепродуктов удаляют другими приемами, как правило, биохимическими методами разложения нефтепродуктов. Оставлять нефтепродукт в почве и в водонасыщенных грунтах нельзя, так как их растворимость в воде в сотни раз превышает предельно допустимое содержание.

Мероприятия по очистке территории обосновывают с помощью математических моделей [системы уравнений (7.16) и (7.17)]

с соответствующими начальными и граничными условиями. Аналитических решений такая сложная система не имеет, ее решают конечно-разностными методами, которые реализуются в виде компьютерных программ.

Пример обоснования мероприятий по очистке земель, загрязненных нефтепродуктами.* Рассмотрим мероприятия по очистке земель на территории и вокруг ликвидируемой районной базы топливно-смазочных материалов (ТСМ), 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 $k_{\text{в}} = 1,8$ 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, проходящий под территорией базы, разгружается в ручье и в конечном счете попадает в Волгу. На слабокарбонатных 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 $0,016 \cdot 10818 \cdot 173$ т/год, за 37 лет существования базы общие потери составили 6400 т или при средней плотности нефтепродуктов $0,8$ т/м³ их объем будет $6400 : 0,8 = 8000$ м³.

*Написано А. И. Головановым.

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 $k_b = 1,8$ м/сут фильтрационная скорость потока по формуле Дарси:

$$v = k_b i = 1,8 \cdot 0,002 = 0,0036 \text{ м/сут} = 1,314 \text{ м/год.}$$

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 создаст угрозу загрязнения верховья Волги.

Примерные расчеты это подтверждают: при водосборной площади ручья 10 км^2 и среднегодовом слое подземного стока 120 мм среднегодовой сток по ручью $1\,000\,000 \cdot 0,12 = 1200$ тыс. м^3 , 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 $0,05 \text{ мг/л}$.

Следовательно, анализ природных и хозяйственных условий показывает необходимость принятия срочных мер. Для этого необходимо, во-первых, закрытие существующей базы, так как технология хранения из-за больших потерь создает экологическую угрозу значительной территории и водной системе реки Волги. Во-вторых, необходимы специальные инженерные мероприятия по локализации очага загрязнения, очистке грунтов и грунтовых вод от нефтепродуктов и рекультивации почвенного покрова.

По формулам (7.27) и (7.28) вычисляют содержание воды и нефтепродуктов во всей толще от поверхности земли до водоупора, а по формуле (7.29) — среднее для этой толщи содержание нефтепродуктов $W_n = 0,252 \text{ м}^3/\text{м}^2$ (начальное содержание нефтепродуктов). Потери нефтепродуктов, просочившиеся в грунт за все время функционирования базы ТСМ составят 8000 м^3 , пло-

щадь загрязнения — $8000 : 0,252 = 31\,746\text{ м}^2$. 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 полуось $b = 142 : 2 = 71$ м 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 вычислить 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 можно удалить гидравлическим способом, т. е. вытеснением водой. С учетом гидравлически неподвижной насыщенности максимально можно удалить нефтепродуктов $W_{\text{уд}} = W_{\text{н}} - mLS_{\text{н}}^* = 0,252 - 0,38 \cdot 3,8 \cdot 0,1 = 0,108\text{ м}^3/\text{м}^2$, или 3429 м^3 (L — мощность слоя с гидравлически неподвижными нефтепродуктами, которая включает мощность потока грунтовых вод и высоту капиллярного подъема; для песка 0,3...0,5 м), т. е. $3,4 = 0,4 = 3,8$ м; $S_{\text{н}}^*$ — насыщенность грунтов неподвижными нефтепродуктами, для песка — 0,1...0,15). Извлекаемая часть нефтепродуктов составит $(3429 : 8000) \cdot 100 = 43\%$ всех потерь.

Оставшиеся $8000 - 3429 = 4571\text{ м}^3$ или $4571 \cdot 0,8 = 3657$ т нефтепродуктов в принципе удалить гидравлическими способами нельзя, следовательно, после извлечения подвижной части нефтепродуктов в грунте и в грунтовых водах на долгие годы сохранится 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, проходящий под территорией базы,

$$Q = k_{\text{в}} i L B = 1,8 \cdot 0,002 \cdot 3,8 \cdot 150 = 2,1\text{ м}^3/\text{сут} = 768\text{ м}^3/\text{год},$$

где $k_{\text{в}}$ — коэффициент фильтрации воды в песке, м/сут; i — уклон потока; L — мощность потока, м; B — ширина потока, м.

Это количество воды растворит $768\text{ м}^3/\text{год} \cdot 20\text{ г}/\text{м}^3/\text{год} \cdot 15,4\text{ кг}$ нефтепродуктов в год, а исходя из того, что оставшееся количе-

ство нефтепродуктов 3657 т, то оставшиеся нефтепродукты будут вымываться растворением из грунтов столетия.

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. Это условие необходимо для проведения работ по очистке загрязненной территории.

Растворенные нефтепродукты из грунтов удаляют 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. С помощью вертикальных и горизонтальных дрен откачивают 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 не извлекаемой 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 проблема предотвращения последующего изменения качества подземных и поверхностных вод за границами очага загрязнения не решается.

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. Задача 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 не загрязненный почвенный слой снимают и складировуют в бурты.

Суть этой технологии заключается в том, что при нагнетании воды в скважины грунтовые воды и нефтепродукты вытесняются вверх 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 (рис. 7.10).

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 нефтеперегонный 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

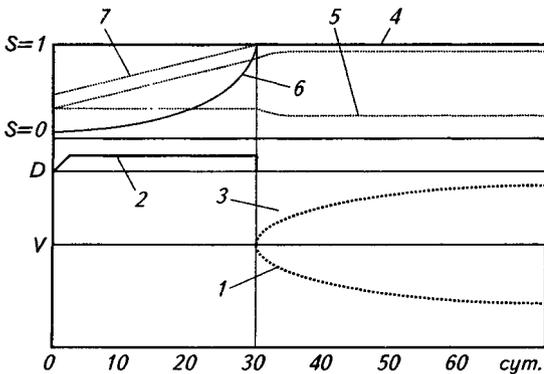


Рис. 7.10. Результаты расчета вытеснения нефтепродуктов:

1 — слой впитавшейся воды; 2 — слой воды, поданной снизу при нагнетании; 3 — слой всплывшего нефтепродукта; 4 — средняя во всем расчетном слое насыщенность пор водой; 5 — средняя во всем расчетном слое насыщенность пор нефтепродуктом; 6 — глубина верхней границы зоны полного насыщения; 7 — суммарная насыщенность

большой, иначе подъем уровня грунтовых вод вблизи и вдали от скважин будет неравномерный, 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, откачивают воду, создавая в них вакуум. Поскольку фильтр скважин расположен глубже загрязненной зоны, то откачиваемая вода будет чистой. Глубина понижения уровня грунтовых вод должна быть 1,5...2 м, чтобы обеспечить проведение последующих работ. Для реализации этой технологии строят инженерно-экологические системы (см. рис. 7.8).

После окончания этапа гидравлического вытеснения нефтепродуктов загрязненными остаются зона аэрации, включающая почвенный горизонт, и грунт, из которого сделаны валики.

Дочищают 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 частично 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, на второй год, 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 «Бациспектин», полученный на основе природного почвенного штамма *Bacillus* sp. 739, за два месяца разлагает более 50 % загрязнителя 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, уровень грунтовых вод понижают до 1 м, для этого осуществляют откачку 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.

Моделирование и биоремедиация почвы и зоны аэрации от загрязнения нефтепродуктами*. Рекультивация земель, или очистка земель с использованием микроорганизмов (биоремедиация, или микробиологическая очистка) в последнее время нашла широкое применение. Этот способ активно развивается наряду с такими, как аэрация почвы, складирование почвы с последующей активизацией процесса самоочистения, экскавация загрязненного грунта для захоронения или термической обработкой и др. (см. разд. 7.7). Его успешно применяют при очистке почв от бензина, дизельного топлива и других нефтепродуктов.

Технология микробиологической очистки состоит из:

внесения в почву бактерий, способных разлагать нефтепродукт в зависимости от условий (аэробных или анаэробных) и выработки веществ, способствующих его быстрому смыванию — биогенных поверхностно-активных веществ — ПАВ;

веществ, необходимых для их роста (минерального питания);

проведения мероприятий для обеспечения жизнедеятельности микроорганизмов тепловым и водно-воздушным режимом.

Модель процессов микробиологической очистки и ее применение в конкретных проектах успешно реализована Д. В. Конновым и И. С. Пашковским (2001—2004 гг.).

Принцип организации системы биологической очистки грунта на месте загрязнения показан на рисунке 7.11.

Математическая модель биологической очистки почвы от углеводородов описывает процессы разложения нефтепродукта бактериями, рост и отмирание бактерий, выработку бактериями поверхностно-активных веществ, переход нефтепродукта в эмульсию, перенос бактерий с инфильтрующейся водой с учетом их сорбции и десорбции, перенос эмульсии нефтепродукта с инфильтрующейся водой. В основе математической модели лежат решения уравнения Моно (7.1) и инфильтрации почвенной влаги, которые

*Написано Ф. М. Зиминим.

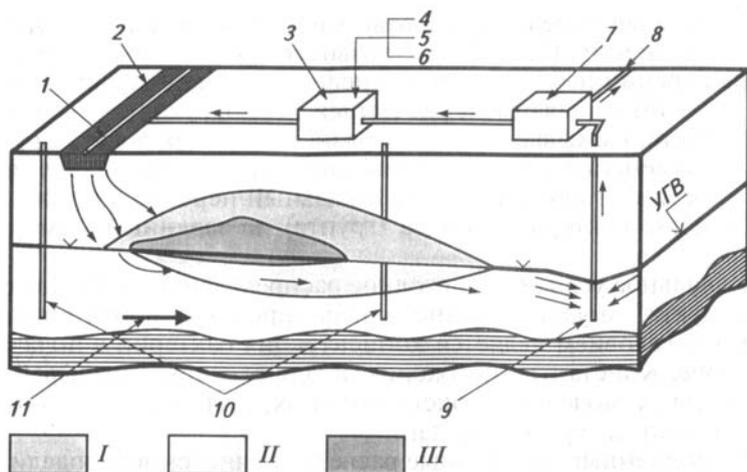


Рис. 7.11. Схема процесса очистки почвы от нефтепродуктов с использованием микроорганизмов:

1 — перфорированная труба; 2 — инфильтрационная галерея; 3 — смесительная емкость; 4 — аэрация; 5 — минеральное вещество; 6 — бактерии; 7 — очистка воды; 8 — сброс воды; 9 и 10 — откачивающая и наблюдательная скважины; 11 — направление потока подземных вод; I — поры углеводородов; II и III — растворимый и свободный нефтепродукт

в конечном виде представляют систему уравнений:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\mu_{\max} G}{K_s + G} M - \lambda M - \frac{v}{n_s^M} \cdot \frac{\partial M}{\partial x}; \quad (7.31)$$

$$n \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\alpha}{qs} \cdot \frac{\mu_{\max} \cdot G}{K_s + G} \cdot M - v \cdot \frac{\partial C}{\partial x}; \quad (7.32)$$

$$\frac{\partial G}{\partial t} = -\frac{1}{q} \cdot \frac{\mu_{\max} \cdot G}{K_s + G} \cdot M - \frac{v \cdot n}{\rho} \cdot \frac{\partial C}{\partial x}, \quad (7.33)$$

где M — концентрация бактерий; t — время; μ_{\max} — максимальная скорость роста бактерий; G — концентрация нефтяных углеводородов; K_s — константа, численно равная равновесной концентрации загрязняющего вещества, при которой скорость роста культуры равна половине максимальной (константа полунасыщения); λ — скорость отмирания клеток; v — инфильтрация почвенной влаги; n — пористость почвы; n_s^M — эффективная пористость почвы; x — вертикальная координата, по которой движется почвенная влага; C — концентрация нефтепродукта в почвенной воде; ρ — плотность почвы (грунта); α — число молекул ПАВ, образующих мицеллу; qs — коэффициент пропорциональности, связывающий количество образовавшихся поверхностно-активных веществ (ПАВ) с поглощенным нефтепродуктом.

Численная модель, разработанная на основе решения этой системы уравнений (7.31...7.33), позволяет рассчитывать изменение концентрации нефтепродукта и нефтеокисляющих бактерий в почве (грунте) на заданный расчетный период, концентрацию нефтепродукта, вымываемого из загрязненного слоя почвы (грунта), а также изменение концентрации свободного нефтепродукта в зависимости от глубины, его вертикальный перенос в грунте и распределение бактерий в почве (грунте) на заданный момент времени.

Начальное условие — исходное распределение свободного нефтепродукта, эмульгированного нефтепродукта и бактерий. Граничным условием является концентрация бактерий в подаваемом растворе. Константы, необходимые для расчета, определяют в лабораторных модельных экспериментах, для экспертных оценок используют литературные данные.

Выполненные поверочные расчеты по численной модели показали хорошую сходимость результатов с натурными данными (рис. 7.12). Объектом очистки являлся слой грунта толщиной 5 м, загрязненного бензином, средняя концентрация которого составляла 0,005 г/г грунта. Микробиологическую очистку осуществляли промывкой слоя грунта, загрязненного нефтепродуктом, раствором биопрепарата.

Результаты моделирования микробиологической очистки показаны на рисунках 7.13...7.15.

Вынесенные в грунтовые воды ПАВ и нефтепродуктовые углеводороды перехватываются вертикальными скважинами (см. рис. 7.11) или горизонтальными дренами и направляются на доочистку.

Представленные результаты расчетов и сравнительный анализ натуральных и расчетных данных свидетельствуют о возможности ис-

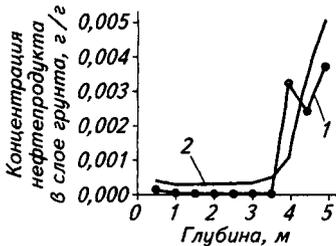


Рис. 7.12. Изменение концентрации нефтепродукта в слое грунта при очистке:

1 — по данным наблюдений; 2 — по расчетным данным

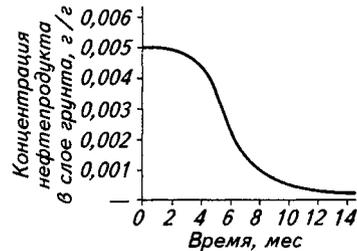


Рис. 7.13. Средняя концентрация нефтепродукта в слое грунта

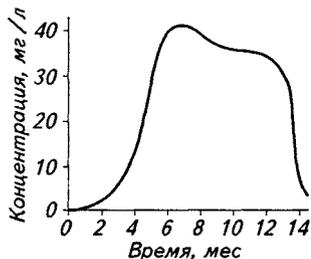


Рис. 7.14. Концентрация растворенного нефтепродукта, попадающего в подземные воды

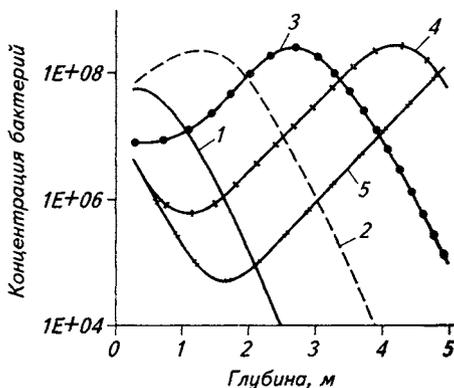


Рис. 7.15. Изменение концентрации нефтепродукта по профилю грунта в ходе очистки:

1 — через 3 мес; 2 — через 6 мес; 3 — через 9 мес; 4 — через 1 год; 5 — через 15 мес

пользования модели микробиологической очистки, в прогнозах изменения концентрации нефтепродуктов по профилю грунта и во времени.

Контрольные вопросы и задания

1. Что понимают под термином «загрязненные земли»? Назовите наиболее опасные виды загрязнений. 2. Как количественно оценивают химическое загрязнение почв? Что такое ПДК? 3. Что представляют собой природные барьеры? Охарактеризуйте их основные виды. 4. Какие элементы относят к тяжелым металлам? Как они попадают в компоненты природы и в чем их опасность? 5. Опишите основные пути рекультивации земель, загрязненных тяжелыми металлами. 6. Какими способами восстанавливают земли, загрязненные радионуклидами? 7. Охарактеризуйте современные способы очистки земель от нефтепродуктов.

Глава 8

ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

●

Государственная политика в сфере воспроизводства, использования и охраны природных ресурсов, охраны окружающей среды подразумевает постановку системы стратегических и тактических целей, которых достигают путем реализации средне- и долгосрочных программ, мер по гарантированному обеспечению экономики природными ресурсами и поддержанию благоприятной среды обитания для населения с учетом требований экологической безопасности и устойчивого развития.

Стратегические цели государственной политики в этой сфере: создание условий для повышения эффективности использования природных ресурсов;

обеспечение воспроизводства (восстановления) природных ресурсов;

повышение защищенности природной среды и обеспечения безопасности жизнедеятельности человека от негативных природных и антропогенных факторов.

Важная составляющая государственной политики — использование и охрана земель. Земли, находящиеся в пределах Российской Федерации, составляют земельный фонд страны. Согласно действующему законодательству и сложившейся практике государственственный учет земель в Российской Федерации проводят по категориям земель и угодьям.

Цель государственного учета земель — получение систематизированных сведений о количестве, качественном состоянии и правовом положении земель в границах территорий, необходимых для принятия управленческих решений, направленных на обеспечение рационального и эффективного использования земель.

Категория земель — это часть земельного фонда, выделяемая по основному целевому назначению и имеющая определенный правовой режим. Земли к категориям относят согласно действующему законодательству в соответствии с их целевым назначением и правовым режимом. В законодательстве предусмотрено 7 категорий земель: сельскохозяйственного назначения; поселений;

промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики; для обеспечения космической деятельности; обороны, безопасности и иного специального назначения; особо охраняемых территорий и объектов; лесного фонда; водного фонда; земли запаса.

Земельные угодья — это земли, систематически используемые или пригодные к использованию для конкретных хозяйственных целей и отличающиеся по природно-историческим признакам. Учитывают земли по угодьям в соответствии с их фактическим состоянием и использованием. Земельные угодья делят на сельскохозяйственные и несельскохозяйственные в соответствии с действующими нормами и правилами, принимаемыми на государственном и ведомственном уровнях.

Сельскохозяйственные угодья включают: пашню; залежь; кормовые угодья (сенокосы и пастбища); многолетние насаждения.

Несельскохозяйственные угодья подразделяются: на земли под поверхностными водными объектами, включая болота; лесные земли и земли под древесно-кустарниковой растительностью; земли застройки; земли под дорогами; нарушенные земли; прочие земли (овраги, пески, полигоны отходов, свалки, территории консервации и т. д.).

В соответствии с данными государственной статистической отчетности площадь земельного фонда РФ на 1 января 2011 г. составила 1709,8 млн га без учета внутренних морских вод и территориального моря, из них земли лесного фонда 1105,2 млн га или 64,7%; земли сельскохозяйственного назначения 403,2 млн га или 23,6%; земли особо охраняемых территорий и объектов 34,2 млн га или 2,0%; земли водного фонда 27,9 млн га или 1,6%; земли поселений 19,2 млн га или 1,1%; земли промышленности и иного специального назначения 16,7 млн га или 1,0%; земли запаса 103,4 млн га или 6%.

Основное условие обеспечения стабильного развития агропромышленного комплекса страны и важнейший источник расширения сельскохозяйственного производства — сохранение, воспроизводство и рациональное использование плодородия земель сельскохозяйственного назначения. Плодородие почвы во взаимодействии с другими природными факторами составляет основу производительной силы земли, влияющей на эффективность производства сельскохозяйственной продукции и ее себестоимость. Сохранение почвенного плодородия земель и его рациональное использование при хозяйственной деятельности имеет огромное значение. Почвенное плодородие, являясь естественным условием интенсификации земледелия, способствует росту урожайности и валовых сборов сельскохозяйственных культур, имеет важное природоохранное значение, увеличивая ценность земель сельскохозяйственного назначения не только как объектов производ-

ственной деятельности, но и как компонентов биосферы. Состояние почвенного плодородия напрямую связано с продовольственной безопасностью страны. Экстенсивное использование плодородия почв уже вызвало снижение валовых сборов основных сельскохозяйственных культур и усилило зависимость сельского хозяйства от погодных условий.

В результате анализа современного состояния природной среды и сельскохозяйственного производства, оценки динамики изменения качественных показателей земель отмечены сохранение тенденции снижения плодородия почв и ухудшение общей экологической обстановки в агропромышленном комплексе, что может привести к возникновению кризисной ситуации в сфере АПК. Продолжаются следующие негативные процессы:

дальнейшее сокращение общей площади сельскохозяйственных угодий;

уменьшение площади орошаемых и осушаемых земель, ухудшение их мелиоративного состояния и хозяйственного использования;

нарастание отрицательного баланса гумуса на пашне (до 1...3 т/га в год);

усиление процессов эрозии и опустынивания;

загрязнение почв тяжелыми металлами, радионуклидами;

увеличение площадей с сильноокислыми почвами, на которых ограничивается сельскохозяйственное производство;

интенсивное развитие заболачивания и подтопления земель, зарастание их древесно-кустарниковой растительностью, ухудшение естественных лугов и пастбищ.

Указанные негативные процессы приведут к резкому сокращению площади сельскохозяйственных угодий, к ухудшению водно-физических, физико-химических свойств почв и снижению их плодородия. В ближайшие 10...15 лет, особенно в нечерноземной зоне, плодородие почв может снизиться до естественного, а урожайность зерновых до 0,8...1 т/га. Экологическая устойчивость природных систем в результате развития указанных процессов значительно понизится.

Поэтому в основных направлениях агропродовольственной политики Правительства Российской Федерации на 2001...2010 гг. предусмотрено оказание государственной поддержки сельхозтоваропроизводителям при проведении единой технологической политики в области мелиорации земель и в выполнении агрохимических, противозерозионных, агролесомелиоративных, культуртехнических, организационно-хозяйственных мероприятий и других работ. В качестве первоочередных мер для преодоления спада производства в сельском хозяйстве намечается проведение комплекса агрохимических мероприятий и работ по строительству и

реконструкции оросительных и осушительных систем. Только при комплексном осуществлении всех этих мероприятий с учетом основных требований агроландшафтной системы земледелия и в увязке с землеустройством территории можно обеспечить максимальный эффект. Это является стратегическим направлением в агропродовольственной политике.

Система мероприятий представляет собой комплекс взаимосвязанных технических, организационных, технологических, хозяйственных и экологических мероприятий, направленных на эффективное использование земли и повышение плодородия почв. Эти мероприятия должны иметь финансовое, материально-техническое, научное, информационное и кадровое обеспечение. Комплекс мер воздействия на сохранение и воспроизводство плодородия включает:

- освоение современных систем земледелия и землеустройства;
- агрохимические мероприятия;
- агролесомелиоративные и фитомелиоративные мероприятия;
- гидромелиоративные и культуртехнические мероприятия.

Эффективное применение всех средств повышения плодородия почв возможно только при наличии в каждом хозяйстве научно обоснованной эколого-ландшафтной системы земледелия, соответствующей рекомендациям мировой и российской сельскохозяйственной науки. Такие системы являются надежным средством сохранения природных агроресурсов и обеспечения устойчивого земледелия. Они способствуют сохранению и воспроизводству почв, увеличению производства сельскохозяйственной продукции при сокращении затрат, улучшению экологической обстановки.

Важное звено — схемы и проекты землеустройства, позволяющие учитывать конкретные условия землепользования, его почвенно-климатические ресурсы, ландшафт используемых земель и на этой основе дифференцированно определять по каждому хозяйству комплекс взаимосвязанных сбалансированных мероприятий по использованию и охране земель, повышению плодородия почв, формированию экологически безопасных агроландшафтов. Проекты землеустройства предусматривают применение оптимального комплекса мероприятий с наиболее экономным и адаптированным к ландшафту расходом ресурсов. Необходимо вводить почвозащитные севообороты и технологии возделывания сельскохозяйственных культур на основе минимизации обработки почв, внедрять ее безотвальную обработку с учетом почвенно-климатических условий конкретных регионов, осваивать технологические приемы снижения отрицательного воздействия на почву технических средств, приводящего к уплотнению и разрушению структуры почв, и обеспечить применение всего комплекса агрохимических приемов.

Под современной системой земледелия понимают высокопродуктивное, устойчивое, экологически обоснованное и экономически эффективное производство высококачественной продукции растениеводства при рациональном использовании земли и воспроизводстве почвенного плодородия.

Современная система земледелия должна обеспечивать защиту почвы от водной эрозии и дефляции, успешное регулирование водного режима, экологическую безопасность и охрану окружающей среды (водоемов, лесов и др.) от загрязнения пестицидами и минеральными удобрениями, благоприятные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур, труда и жизни человека. Ее отличительная особенность — агроландшафтный подход к разработке и совершенствованию почвозащитных мероприятий. Это значит, что они должны быть хорошо адаптированы, т. е. увязаны с местным ландшафтом, отвечать требованиям экологической чистоты и создавать предпосылки для рационального использования земли и повышения почвенного плодородия, для получения высоких и устойчивых урожаев. Основопологающей становится задача формирования адаптивно-ландшафтного земледелия, тесно увязанного с ландшафтной экологией в конкретных почвенно-климатических условиях.

Адаптивно-ландшафтная система земледелия — это система использования земли, направленная на производство продукции с учетом экономических и материальных ресурсов и обеспечивающая устойчивость агрогеосистемы и воспроизводства повышенного плодородия.

По отношению к агроландшафту, как к антропогенно обусловленной геосистеме, адаптивно-ландшафтные системы земледелия должны решать четыре основные группы задач:

сохранение экологической стабильности агрогеосистемы;

адекватная количественная и качественная компенсация отчуждаемых вещественно-энергетических и информационных потоков;

максимальное сохранение естественных механизмов функционирования и саморегулирования;

обеспечение экономической и энергетической эффективности эксплуатации агрогеосистемы.

Проведение комплекса агротехнических, агрохимических, гидромелиоративных, фитосанитарных, противозерозионных и культуртехнических мероприятий требует объективной и постоянно обновляемой информации о состоянии почвенного плодородия. Для оценки состояния и динамики агрохимических характеристик сельскохозяйственных угодий (пашни, многолетних насаждений, кормовых угодий, залежи) предусматривается проведение систематического крупномасштабного агрохимического обследования

земель сельскохозяйственного назначения, которое является частью общего мониторинга состояния этих земель.

Основные задачи мониторинга состояния земель следующие:
своевременное выявление изменений состояния плодородия сельскохозяйственных угодий;

оценка, прогноз и разработка рекомендаций по эффективному использованию земель сельскохозяйственного назначения, предупреждению и устранению последствий негативных процессов;

информационное обеспечение земельного кадастра и государственного контроля почвенного плодородия и охраны земель.

Охрана земель включает систему правовых, организационных, экономических, экологических и других мероприятий, направленных на предотвращение деградации, загрязнения, захламления, нарушения земель, других негативных (вредных) воздействий хозяйственной деятельности; обеспечение улучшения и восстановления земель, подвергшихся деградации, загрязнению, захламлению, нарушению, другим негативным (вредным) воздействиям хозяйственной деятельности.

В целях охраны земель собственники земельных участков, землепользователи, землевладельцы и арендаторы земельных участков обязаны проводить мероприятия:

по сохранению почв и их плодородия;

защите земель от водной и ветровой эрозии, селей, подтопления, заболачивания, вторичного засоления, иссушения, уплотнения, загрязнения радиоактивными и химическими веществами, захламления отходами производства и потребления, загрязнения, в том числе биогенного загрязнения, и других негативных (вредных) воздействий, в результате которых происходит деградация земель;

защите сельскохозяйственных угодий и других земель от заражения бактериально-паразитическими и карантинными вредителями и болезнями растений, зарастания сорными растениями, кустарниками и мелколесьем, иных видов ухудшения состояния земель;

ликвидации последствий загрязнения, в том числе биогенного загрязнения, и захламления земель;

сохранению достигнутого уровня мелиорации;

рекультивации нарушенных земель, восстановлению плодородия почв, своевременному вовлечению земель в оборот;

сохранению плодородия почв и их использованию при проведении работ, связанных с нарушением земель.

Особое значение приобретает охрана земель в условиях трансформации природных ландшафтов в природно-техногенные, что является результатом усиливающегося антропогенного воздействия на окружающую среду.

Рекомендации по использованию загрязненных земель сельскохозяйственного назначения приведены в таблице 8.1.

8.1. Гигиеническая оценка почв сельскохозяйственного назначения и рекомендации по их использованию (СанПиН 2.1.7.1287—03)

Категория загрязненности почв	Характеристика загрязненности почв	Возможное использование территории	Рекомендации по оздоровлению почв
1 (допустимая)	Содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но не больше ПДК	Использование под любые культуры	Снижение воздействия источников загрязнения почвы. Осуществление мероприятий по снижению доступности токсикантов для растений (известкование, внесение органических удобрений и т. п.)
2 (умеренно опасная)	Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и миграционном воздушном показателях вредности, но меньше допустимого уровня по транслокационному показателю	Использование под любые культуры при условии контроля качества сельскохозяйственных растений	Мероприятия, аналогичные категории 1. При наличии веществ с лимитирующим миграционным водным или миграционным воздушным показателями проводится контроль за содержанием этих веществ в зоне дыхания сельскохозяйственных рабочих и в воде местных водоисточников
3 (опасная)	Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности	Использование под технические культуры; использование под сельскохозяйственные культуры ограничено с учетом растений-концентраторов	Кроме мероприятий, указанных для категории 1, обязательный контроль за содержанием токсикантов в растениях (продуктах питания и кормах). При необходимости выращивания растений (продуктов питания) рекомендуется их перемешивание с продуктами, выращенными на чистой почве. Ограничение использования зеленой массы на корм скоту с учетом растений-концентраторов
4 (чрезвычайно)	Содержание химических веществ	Использование под технические	Мероприятия по снижению уровня загрязнения и

Продолжение

Категория загрязненности почв	Характеристика загрязненности почв	Возможное использование территории	Рекомендации по оздоровлению почв
опасная)	превышает ПДК в почве по всем показателям вредности	культуры или исключение из сельскохозяйственного использования. Лесозащитные полосы	связыванию токсикантов в почве. Контроль за содержанием токсикантов в зоне дыхания сельскохозяйственных рабочих и в воде местных водоемчиков

Огромное антропогенное воздействие испытывают на себе земли поселений, особенно земли урбанизированных (городских) территорий. Урбанизация привела к нарушению естественных связей между компонентами природы, заменила природный режим функционированием геосистем на искусственно обусловленный. На этих территориях формируются специфические типы почв или почвоподобные тела (урбаноземы). Урбаноземы характеризуются отсутствием генетических почвенных горизонтов (А + В). В профиле почвы встречаются отходы бытового и промышленного происхождения, искусственные слои как результат землевания или благоустройства и озеленения.

Урбанизация всегда сопряжена с деятельностью и со строительством промышленных и гражданских объектов.

Для защиты городских земель от техногенных воздействий вокруг промышленных объектов устанавливают санитарно-защитные зоны (СЗЗ), ширину которых определяют по загрязнению атмосферного воздуха, по шуму, по электромагнитным полям, показателям воздействия на ландшафт и др. Санитарно-защитные зоны благоустраивают и озеленяют. Защитное озеленение из древесно-кустарниковой растительности должно занимать площадь для СЗЗ шириной: до 300 м — не менее 60 %; 300...1000 м — не менее 50 %; 1000...3000 м — не менее 40 %. Благоустройство и озеленение СЗЗ предусматривает максимальное сохранение существующих зеленых насаждений, ширина полосы древесно-кустарниковой растительности со стороны жилой застройки должна быть не менее 50 м, а при увеличении СЗЗ, например до 100 м, — не менее 20 м.

Строительство объектов на урбанизированных территориях почти всегда связано с земляными работами. Состояние разрабатываемых урбаноземов и грунтов оценивают по методике, изложенной в разделе 7.1, а направления их дальнейшего использования согласно рекомендаций по использованию почв в зависимости от степени их загрязнения (СанПиН 2.1.7.1287—03).

<i>Категории загрязнения почв</i>	<i>Рекомендации по использованию почв</i>
Чистая	Использование без ограничений
Допустимая	Использование без ограничений, исключая объекты повышенного риска
Умеренно опасная	Использование в ходе строительных работ под отсыпки котлованов и выемок, на участках озеленения с подсыпкой слоя чистого грунта не менее 0,2 м
Опасная	Ограниченное использование под отсыпки выемок и котлованов с перекрытием слоем чистого грунта не менее 0,5 м При наличии эпидемиологической опасности — использование после проведения дезинфекции (дезинвазии) по предписанию органов госсанэпидслужбы с последующим лабораторным контролем
Чрезвычайно опасная	Вывоз и утилизация на специализированных полигонах. При наличии эпидемиологической опасности — использование после проведения дезинфекции (дезинвазии) по предписанию органов госсанэпидслужбы с последующим лабораторным контролем

Уникальное решение по использованию разработанных грунтов (пород) для рекультивации городских земель было принято в Москве при строительстве Лефортовских тоннелей. Тоннели строили открытым способом и закрытым с помощью тоннелепроходческого комплекса фирмы «Херренкнехт» — это небольшое энергоемкое предприятие по строительству тоннелей закрытым (подземным) способом. Предприятие включает проходческий штит и комплекс технологически связанных с ним наземных сооружений. Вся разработанная порода, обогащенная бентонитом, по пульпопроводам направляется на сепарационную установку, где бентонит отделяется, а спрессованная порода от проходки вывозится с территории предприятия к месту складирования.

Для выбора направления использования породы от строительства тоннелей были рассмотрены варианты вывоза ее на полигон ТБО и использования грунтов для благоустройства Братеевской набережной. В качестве основного рекомендован вариант благоустройства Братеевской набережной.

Объект благоустройства включает русловую часть р. Москвы от пос. Рублево до створа устья в 300 метрах выше Братеевского моста и прибрежную зону вдоль правобережья реки шириной 300 м.

Территория благоустройства, имеющая общую площадь 17,4 га, — часть природного комплекса г. Москвы № 127 «Прибрежная зона реки Москвы от Курского направления Московской железной дороги до Братеевского моста». В соответствии с Генеральным планом развития Москвы на период до 2020 г. данный объект должен быть частью непрерывного экологического коридора, протянувшегося от Нагатинской поймы через Коломенское к Братеевской пойме и далее за МКАД. Поэтому здесь на ранее нарушенных (разрушенных) землях предусмотрены рекультивационные работы, благоустройство и новое озеленение для создания техноприродного комплекса, обеспечивающего средозащитные и природоохранные функции.

Большая часть рассматриваемой территории на начало строительства была занята водной поверхностью и нарушенными землями, лишенными раститель-

ного покрова. На отдельных участках произрастала сильно разреженная пионерная растительность из сорного разнотравья, поросли мелколиственных деревьев и садово-древесной растительности. На небольшом участке ближе к Братеевскому мосту сформировался 50-летний пойменный лес, состоящий из серой и черной ольхи.

Водная поверхность объекта представляет собой искусственный залив реки Москвы, образовавшийся в 1980 г. в результате разработки и вывоза песчаного грунта в строящийся район Марьино. Площадь акватории, подлежащей засыпке, составляла 12 га, а вся площадь под складирование грунта — 16 га.

В геоморфологическом отношении данный участок представляет собой сочетание крутого склона долины и пониженной прирусловой части поймы, характеризующийся стабильным состоянием глубоких оползней.

В геологическом строении территории принимают участие техногенные образования, современные и верхнечетвертичные аллювиальные отложения, верхнеюрские отложения.

Техногенные образования, включая урбаноземы, мощностью от 1 м до 2 м отмечены в береговой зоне. Залегают они непосредственно с поверхности и представлены слежавшимися влажными суглинками, супесями, песком со строительным мусором, щебнем кирпича и бетона.

Техногенные грунты подстилаются верхнечетвертичными песками, суглинками и супесями. Суглинки мощностью от 2,3 до 6,1 м имеют мягкопластичную и полутвердую консистенцию, темно-серый, черный и светло-коричневый цвет, местами иловатые и заторфованные. Вскрытая супесь также является иловатой или оторфованной, имеет черный и темно-серый цвет, в зависимости от положения в разрезе — пластичную или текучую консистенцию. Песок темно-серый и серовато-коричневый, мелкий и средней крупности, с прослоями и гнездами супесей, насыщенный водой.

Современные аллювиальные отложения (alQIV) представлены илами, распространёнными в пределах акватории р. Москвы на площадке проектируемых сооружений повсеместно. Мощность колеблется от 0,7 до 5,6 м. Объем ила по оценочным подсчетам составляет 350 тыс. м³. Ил имеет текучую консистенцию, обладает низкими прочностными характеристиками, что вызывает опасность их выдавливания при отсыпке на них грунта слоем более 2 м, кроме того, они сильно загрязнены нефтепродуктами и другими химическими веществами.

Ниже залегают верхнечетвертичные аллювиальные песчаные отложения (alQIII). С абсолютных отметок 103...105 м четвертичные отложения подстилаются верхнеюрскими глинистыми образованиями (J₃) вскрытой мощностью до 11,4 м. Черные слюистые глины имеют твердую и полутвердую консистенцию. В гидрогеологическом отношении юрские глины являются водоупором уровня грунтовых вод.

Грунтовые воды, поступающие с прилегающей территории, формируются за счет инфильтрации атмосферных осадков и утечек из городских инженерных коммуникаций. Выход грунтовых вод в период интенсивного водного питания отмечен в основании склона надпойменной террасы, а прирусловый выход хорошо сопряжен с водной поверхностью залива.

Стоковый режим р. Москвы на этом участке определяется работой Перервинского гидроузла и боковой приточностью с Курьяновской станции аэрации (СА). Изменение стока под влиянием урбанизации водосборной площади связано с изменением водного баланса вследствие застройки, асфальтирования поверхности, создания коллекторной водосточной сети.

С учетом сточных вод, поступающих с Курьяновской СА, средний годовой расход воды р. Москвы в районе строительства составляет 102 м³/с, среднегодовая мутность реки Москвы изменяется от 60 до 100 г/м³ (мг/л), достигая в период паводка максимального значения (250...500 г/м³). В меженный период мутность

воды небольшая и составляет 10...20 г/м³. Нормальный уровень воды в течение летней навигации — 114,3 м, меженный зимой — 112,0 м.

Согласно принятому решению на рассматриваемой территории, включающей около 70 % водной поверхности и подверженной эрозии, необходимо было складировать грунт от Лефортовских тоннелей в объеме 1,251 тыс. м³, сформировать парковую зону, сохранить участок пойменного леса (ольхи) и при этом не допустить загрязнения воды в реке Москве.

Непосредственное складирование такого объема грунта на прирусловую часть и в русло реки сопряжено с большими экологическими проблемами — взмучивание донных отложений, образование огромного шлейфа взвеси по течению реки от донных отложений и привозных грунтов. Дно бывшего карьера к началу строительства парка было сложено мощными иловыми отложениями, содержащими ртуть, мышьяк и нефтепродукты. Содержание ртути в донных отложениях достигало 10 ПДК, суммарный показатель загрязнения в верхнем слое составлял $Z = 46$, а в нижнем — $Z = 22$. Поэтому для реализации плана была разработана безопасная для водного объекта технология создания грунтового основания под проектируемый парк. Основной элемент этой технологии — оградительная дамба длиной 799,5 м на месте отработанного прируслового песчаного карьера. Основная ее задача — это создание устойчивой береговой линии парка и выполнение роли фильтрующего очистного сооружения как при засыпке грунта в замкнутую акваторию, так и в дальнейшем для очистки техноприродных грунтовых вод, поступающих с водосбора. Дамба представляет собой двухрядную шпунтовую перемычку шириной 10 м, засыпанную песком. В целях исключения гидростатического давления и обеспечения естественной фильтрации между руслом реки и замкнутой акваторией устраивают шпунтовые ряды с шагом 4 м. В каждой из таких шпунтин в зоне колебания уровней воды выполняют дренажные отверстия.

Грунты, поступающие на проектную территорию от тоннеле-проходческого комплекса, по своему составу разнородны, содержат остаточное количество бентонита и обводнены, поэтому их складирование в акватории в короткие сроки слоем 6...15 м представляет большую технологическую сложность.

Для выбора технологии складирования грунта было рассмотрено несколько вариантов, в том числе выгрузка грунта из самосвалов сплошным фронтом от береговой линии с последующей надвижкой бульдозером, с барж и понтонов. На основе технико-экономического и экологического сравнения вариантов была принята следующая технология:

всю акваторию делят технологическими грунтовыми дамбами на три замкнутых сектора; захоронение загрязненных илов привозным грунтом проводят постепенно по секторам с надвижкой бульдозером и экскаватором с обратной лопатой для подачи грунта в глубь сектора; одновременно с засыпкой сектора загрязненную воду перекачивают в соседний сектор для осаждения взвесей; с внутренней стороны оградительной дамбы устраивают пристенный дренаж и выполняют песчаную засыпку до технологической дамбы замкнутого сектора.

Последнее мероприятие создает буферную зону шириной около 25 м между рекой и ближайшей границей отсыпки грунта. Такая зона обеспечивает устойчивость оградительной дамбы, сохраняет функционирование дренажных отверстий и предотвращает залповые выбросы загрязняющих веществ из замкнутой акватории в реку.

Вся территория строительства организована таким образом, что поступающий загрязненный поверхностный сток аккумулируется в замкнутой акватории, весь транспорт проходит мойку с оборотным водоснабжением, стоки со стоянки техники и бытовые с территории городка собирают и по водоотводным лоткам направляют на локальные очистные сооружения. Отходы биотуалетов вывозят на утилизацию городская коммунальная служба. Строительные работы по сооружению оградительной дамбы прекращают на 2 мес для охраны нерестующей рыбы, которую отлавливают из замкнутой акватории и выпускают в реку.

Для оценки изменения состояния окружающей среды ландшафтного парка проводили инженерно-экологические изыскания и был организован мониторинг всех природных компонентов.

Источники загрязнения окружающей среды участка строительства Братеевской набережной — строительная и транспортная техника, круглосуточная работа которой представляет собой достаточно мощный источник поступления в окружающую среду диоксида серы, оксидов азота, пыли, углеводородов и других загрязнителей: CO — 1,2 т; CH — 0,182; NO_x — 0,4; SO₂ — 0,1; C — 0,07 т. Основные источники загрязнения окружающей среды — грунты, привозимые от Лефортовских тоннелей, санитарно-экологическая характеристика которых приведена в таблице 8.2. К указанным источникам загрязнения территории строительства добавляют общегородской фон, характерный для каждого района крупного мегаполиса.

Валовые содержания тяжелых металлов в грунтах из Лефортовских тоннелей варьируют от фоновых уровней до превышения ПДК (ОДК) в отдельных пробах (по свинцу, меди и цинку), по подвижным формам отмечены превышения для свинца, меди, цинка, никеля и марганца.

8.2. Изменения химического состава урбаноэма в прибрежной зоне территории строительства и привозных грунтов из Лефортово

Показатель	Валовое содержание, мг/кг			Подвижные формы, мг/кг	
	урбаноэма	грунт, отсыпанный в основании парка	грунт в теле Лефортовских тоннелей	урбаноэма	грунт
рН	5,98...6,3	5,84...7,12	Не определено	Не определено	Не определено
Свинец	35,9...168,8	19,4...359,4	4,8...571	»	36,2...154
Кадмий	0,72...1,23	0,25...1,91	0,1...0,19	»	Не определено
Медь	18,9...69,2	6,4...351	2,09...134	1,7...15	9,3...91,3
Цинк	17,8...72,3	10...253,9	35...701	9,2...22,1	16,2...98
Никель	12,7...49,3	6,9...67,9	9,67...39,1	3...17,4	6,2...26,5
Марганец	136,5...330	70,6...927,4	363...12775	Не определено	49...485
Ртуть	0,032...0,10	0,038...1,163	0,3...29,1	»	Не определено
Хром	2,6...3,5	2,4...36,2	17,9...685	»	»
Нефтепродукты	120...255	150...1240	Не определено	»	»
СПЗ	7...13	4,4...28	4...12	»	»
Полиакриламид аммония	Не определено	0,07...12,4	Не определено	»	»

В ходе мониторинга компонентов окружающей среды складываемый грунт рассматривали как источник загрязнения, оградительную дамбу как искусственный геохимический барьер, а реку Москва как объект, который воспринимал антропогенные воздействия.

Мониторинг урбанозема и грунтов проводили в 2002 г. На площадке, выбранной для постоянного наблюдения, было выполнено два цикла опробования, в котором изучали валовые и подвижные формы металлов, радиационные и микробиологические показатели, определенные санитарно-экологическим контролем в г. Москве. Результаты анализа проб урбанозема на площадке мониторинга территории показали присутствие повышенных концентраций тяжелых металлов 1-го и 2-го класса опасности и органических соединений [нефтепродуктов и бенз(а)пирена] в верхнем горизонте. Содержание валовых форм свинца, кадмия, меди, никеля и ртути превышало фоновые значения в среднем в 1,5...6 раз. Наиболее высокие концентрации наблюдали для ртути, кадмия и свинца. Концентрации остальных микроэлементов были близки к фоновым значениям. По суммарному показателю загрязнения (СПЗ) почвы всех отобранных проб характеризовались допустимой категорией загрязнения (СПЗ варьировало от 6,9 до 13,2, составляя в среднем 9,8). Содержания подвижных форм цинка, меди, никеля в этих же пробах изменялось от ПДК до 5 ПДК для меди и до 4,3 ПДК для никеля. Органические загрязнители почвенного покрова, представленные нефтепродуктами, превышали фон (50 мг/кг) в 2,4...5,1 раза.

До начала строительства в 2001 г. уровни концентрации химических элементов на этой площадке в урбаноземах соответствовали фоновым значениям. СПЗ урбаноземов соответствовало допустимому загрязнению (табл. 8.3).

Мониторинг р. Москвы включал наблюдения за гидрологическим и гидрохимическим режимом, за загрязнением, за гидробиологическими показателями, включая водную растительность и ихтиофауну.

С целью оценки техногенного воздействия строительства Братеевской набережной створы мониторинга были выбраны на западной (1-й створ реки) и восточной границе (3-й створ реки). Для более детального исследования в октябре, ноябре и декабре 2002 г. был опробован дополнительно 2-й створ реки, расположенный на середине оградительной дамбы.

Донные отложения — один из показателей загрязнения водных систем, изучение химического состава которых позволяет оценить степень техногенной нагрузки на водоток и выделить техногенные потоки загрязнения. В водной системе р. Москвы донные отложения преимущественно представлены техногенными илами, в со-

стае которых по мере строительства Братеевской набережной стали появляться примеси песчанистого и глинистого материала, что обусловлено устройством подъездных дорог, строительством двух шпунтовых рядов оградительной дамбы, засыпкой песком пространства между шпунтовыми рядами, созданием буферной зоны, т. е. строительными работами подготовительного периода. В результате мониторинга донных отложений в двух створах участка строительства установлен качественный состав донных отложений и уровень их загрязнения тяжелыми металлами и органическими соединениями (см. табл. 8.3).

Донные отложения характеризуются преимущественно сильным загрязнением в течение всего периода мониторинга (СПЗ = 30...100). Можно отметить (см. табл. 8.2) достаточное сходство в составе донных отложений до строительства Братеевского парка и в период проведения мониторинга. Концентрации химических элементов, входящих в состав загрязнителей донных отложений, варьируют от фоновых значений до 10-кратного превышения фона, а в отдельных пробах превышают ПДК (ОДК) для

8.3. Изменения химического состава донных отложений за период наблюдения (2001 г. — числитель, 2002 г. — знаменатель)

Показатель, мг/кг	Значение показателя в створе, т	
	1-м	3-м
Свинец	80,1/59,6...450	Не определено/811...283
Кадмий	3,75/0,38...1,7	» /0,08...1,12
Медь	283/25...474,6	» /58,7...396
Цинк	264,9/45...707	» /52,6...452
Никель	110,4/14,2...136,5	» /1,43...96,5
Кобальт	Не определено/0,91...5,6	» /1,43...12,3
Марганец	11283/285...4065,8	» /580...3062
Олово	Не определено/0,82...5,2	» /0,3...4,6
Хром	243,6/6,5...88,5	» /9...104,3
Мышьяк	1,96/<1...7,5	» /1...4,8
Ртуть	0,07/0,074...3,07	» /0,26...1,56
pH	Не определено/5,82...7,03	Не определено/5,7...6,75
СПЗ	46/25...93,5	» /25...100
Нефтепродукты, мг/л	82,7/116...1270	» /112...1850
СПАВ, мг/л	0,74/1,93...19,2	» /0,46...15,7
Формальдегид	1,1/Не определено	Не определено
Пестициды хлорорганические	Не определено/0,24	Не определено/0,1
Бенз(а)пирен	» /0,014	» /0,011

Примечание. Не определено рекомендуемыми нормативами, методами исследований.

почв. Одновременно с химическим загрязнением было изучено радиологическое и санитарно-бактериологическое состояние донных отложений. В целом значения показателей соответствуют нормативным требованиям, отдельные незначительные отклонения вызваны сезонной вариацией.

Мониторинг воды р. Москвы выявил значительную изменчивость содержания различных ее составляющих в зоне строительства. Выявлен широкий комплекс загрязнителей, содержание которых не соответствовало установленным нормам. В состав этого комплекса входит железо, марганец, БПК₅, аммонийный азот, нитриты, нефтепродукты, свинец, цинк, медь, хром трехвалентный, СПАВ. Группа элементов, концентрация никеля, мышьяка, кадмия, формальдегида (табл. 8.4) превышала нормативные значения лишь эпизодически. Наиболее значительные превышения ПДК установлены для меди (до 500 ПДК), цинка (до 25 ПДК), свинца (до 20 ПДК), марганца (до 30 ПДК), нитритов (до 21 ПДК), нефтепродуктов (до 140 ПДК), хрома трехвалентного (до 5 ПДК). Суммарное загрязнение поверхностных вод р. Москвы на участке строительства отражено в значении индекса загрязнения воды (ИЗВ), который рассчитывали по коэффициентам концентрации (по значению превышения ПДК) 10 основных загрязняющих веществ (железо, аммонийный азот, нитриты, нефтепродукты, свинец, цинк, медь, кадмий, хром, никель). Значение этого показателя за весь период наблюдения в нижнем створе было меньше, чем в верхнем. Снижение ИЗВ в 3-м створе, находящемся ниже по течению, обусловлено отсутствием загрязненного поверхностного стока с прилегающей территории.

Уровень загрязнения поверхностного стока характеризуют данные химического состава снежного покрова, мониторинг которого проводили в феврале 2002 г., в снеговой воде определяли макро- и микрокомпоненты, тяжелые металлы, органические соединения (нефтепродукты, фенолы), количество пыли, осажденной на снеговой покров. Среднее значение пылевой нагрузки на территорию Братеевской набережной в 1,8 раза выше городской в районе Строгинской поймы и в 6,8 раза пылевой нагрузки на снег для фоновых районов Московской области. В снеговой воде отмечено 10-кратное превышение городских фоновых концентраций по группе тяжелых металлов. Суммарное выпадение газообразных и растворимых соединений на снеговой покров в 2,8 раза выше по сравнению с другими участками города.

Таким образом, улучшение качества воды в реке в нижнем створе — результат примененной удачной технологии строительства и выполнения технических мероприятий, которые обеспечили перевод поверхностного стока во внутренний и его очистку с помощью созданного геохимического барьера (оградительной дамбы).

8.4. Изменения химического состава воды р. Москвы за период наблюдения 2001 г. (числитель) — 2002 г. (знаменатель)

Показатель	Значение показателя в створе	
	1-м	3-м
Запах, баллы	Не определено/2...5	Не определено/3...5
Цветность, град.	» /11...31	» /16...27
Взвешенные вещества, мг/л	11,6/19,6...186	15,7/39,7...174
pH	6,2/7,14...7,95	6,4/6,76...7,84
Растворенный O ₂	4,4/Не определено	4,2/1,4...3,4
БПК ₅ , мгO ₂ /л	2,56/4...5,2	2,49/2,6...4,6
ХПК, мгO ₂ /л	14,6/19,5...25	16/16,4...23
Железо, мг/л	1,24/0,05...0,27	1,02/0,05...0,5
Марганец, мг/л	0,5/0,007...0,075	0,51/0,005...0,26
Азот аммонийный, мг/л	0,34/Не обнаружено...0,37	0,29/Не обнаружено...2,46
Нитраты, мг/л	7,2/7,4...19	7,1/2,0...19
Нитриты, мг/л	0,024/1,7...3,6	0,025/Не обнаружено...2,0
Нефтепродукты, мг/л	0,91/0,09...7,1	0,68/0,03...1,26
Свинец, мг/л	0,07/0,076...0,12	0,07/0,0011...0,054
Цинк, мг/л	0,44/0,06...3,1	0,22/0,016...1,06
Никель, мг/л	0,01/0,002...0,057	0,02/0,002...0,038
Мышьяк, мг/л	0,011/0,003...0,15	0,011/0,0008...0,0096
Ртуть, мг/л	<0,0001/Не обнаружено	<0,0001/Не определено
Кобальт, мг/л	0,01/»	0,01/0,011...0,02
Кадмий, мг/л	0,0019/0,006...0,036	0,017/0,0001...0,0084
Медь, мг/л	1,9/0,02...0,83	1,7/0,01...0,76
Хром, мг/л	0,17/Не обнаружено	0,12/Не определено
СПАВ, мг/л	0,04/»	0,04/Не обнаружено...0,9
Формальдегид, мг/л	0,01/»	0,01/0,009...0,014

Примечание. Не определено (не обнаружено) — содержание вещества не определено рекомендуемыми нормативами, методами исследований.

Влияние строительства на состав и состояние гидробионтов, обитающих на этом отрезке реки Москвы, не установлено. По данным этих исследований, здесь встречается 14 видов рыб, относящихся к 3 семействам. Наиболее многочисленными среди них как до, так и после отсыпки грунтов были плотва, серебряный карась и окунь. Эти виды составляли 90...95 % в уловах, кроме того, присутствовали также укляя, лещ и густера. Морфологический анализ исследованных видов рыб выявил на рассматриваемом участке реки Москвы наличие отдельных особей различных видов рыб, имеющих нарушения во внешней морфологии и в строении внутренних органов (печени, гонад). Число этих особей не зависело от времени лова как до, так и после засыпки акватории и со-

ставляло около 15 % во всех уловах. Таким образом, засыпка прируслового карьера не повлияла на состав и состояние ихтиофауны.

Выполненные мониторинговые исследования окружающей среды на территории Братеевской набережной, проведенные с февраля 2002 г. по январь 2003 г., позволили установить экологическую эффективность принятых технических решений, реализованных в ходе строительства грунтового основания для ландшафтного парка. Заключительным этапом данного строительства было создание ландшафтной поверхности с элементами благоустройства и озеленения для отдыха москвичей. Его территория, гармонично вписывающаяся в существующий ландшафт, представляет холмистую поверхность с пешеходными дорожками и зелеными насаждениями общей площадью 13,55 га. Кроме того, парк включает водоем для аккумуляции дренажных и поверхностных вод (0,7 га), обустроенную под укрепленный берег оградительную дамбу, выполняющую роль фильтрующего очистного сооружения (0,08 га), сохраненный ольшаник как элемент природного биотопа (1,08 га), современные малые архитектурные формы и цветники.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы цели государственной политики в области охраны земель? 2. Раскройте понятие «адаптивно-ландшафтная система земледелия». 3. Какие обязанности по охране земель накладываются на их владельцев и арендаторов?

Глава 9

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ И РЕКУЛЬТИВИРУЕМЫХ ЗЕМЛЯХ



Ежегодно в России происходит множество местных и территориальных чрезвычайных ситуаций (ЧС), которые угрожают жизни, здоровью человека и животных, сельскохозяйственным растениям, ухудшают качество почв, поверхностных и грунтовых вод, атмосферного воздуха. ЧС возникают на промышленных предприятиях, при добыче, транспортировке, хранении и переработке углеводородов и различных природных ископаемых, на транспорте, в сельском хозяйстве, на очистных сооружениях, инженерно-экологических и инженерно-мелиоративных системах. Негативное воздействие на окружающую среду ухудшает экологическую обстановку в ряде регионов России. К таким регионам традиционно относят крупнейшие городские агломерации — Московскую и Санкт-Петербургскую, промышленные центры Центральной России, промышленные и горнодобывающие центры Крайнего Севера, юга Сибири и Дальнего Востока, Среднее Поволжье, Северный Прикаспий, Средний и Южный Урал, Кузбасс.

Анализ качества поверхностных вод на территории Российской Федерации показывает превышение нормативного содержания нефтепродуктов, фенолов, легкоокисляемых органических соединений, соединений тяжелых металлов, азота, а также специфических загрязняющих веществ (лигнина, ксантогенатов, формальдегида и пр.).

Ежегодно в поверхностные водные объекты сбрасывают более 50 км³ сточных вод. Основные загрязнители — предприятия жилищно-коммунального хозяйства (62 % объема сброса загрязненных сточных вод в России) и промышленности (31 %).

Для уменьшения негативных последствий ЧС необходимо принятие законодательных, организационных, финансовых и технологических мероприятий. Вместе с этим необходимы надежные, адекватные, отражающие современный уровень науки, средства прогнозирования возможных последствий различных ЧС.

Чрезвычайные ситуации возможны и на мелиорируемых и ре-

культивируемых землях, но не всякие неполадки в работе технологических элементов чрезвычайные.

В соответствии с Федеральным законом «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» принята следующая классификация ЧС: локальные местные; территориальные; региональные; федеральные; трансграничные.

Они отличаются числом людей, пострадавших в этих ситуациях или у которых нарушены условия жизнедеятельности, от размера материального ущерба, а также от площади зоны распространения поражающих факторов. Так, к федеральной относят ЧС, в результате которой пострадало более 500 чел. или нарушены условия жизнедеятельности для 1000 чел. и более, либо материальный ущерб составляет более 5 млн минимальных размеров оплаты труда на день возникновения ЧС и ее зона выходит за пределы двух субъектов Российской Федерации. Ущерб от ЧС других уровней пропорционально уменьшают и он оговорен законом. В нем же обозначены силы и средства, привлекаемые к ликвидации ЧС.

Часто мелиорируемые и рекультивируемые земли занимают большие площади, оборудованы сложными инженерными сооружениями (ограждающими, подпорными, регулируемыми, отводящими, насыщенными средствами автоматизации и контроля), имеют большое значение для экономики и, что особенно важно, для поддержания экологического благополучия земель, рек, водоемов, являющихся главными или резервными источниками водоснабжения. Из-за кризисных явлений в экономике страны многие гидротехнические и мелиоративные сооружения опасно изношены, поэтому возникновение ЧС многократно увеличивается.

Следует отметить, что возникновение ЧС заложено в самом проектировании, так как гидромелиоративные сооружения имеют нормативную надежность, зависящую от обеспеченности (вероятности превышения) природных нагрузок (сильных паводков, чрезмерной засушливости года), требующих больших объемов подачи воды на орошение, очень дождливых периодов, приводящих к переполнению сбросных трактов, переливу через ограждающие дамбы и затоплению земель с урожаем, разрушению дорог и мостов, нарушению других коммуникаций. Вероятность подобных явлений велика, так как обеспеченность природной нагрузки в проектах часто принимается равной 10 %, т. е. около одного раза в 10 лет на гидромелиоративных оросительных и осушительных системах возможны ЧС. По-видимому, эти нормы должны быть пересмотрены с более детальным и более строгим подсчетом ущерба и затрат на их ликвидацию.

В то же время не все неполадки на мелиоративных системах следует относить к чрезвычайным. Например, выход из строя

дождевальной машины или насоса у нерадивого собственника только лишь уменьшает его доходы, но зато это благоприятно сказывается на экологической ситуации (экономия воды в реке из-за пропуска очередного полива, сохранение плодородия почвы и т. п.). Однако крупные аварии на таких системах оказывают негативное влияние на жизни многих людей и экономику регионов. Особенно опасны не очень заметные повреждения (разрушения противофильтрационных одежд каналов, нарушение контроля за качеством поливных вод, особенно при подмешивании к пресным водам солоноватых или сточных вод в удобрительных целях и т. п.).

ЧС на эколого-мелиоративной системе для очистки земель от тяжелых металлов. Загрязнение тяжелыми металлами земель приусадебных участков в г. Новокуйбышевске (Самарская обл.) было рассмотрено в разделе 7.5. В этом небольшом городе на левом берегу Волги сосредоточены вредные предприятия: крупный нефтеперерабатывающий завод, нефтехимический комбинат, завод синтетического спирта, две большие ТЭЦ и др.

Путем математического моделирования были исследованы различные варианты очистки, и выбран вариант мероприятий, обеспечивающий очистку прилегающих земель. Для этого потребовалось уменьшить выбросы на предприятиях примерно в 5 раз, внести в почву на приусадебных участках сорбент и организовать профилактические промывки на фоне специально построенной инженерно-экологической системы, оборудованной системой откачивающих скважин.

Это штатные мероприятия, позволяющие в нормальном режиме функционирования предприятия в приемлемые сроки очистить территорию и ликвидировать угрозу населению.

В случае, если на предприятии кратковременно (например, сроком на 1 мес) выйдут из строя очистные сооружения (фильтры) и содержание тяжелых металлов в атмосферных выбросах возрастет в 100 раз (рис. 9.1), то, как показывают результаты моделирования, это вызовет существенное дополнительное загрязнение почв, содержание свинца и кадмия в данном примере в 2 раза превысит допустимое и будет отмечаться несколько лет.

Для ликвидации этого помимо с уже рассмотренными потребуются дополнительные мероприятия (увеличение дозы сорбентов, усиление промывного режима, временное ограничение на использование сельскохозяйственной продукции с приусадебных участков, организация чрезвычайного мониторинга, оповещение населения и т. п.).

ЧС на мелиоративных системах. Низкая проектная надежность мелиоративных систем (МС), назначаемая исходя из условий уменьшения затрат в сравнении с ущербом от недополучения уро-

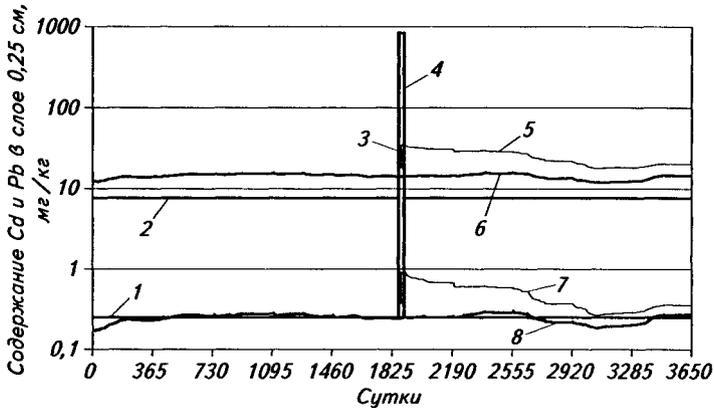


Рис. 9.1. Чрезвычайная ситуация (рост загрязнения почвы свинцом и кадмием при увеличении выбросов в атмосферу) при выходе из строя фильтров в течение месяца:

1 — выбросы кадмия штатно 0,28 кг/га; 2 — то же свинца 8 кг/га; 3 — выбросы кадмия при ЧС 28 кг/га; 4 — то же свинца 800 кг/га; 5 — содержание свинца в почве после ЧС; 6 — то же штатно; 7 — содержание кадмия в почве после ЧС; 8 — то же штатно

жая в экстремальные (сухие или влажные) годы, обычно составляющая 10...15 %, как будто уменьшает необходимость изучения ЧС на них. Однако это неверно, если рассматривать не только влияние ЧС на урожай, но и работы МС на экологическое состояние почв, их плодородие, возможное загрязнение подземных и поверхностных вод.

Например, полив кормовых культур подготовленными животноводческими стоками — самый экологически совершенный способ. Московский государственный университет природообустройства имеет программы для обоснования экологически безвредного режима полива, степени разбавления стоков. Возможная опасная ЧС заключается в аварии на узле смешения стоков с пресной водой. Увеличение концентрации стоков в поливной воде вызывает опасную «перекормку» почв азотом и сильное загрязнение подземных, а затем и поверхностных вод (рис. 9.2 и 9.3).

Промывка почвы при орошении пресной водой, проведенная в целях ликвидации последствия ЧС, большого эффекта не дала, но возникает проблема, а куда девать стоки в течение этих двух лет? Поэтому, чтобы не останавливать технологический процесс на животноводческой ферме, необходимо предусмотреть резервные площади орошения.

Еще одна возможная ЧС на оросительной системе — разрушение противофильтрационных одежд на крупных каналах, приво-

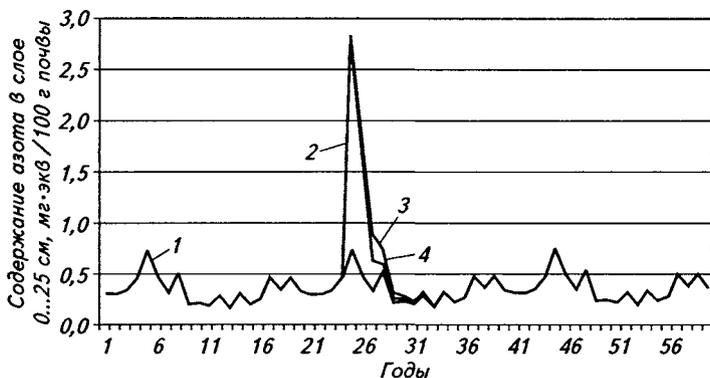


Рис. 9.2. Динамика запасов азота в почве при росте его концентрации в поливной воде в 5 раз (ЧС), затем ее восстановления и 2 года промывки почвы пресной водой:

1 — содержание азота в почве штатно; 2 — то же при росте концентрации (ЧС); 3 — то же после восстановления концентрации; 4 — то же после промывки почвы пресной водой

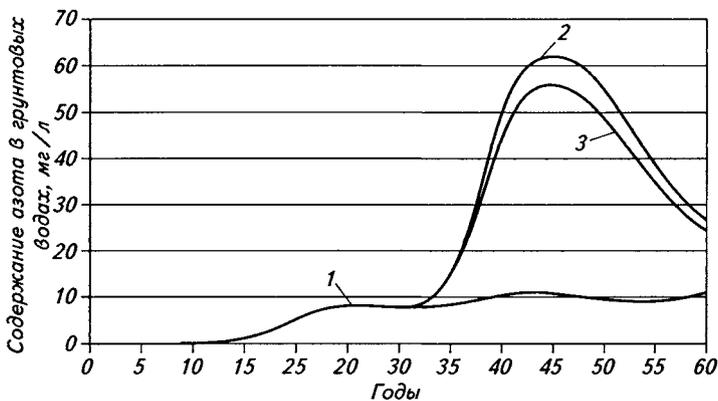


Рис. 9.3. Содержание азота в грунтовых водах после ЧС и двухлетней промывки почвы пресной водой:

1 — содержание азота в грунтовых водах штатно; 2 — то же после ЧС; 3 — то же после промывки пресной водой

дальше к временному увеличению фильтрационного питания, подъему уровня грунтовых вод, сильному засолению почв и резкому снижению урожайности (рис. 9.4).

ЧС может возникнуть при аварийной подаче соленых поливных вод в оросительную систему, как это было в Одесской облас-

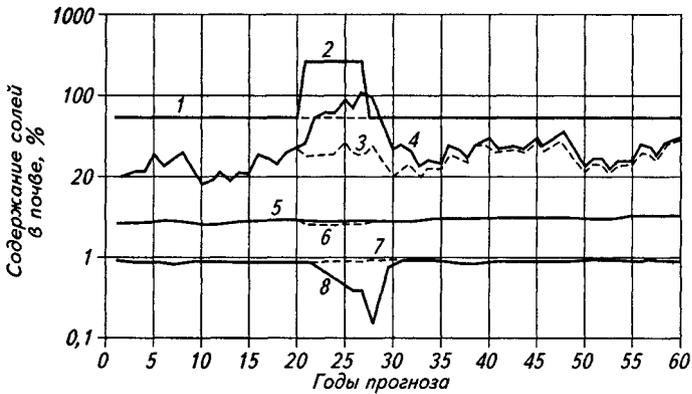


Рис. 9.4. Влияние разрушения противofiltrационной одежды каналов в 21...27 гг. на глубины грунтовых вод, засоление почвы и урожайность:

1 — фильтрационные потери 55 мм за сезон; 2 — то же при разрушении одежды (ЧС) 275 мм за сезон; 3 — засоление почвы штатно, %; 4 — то же при разрушении одежды, %; 5 — глубина грунтовых вод штатно, м; 6 — то же при разрушении одежды, м; 7 — относительная урожайность штатно; 8 — то же при разрушении одежды

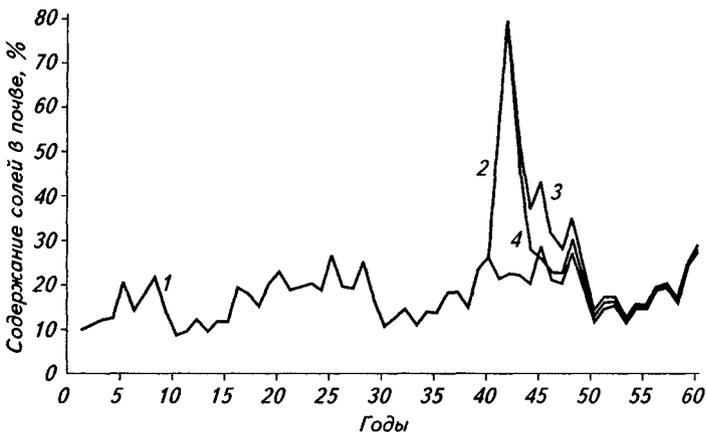


Рис. 9.5. Влияние скачка концентрации солей в поливной воде (ЧС) и последующей промывки пресной водой на содержание солей в почве:

1 — засоление почвы штатно при минерализации оросительной воды 1,5 г/л; 2 — то же при росте минерализации до 10 г/л в течение двух лет; 3 — последующее рассоление при восстановлении штатной минерализации; 4 — то же при последующей трехлетней промывке пресной водой

ти, когда при строительстве приемной камеры насосной станции на берегу опресненного бывшего горько-соленого оз. Сасык в камеру прорвались напорные рассолы. После полива такой водой при полной бесконтрольности были загублены сотни гектаров черноземов. Подобная ситуация, когда минерализация поливной воды увеличилась с 1,5 г/л до 10 г/л и держалась два года, а в одном из вариантов прогнозов для ликвидации засоления почвы три года полив проводили пресной водой, смоделирована на рисунке 9.5. В естественном режиме солей в почве содержалось 10...25 % сухой массы, что было допустимо, при поливе соленой водой оно увеличилось в 4 раза, а затем медленно уменьшалось, орошение пресной водой быстро восстановило прежний режим (рис. 9.5).

ЧС на польдерных осушительных системах возникают из-за прорыва ограждающих дамб, затопления посевов, дорог и населенных пунктов. Это классическая ситуация наводнения. Выход из строя насосов, скачивающих из польдера дренажные воды, приводит к подпору воды в осушительных каналах, заболачиванию почв.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы цели прогнозирования ЧС в геосистемах и природно-техногенных комплексах? 2. Может ли инженерная система природообустройства функционировать без ЧС? 3. Оцените значение моделирования в прогнозировании ЧС.

Глава 10

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 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 освоение новых земель. При крупных нарушениях земель сложно найти заинтересованных участников (источников) финансирования проектов рекультивации, так как 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 отнесение затрат на рекультивацию при разработке место-

рождений полезных ископаемых и торфа на себестоимость продукции предприятия; при строительстве систем, зданий и сооружений — на стоимость этих объектов; при проведении геологоразведочных, геолого-съёмочных, геодезических и других изыскательских работ — на стоимость этих работ; при эксплуатации инженерно-технических объектов — на стоимость эксплуатационных работ и т. д.

По методике, утвержденной для Российской Федерации (Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. — М.: 2000 г.), экономическую эффективность инвестиций, руб., оценивают по формуле

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T (P_t - Z_t)(1 + E_{нт})^{-t} > 0, \quad (10.1)$$

где ЧДД — чистый дисконтированный доход за период жизни проекта T лет, руб.; P_t — результат от реализации инвестиционного проекта в году t , руб.; Z_t — затраты, необходимые для осуществления мероприятий в году t (без учета амортизации), руб.; $E_{нт}$ — норма дисконта в году t (относительная единица).

Применительно к инвестированию проекта рекультивации нарушенных земель формула (10.1) принимает следующий вид:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K (B_{tk} - C_{tk} - У_{штк} - K_{tk} + Л_{с_{tk}})(1 + E_{нт})^{-1} > 0, \quad (10.2)$$

где B_{tk} — выручка от реализации k -го вида мероприятия в году t , руб.; C_{tk} — ежегодные издержки при осуществлении k -го вида мероприятия в году t (без учета амортизации), руб.; $У_{штк}$ — 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 , руб.; $Л_{с_{tk}}$ — ликвидационная стоимость основных фондов по k -му виду мероприятий, выбывших в году t , руб.

В соответствии с методическими рекомендациями чистый дисконтированный доход по формуле (10.2) вычисляют для двух условий: «без проекта» и «с проектом». Целесообразность инвестирования проекта рекультивации определяют по максимальному значению, полученному для двух расчетных условий. Исходные данные и порядок определения показателей в формуле (10.2) приводятся в курсе «Экономика природопользования».

Порядок исчисления размеров ущерба основан на положениях статьи 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.

Размер ущерба 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 г.) по формуле

$$П = \sum_{i=1}^n (H_c S_i K_B K_{\mathcal{Z}} K_{\mathcal{E}} K_{\Gamma}), \quad (10.3)$$

где $П$ — размер платы за ущерб от загрязнения земель одним или несколькими (от 1 до n) химическими веществами, руб.; H_c — норматив стоимости сельскохозяйственных земель, руб/га; S_i — площадь земель, загрязненных химическим веществом i -го вида, га; K_B — коэффициент пересчета в зависимости от времени очистки загрязненных земель; $K_{\mathcal{Z}}$ — коэффициент пересчета в зависимости от степени загрязнения земель химическим веществом i -го вида; $K_{\mathcal{E}}$ — коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории; K_{Γ} — коэффициент пересчета в зависимости от глубины загрязнения земель.

Продолжительность дочистки (восстановления) загрязненных земель определяют опытно-производственным путем, а для стадии предварительной оценки — с помощью прогнозных расчетов по моделям, изложенным в главе 7. Степень загрязнения земель характеризуют пятью уровнями: допустимым, низким, средним, сильным и очень сильным. При допустимом уровне загрязнения коэффициент $K_{\mathcal{Z}}$ в формуле (10.3) приравнивают к нулю, тогда $П = 0$, следовательно плату не взимают.

Размер ущерба на восстановление загрязненных земель с полной заменой почвенно-грунтового слоя и подготовки почвы для устройства газона рассчитывают согласно Методике исчисления размера ущерба, вызванного захламлением, загрязнением и деградацией земель на территории Москвы (1999 г.):

$$3B_{\text{загр}} = 3_{\text{зам}} + 3_{\text{подг}} + 3_{\text{утил}}, \quad (10.4)$$

где $3B_{\text{загр}}$ — затраты на восстановление участка от загрязнения земель, руб.; $3_{\text{зам}}$ — затраты на полную замену загрязненного почвенно-грунтового слоя, руб.; $3_{\text{подг}}$ — затраты на подготовку почвы под газон, руб.; $3_{\text{утил}}$ — затраты на утилизацию загрязненного почвенно-грунтового слоя, руб.

Затраты на полную замену загрязненного почвенно-грунтового слоя, руб.:

$$3_{\text{зам}} = (H_{\mathcal{Z}_{\text{среэ}}} K_1 + H_{\mathcal{Z}_{\text{погр}}} K_2 + H_{\mathcal{Z}_{\text{выв}}} K_3 + H_{\mathcal{Z}_{\text{зас}}} K_4) S H, \quad (10.5)$$

где $H_{\mathcal{Z}_{\text{среэ}}}$, $H_{\mathcal{Z}_{\text{погр}}}$, $H_{\mathcal{Z}_{\text{выв}}}$ — нормативы затрат на срезку, погрузку и вывоз загряз-

ненного грунта, руб/м³; K_1, K_2, K_3, K_4 — действующие на момент установления загрязнения коэффициенты индексации цен для нормативов затрат на соответствующие работы по ликвидации загрязненных земель; $HZ_{зас}$ — нормативы затрат на засыпку нового грунта, руб/м³; S — площадь загрязненного контура, м²; H — глубина загрязнения почвенно-грунтового слоя выше нормативной, м.

Затраты на подготовку почвы под газон, руб.:

$$Z_{подг} = HZ_{подг} K_5 S, \quad (10.6)$$

где $HZ_{подг}$ — норматив затрат на подготовку 20-сантиметрового слоя почвы под газон, руб/м²; K_5 — действующий на момент установления загрязнения коэффициент индексации цен для нормативов на подготовку территории под газон; S — площадь загрязненного контура, м².

Затраты на утилизацию загрязненного почвенно-грунтового слоя, руб.,

$$Z_{утил} = HZ_{утил} S H d, \quad (10.7)$$

где $HZ_{утил}$ — норматив затрат на утилизацию (расценки на утилизацию промышленных отходов), руб/т; S — площадь загрязненного контура, м²; H — глубина загрязнения почвенно-грунтового слоя выше нормативной, м; d — плотность почвенно-грунтового слоя, т/м³.

Контрольные вопросы и задания

1. Что понимают под эффективностью проектов рекультивации земель? 2. Какие частные эффективности образуют полную эффективность проекта? 3. Назовите основные принципы оценки инвестиционных проектов. 4. Как количественно определить ущерб, нанесенный землям?

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

●

- Агрогеосистема 25
Агролесомелиорация 53
Агромелиорация 53
Аридность 179
- Барьер 238
— биогеохимический 239
— виды 239
— гидрофизический 241
— противопожарный 121
- Биогаз 136
Биодеструкторы 226
Биоремедиация 53
Бонитет почвы 197
- Вермикомпост 221
Вермикулит 274
- Галофиты 190
Геосистема 8
— свойства 9
Гидроотвал 63
Гумус 85
— дегумификация 7
— запас 206
— степень минерализации 207
- Деградация земель 179
- Загрязнение 228
Залужение 82
Земельные угодья 294
Землевание 51
Земли нарушенные 18
— классификация 23
Золашлакоотвал 126
- Карьеры 63
— гидроторфа 92
— машиноформовочной добычи торфа 93
— резной добычи торфа 93
- Категория земель 293
Комплекс природно-техногенный 35
Концентрация предельно допустимая 231
Культура земледелия 108
— песчаная 109
— покровная (римпауская) 109
— смешанослойная 108
— черная 108
- Ландшафт культурный 36
- Нефтепродукты 270
— модель передвижения 278
- Образования пирогенные 112
Озеленение 53
Опустынивание 19
— признаки 180
— типы 179
Отвал 63
Отходы обогащения 63
Охрана земель 298
- Пескование 109
Пестициды 223
Подход ландшафтный 37
Полигон захоронения ТБО 145
Поля фрезерные 92
Породы вскрышные 63
Почва 229
— бонитет 197
— дефляция 181
— плодородие 294
— поглотительная способность 240
— эрозия 180
Природообустройство 3
— инженерные системы 36
- Радионуклиды 262
Растениеводство 53

- Рекультивация 4
— задача 42
— необводненных карьеров 64
— обводненных карьеров 76
— объекты 23
— отвалов 119
— рекультивационный режим 39
— свалок 139
— торфяников 84
— этапы 42
Ризодеградация 272
- Сапрпель 219
Сидераты 214
Система земледелия адаптивно-
ландшафтная 297
Ситуации чрезвычайные 311
Строительство лесное 53
- Торф 84
— верховой 85
— низинный 85
— свойства 87
- Тяжелые металлы 244
— модель передвижения 251
- Фильтрат 134
Фитодеградация 272
Фитоиспарение 272
Фитомелиоранты 178
Фиторекультивация 53
Фиторемедиация 273
- Хвостохранилище 126
- Шламонаполнитель 126
- Эффективность проектов рекультивации 317
— коммерческая 317
— общественная 317

ЛИТЕРАТУРА

●

Федеральный закон от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

Федеральный закон от 30 марта 1999 года № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

Федеральный закон от 24 июня 1998 года № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».

Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов» АКХ им. Памфилова, М., 1997.

Методические рекомендации по проведению инженерно-экологических изысканий для целей рекультивации существующих свалок и проектирования вновь организуемых полигонов захоронения твердых бытовых отходов на территории Московской области», 1998.

Методические рекомендации по геоэкологической оценке территории при размещении полигонов твердых бытовых отходов», 1995.

Глазовская М. А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. — М.: Изд-во МГУ, 1997.

Голованов, А. И. Ландшафтоведение / А. И. Голованов, Е. С. Кожанов, Ю. И. Сухарев ; под ред. А. И. Голованова. — СПб. : Лань, 2015.

Голованов, А. И. Мелиорация земель / А. И. Голованов, И. П. Айдаров, М. С. Григоров [и др.] ; под ред. А. И. Голованова. — СПб. : Лань, 2015.

Голованов, А. И. Природообустройство / А. И. Голованов, Ф. М. Зимин, Д. В. Козлов [и др.] ; под ред. А. И. Голованова. — СПб. : Лань, 2015.

Гольдберг В. М., Зверев В. П., Арбузов А. И., Казеннов С. М., Ковалевский Ю. В., Путилина В. С. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия. — М.: Изд-во «Наука», 2001.

Егоренков Л. И. Природоохранные основы землеустройства. — М.: Агропромиздат, 1986.

Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва — растение. — Новосибирск: Наука, 1991.

Капельникова Л. П. Экологические аспекты оптимизации техногенных ландшафтов. — СПб.: ПРОПО, 1993.

Каптанов А. Н., Лисецкий Ф. Н., Швец Г. И. Основы ландшафтно-экологического земледелия. — М.: Колос, 1994.

Ларионов Г. А. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. — М.: Изд-во МГУ, 1993.

Лопырев М. И., Рябов Е. И. Защита земель от эрозии и охрана природы. — М.: Агропромиздат, 1989.

Минеев В. Г., Дебречени Б., Мазур Т. Биологическое земледелие и минеральные удобрения. — М.: Колос, 1993.

- Мирный А. Н.* Санитарная очистка и уборка населенных мест. Справочник — М.: АКХ им. Памфилова, 1997.
- Перельман А. И.* Геохимия ландшафта. — М.: Высшая школа, 1975.
- Пойкер Х.* Культурный ландшафт: формирование и уход. — М.: Агропромиздат, 1987.
- Поляков М. И., Бойко А. Т., Шведовский П. В.* Рекультивация земель и охрана природы. — Минск: Ураждай, 1987.
- Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв*/Под ред. Д. С. Орлова и В. Д. Василевской. — М.: Изд-во МГУ, 1994.
- Природообустройство*/А. И. Голованов, Ф. М. Зимин, Д. В. Козлов и др./Под ред. А. И. Голованова. — М.: КолосС, 2008.
- Руководство по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 1997—2000 гг.*/Под ред. ААН РБ И. М. Богдевича — Минск: Изд-во ААН, 1997.
- Рэуце К., Кырстя С.* Борьба с загрязнением почвы. — М.: Агропромиздат, 1986.
- Сметанин В. И.* Защита окружающей среды от отходов производства и потребления. — М.: Колос, 2000.
- Ясинецкий В. Г., Фенин Н. К.* Организация и технология гидромелиоративных работ. — М.: Агропромиздат, 1986.

ОГЛАВЛЕНИЕ

●

<i>Предисловие</i>	3
Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАРУШЕННЫХ ЗЕМЛЯХ. Ф. М. Зимин	7
1.1. Антропогенная деятельность и ее влияние на свойства природных объектов	7
1.2. Нарушенные и разрушенные земли. Классификация нарушенных земель	18
1.3. Нарушенные агрогеосистемы	25
Глава 2. ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ. А. И. Голованов	35
Глава 3. ЛАНДШАФТНЫЙ ПОДХОД ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ. РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫЙ РЕЖИМ. А. И. Голованов	37
Глава 4. ЭТАПЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ. Ф. М. Зимин	42
4.1. Подготовительный этап рекультивации	43
4.2. Технический этап рекультивации	50
4.3. Биологический этап рекультивации	53
Глава 5. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ КАРЬЕРОВ И ОТВАЛОВ. В. И. Сметанин	63
5.1. Рекультивация карьерных выработок и отвалов	63
5.2. Рекультивация горных отвалов и гидротовалов	119
5.3. Рекультивация земель, нарушенных несанкционированными свалками	131
5.4. Рекультивация полигонов захоронения отходов потребления	145
Глава 6. ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАРУШЕННЫХ АГРОГЕОСИСТЕМ. Ф. М. Зимин	177
6.1. Методы и способы рекультивации нарушенной агрогеосистемы	177
6.2. Рекультивация земель, образовавшихся в результате опустынивания	178
6.3. Биологическая рекультивация засоленных земель с помощью галофитов	190
6.4. Восстановление опустыненных земель Прикаспия	192
6.5. Оценка и восстановление плодородия почв с применением почво-защитной системы земледелия	197
6.6. Рекультивация земель, загрязненных пестицидами	223
Глава 7. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ	228
7.1. Химическое загрязнение геосистем и принцип рекультивации загрязненных земель. <i>Ф. М. Зимин</i>	228
7.2. Барьерные свойства компонентов геосистем. <i>А. И. Голованов</i>	238
7.3. Рекультивация земель, загрязненных тяжелыми металлами. <i>Ф. М. Зимин</i>	244

7.4. Модель передвижения тяжелых металлов в почве и подземных водах. <i>А. И. Голованов</i>	251
7.5. Примеры расчета вариантов очистки загрязненных земель. <i>А. И. Голованов</i>	255
7.6. Рекультивация земель, загрязненных радионуклидами. <i>Ф. М. Зимин</i>	262
7.7. Рекультивация земель, загрязненных нефтепродуктами. <i>Ф. М. Зимин</i>	269
Глава 8. ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ. <i>Ф. М. Зимин</i>	293
Глава 9. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ И РЕКУЛЬТИВИРУЕМЫХ ЗЕМЛЯХ. <i>А. И. Голованов</i>	310
Глава 10. ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ. <i>Ф. М. Зимин</i>	317
<i>Предметный указатель</i>	321
<i>Литература</i>	323

*Александр Иванович ГОЛОВАНОВ,
Федор Михайлович ЗИМИН,
Владимир Иванович СМЕТАНИН*

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Под редакцией А. И. Голованова

Учебник

*Издание второе,
исправленное и дополненное*

Зав. редакцией литературы по лесохозяйственному
и лесоинженерному делу *И. О. Туренко*
Выпускающие *Н. А. Крылова, Т. С. Симонова*

ЛР № 065466 от 21.10.97
Гигиенический сертификат 78.01.07.953.П.007216.04.10
от 21.04.2010 г., выдан ЦГСЭН в СПб

Издательство «ЛАНЬ»

lan@lanbook.ru; www.lanbook.com
192029, Санкт-Петербург, Общественный пер., 5.
Тел./факс: (812) 412-29-35, 412-05-97, 412-92-72.
Бесплатный звонок по России: 8-800-700-40-71

Подписано в печать 14.01.15.
Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 60×90^{1/16}.
Печать офсетная. Усл. п. л. 21,00. Тираж 1000 экз.

Заказ № .

Отпечатано в ОАО «Первая образцовая типография»,
филиал «Чеховский Печатный Двор» в полном соответствии
с качеством предоставленных материалов
142300, Московская обл., г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1
Тел.: (495) 988-63-76, факс: 8 (496) 726-54-10